



Slovenská
spoločnosť pre
poľnohospodárske,
lesnícke, potravinárske a
veterinárske vedy pri SAV
v Bratislave

**Recenzovaný zborník
vedeckých prác
Slovenskej spoločnosti
pre poľnohospodárske,
lesnícke, potravinárske
a veterinárske vedy
pri Slovenskej akadémii
vied v Bratislave**

Nitra 2025

Adamčíková Katarína,
Golian Jozef (zost.)

**Recenzovaný zborník vedeckých prác
Slovenskej spoločnosti pre
poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske
a veterinárske vedy pri Slovenskej akadémii
vied v Bratislave**

Adamčíková Katarína, Golian Jozef (zost.)



Nitra 2025

Názov: Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri Slovenskej akadémii vied v Bratislave

Zostavili: Mgr. Katarína Adamčíková, PhD., prof. Ing. Jozef Golian, Dr.

Grafická úprava: doc. MVDr. Boris Semjon, PhD.

Vydal: Ústav ekológie lesa SAV, v. v. i., Zvolen

Rok vydania: 2025

Miesto vydania: Nitra

ISBN 978-80-89408-40-5

**Slovenská spoločnosť pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri Slovenskej akadémii vied v Bratislave
Radlinského 9, 812 37 Bratislava**

POĽNOHOSPODÁRSKA SEKCIA

HRIC P., VOZÁR Ľ., KOVÁR P. Vybrané kvalitatívne parametre nadzemnej fytomasy medzirodových hybridov tráv (<i>xFestulolium</i> A. et Gr.) v prvom úžitkovom roku	5
CHVOJKOVÁ J., SLANINA T., ZEMANOVÁ J. Sledovanie fyziologických hormonálnych zmien vo vybraných telových tekutinách u športových králikov	10
JURÁČEK M., BÍRO D., PAZDERA J., ŠIMKO M., GÁLIK B., ROLINEC M., HANUŠOVSKÝ O., DŽIMA M., KAPUSNIAKOVÁ M., JUHÁS S. Vplyv rozdielnej veľkosti častíc na energetickú a dusíkatú hodnotu kukuričných siláží	20
KOVÁR P., VOZÁR Ľ., HRIC P. Účinok vedľajších produktov z alginitu na klíčenie semien lucerny siatej (<i>Medicago sativa</i> L.)	26
ŠIMKOVÁ P., HLAVACIKOVÁ V., KALAFOVÁ A., SCHNEIDGENOVÁ M., KOVACIK A., CAPCAROVÁ M. Vplyv rakytníka rešetliakového na minerálny profil diabetických ZDF potkanov	32
ČUNDERLÍK J. Produkcia koreňovej biomasy a uhlíka v trávnom poraste	39
JENDRIŠÁKOVÁ S. Vplyv rôzneho obhospodarovania trávnych porastov na výskyt <i>Colchicum autumnale</i>	44
KIZEKOVÁ M., BRITAŇÁK N., ČUNDERLÍK J., HANZES Ľ., POLLÁK Š., VARGOVÁ V., JANČOVÁ Ľ., KANIANSKA R Energetický potenciál a zásoby uhlíka horských lúk.	50
POLLÁK Š., JANČOVÁ M., DUGÁTOVÁ Z. Stanovenie sulfánu v trávnych ekosystémoch Slovenska	57
VARGOVÁ V. Vplyv digestátu na pôdne vlastnosti a produkciu fytomasy miešaniek	65

LESNÍCKA SEKCIA

ADAMČÍKOVÁ K., ILKO I., PETERKOVÁ V., RAČEK M. Diverzita kultivovateľných druhov húb z <i>Ailanthus altissima</i> v lesnom poraste	73
KUKLOVÁ M., KUKLA J., SLÁDEKOVÁ K., MIHÁL I. Variabilita obsahu Zn vo vrstvách pôd znečistených emisiami magnezitového závodu v Lubeníku	81
MIHÁL I., KUKLOVÁ M., KUKLA J. Niektoré aspekty vplyvu imisného znečistenia na mykobiotu v okolí hlinikárne v Žiari nad Hronom (stredné Slovensko)	86

POTRAVINÁRSKA SEKCIA

FIKSELOVÁ M., ŽIDEK R., ODRÁŠKOVÁ J., LUKÁČOVÁ S., ZELEŇÁKOVÁ L.	93
Senzorická kvalita bezgluténových výrobkov obohatených prídavkom múčnych červov (<i>Tenebrio molitor</i>)	
GOLIAN J., MINÁRIK P., MINÁRIKOVÁ D.	100
Vybrané alternatívne prístupy v boji s pôvodcami bakteriálnych infekcií	
HOLKOVIČOVÁ T., MINAROVÍČOVÁ L., LAUKOVÁ M., GREIF G., PÍRI V., KOHAJDOVÁ Z.	110
Hodnotenie potenciálu tekvicového bielkovinového koncentráту na produkciu cestovín so zlepšeným nutričným profilom a zníženým glykemickým indexom	
HYBENOVÁ E., RYBÁROVÁ K., MIKULAJOVÁ A.	117
Vplyv skladovania na antioxidačné zložky kávových zŕn	
JAKABOVÁ S., GONDOVÁ S., ÁRVAY J., FEDORKOVÁ S., HUDEC M., GOLIAN J.	127
Variabilita vybraných sacharidov v kultivovaných jedlých hubách	
JAKABOVÁ S., ŠNIRC M., PISKALÍKOVÁ R., ÁRVAY J., GOLIAN J.	134
Rizikové látky v jedlých divo rastúcich hubách	
JANČO I., ŠNIRC M., ÁRVAY J.	141
Vplyv konzervačných techník na minerálne zloženie v <i>Cantharellus cibarius</i>	
KOLARIČ L., ŠIMKO P.	149
Prítomnosť aflatoxínu M ₁ v mlieku a metódy jeho znižovania	
LAKATOŠOVÁ J., HELCZMAN M., TOMKA M., KOVÁČIK A.	156
Stanovenie polycyklických aromatických uhl'ovodíkov v sladkovodných rybách na Slovensku - prehľadový článok	
MARTINIAKOVÁ S., HOLKOVIČOVÁ T., STARUCH L.	161
Inhibícia tvorby voľných radikálov pôsobením astaxantínu	
MÁZOR M., IVANIŠOVÁ E.	166
Hodnotenie kvality MCT kokosového oleja po prídavku extraktov z vybraných plodov <i>Capsicum</i> spp.	
PREDANÓCYOVÁ K., JOANIDIS P.	174
Generácia Z a rastlinné náhrady mäsa: skúmanie spotrebiteľského správania a senzorických atribútov	
PREDANÓCYOVÁ K.	181
Vývoj a perspektívy produkcie vlašských orechov v podmienkach Slovenskej republiky	
STARUCH L., SPODNIKOVÁ M.A.	188
Sledovanie obsahu rezíduí antibiotík v hydínovom mäse	
VETERINÁRNA SEKCIA	
KORÉNEKOVÁ B., KOŽÁROVÁ I., REITZNEROVÁ A., SEMJON B., MARCINČÁK S.	197
Vplyv podávania humínových látok a fermentovaného krmiva na zrecie procesy v svalovine hydiny	

KOVÁČOVÁ M., VÝROSTKOVÁ J., REGECOVÁ I. Mikrobiologická kontrola kvality ovčieho a kozieho mlieka a syra z farmy	204
KREPELKOVA Z., NOVOTNÝ J., BÁRDOVÁ K., MESARČOVÁ L., REITZNEROVÁ A. Sezónne rozdiely vo výskyte žalúdočných vredov u ošípaných na Slovensku	210
MARCINČÁKOVÁ D., KOLESÁROVÁ M., MARCINČÁK S., LEGÁTH J. Porovnanie biologických účinkov repkového a lipového medu	215
MEGYESY EFTIMOVÁ Z., ZAHUMENSKÁ J. Analýzy kvality rastlinných olejov prostredníctvom vybraných indikátorov	221
MEGYESY EFTIMOVÁ Z., ZAHUMENSKÁ J., SEMJON B. Ríbezle ako zdroj bioaktívnych látok prospešných pre zdravie človeka	227
MESARČOVÁ L., REITZNEROVÁ A., SPIŠÁKOVÁ K., SEMJON B., BARTKOVSKÝ M., MARCINČÁK S. Muškát moravský: senzorická analýza vína od rôznych výrobcov z obchodnej siete	233
MESARČOVÁ L., REITZNEROVÁ A., BARTKOVSKÝ M., VÁRADY M., MARCINČÁK S. Senzorická analýza frankfurtských párkov s pridanou vlákninou	238
NOVOTNÝ J., KREPELKOVA Z., BÁRDOVÁ K., MESARČOVÁ L., REITZNEROVÁ A., KYZEKOVÁ P. Celoročný bitúnkový monitoring žalúdočných lézií u ošípaných na Slovensku	242
REGECOVÁ I., VÝROSTKOVÁ J., DANČOVÁ N., BERTO VÁ D. Analýza stopových množstiev gluténu v bezlepkových potravinách	245
REITZNEROVÁ A., MESARČOVÁ L., VÁRADY M., BARTKOVSKÝ M., MARCINČÁK S. Kolorimetrické parametre párkov v závislosti od pridanej potravinovej vlákniny a doby skladovania	253
REITZNEROVÁ A., MESARČOVÁ L., KORÉNEKOVÁ B., NOSKOVÁ E., BARTKOVSKÝ M., FALDYNA M., SEMJON B., NAGY J., MARCINČÁK S. Vplyv skrmovania humínových látok a probiotík na kvalitu prsnej a stehennej svaloviny brojlerových kurčiat	258
SEMJON B., ZAVACKÁ A., MEGYESY EFTIMOVÁ Z., ZAHUMENSKÁ J. Zmeny senzorických vlastností syrov camemberstkého typu vplyvom vákuového balenia	264
SEMJON B., BARTKOVSKÝ M., MEGYESY EFTIMOVÁ Z., MARCINČÁK S. Vplyv macerácie a prídavku kvasinkovej kultúry <i>Saccharomyces cerevisiae</i> v technológii výroby vína na antioxidačné vlastnosti vína odrody Lipovina	270
VÁRADY M., GRAJZER M., POPELKA, P. Inovatívne metódy spracovania výberovej kávy	276
VÝROSTKOVÁ J., KOVÁČOVÁ M., REGECOVÁ I. Sezónna variabilita kvalitatívnych parametrov mlieka malých prežúvavcov	281

PEDOLOGICKÁ SEKCIA

BUŠO R., HAŠANA R. Koeficient štruktúrnosti ako súčasť pôdnej štruktúry rôznych systémov obrábania pôdy	287
KOBZA J. Poľnohospodárstvo a ohrozenia pôd v podmienkach klimatickej zmeny	294
KOCO Š., BARANČÍKOVÁ G., HALAS J., KOBZA J. Simulácia zásob pôdneho organického uhlíka online nástrojom ModelToolBox	303
MAKOVNÍKOVÁ J. Vplyv zmeny druhu pozemku na hodnotu ekosystémových služieb	312
PÁLKA B., STYK J. Výpočet aktualizovaných hodnôt R-faktora (faktora eróznej účinnosti dažďa) pre územie Slovenska	320
PAVLEND A P. Výsledky monitoringu pôd na vybraných plochách monitoringu lesov II. úrovne	329
PAVLEND A P., PAVLEND OVÁ H. Monitoring lesných pôd v rámci programu ICP Forests: od podporných údajov pre hodnotenie stavu lesných porastov ku komplexnému monitorovaciemu systému	339
SOBOCKÁ J., BALKOVIČ J., RAMPÁŠEKOVÁ Z., HUTÁR V. Gridové mapovanie erózn o-akumulačných katén pre identifikáciu koluvizemí ako pôdneho typu	348
ŠIRÁŇ M. Zhodnotenie fyzikálneho stavu fluvizemí a jeho vývoja na základe monitoringu pôd SR	358
TAKÁČ J. Možné dopady zmeny klímy na úrody plodín na černoze miach Podunajskej nížiny	366

Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti
pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy
pri Slovenskej akadémii vied v Bratislave, 2025

Poľnohospodárska sekcia



VYBRANÉ KVALITATÍVNE PARAMETRE NADZEMNEJ FYTOMASY MEDZIRODOVÝCH HYBRIDOV TRÁV (*XFESTULOLIUM* A. ET GR.) V PRVOM ÚŽITKOVOM ROKU

SELECTED QUALITATIVE PARAMETERS OF THE ABOVE- GROUND PHYTOMASS OF INTERGENERIC GRASS HYBRIDS (*XFESTULOLIUM* A. ET GR.) IN THE FIRST PRODUCTION YEAR

Peter Hric, Ľuboš Vozár, Peter Kovár

Abstract: This experiment aimed to compare selected quality parameters of the above-ground phytomass of intergeneric hybrids of grass in the first production year. The experiment was realised at the Demonstration and Research Base of the Institute of Plant Production in Nitra in 2018. We compared the new intergeneric hybrid Lenor (fescue type) with Felina and Hykor. Another Slovak hybrid Tatran (ryegrass type) was compared with Lofa. The variety Felina showed the highest NL content (22.75 g.kg⁻¹). Tatran had the highest phosphorus content (2.87 g.kg⁻¹). The potassium content (27.37-29.99 g.kg⁻¹) exceeded the optimum range for livestock. All varieties were deficient in calcium. The differences found between the evaluated varieties in magnesium and sodium content were not statistically significant.

Keywords: *xFestulolium*, intergeneric hybrids, grasses, quality of above-ground phytomass

Úvod

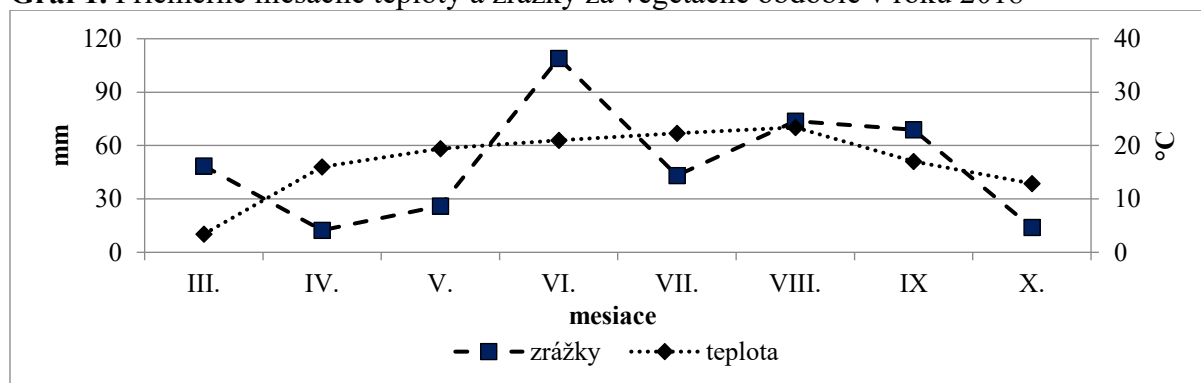
Trávy a trávne porasty predstavujú celosvetovo významný zdroj krmovín pre zvieratá, pričom ich ekologická a krajinotvorná funkcia je rovnako nepopierateľná. Intenzívne zakorenenie tráv prispieva k stabilizácii pôdy, čím efektívne zabraňuje erózii a zároveň pôsobia ako prírodný filter pri ochrane kvality vôd (Hakl a Fuksa, 2011). *Festulolium* A. et Gr. predstavuje prirodzený alebo syntetický medzirodový hybrid medzi druhmi rodu *Festuca* L. a *Lolium* L. Hlavným cieľom medzirodovej hybridizácie v rámci šľachtenia tráv je kombinovať a kumulovať pozitívne vlastnosti oboch rodičovských rodov do nového genotypu. Hybridizáciou sa prepájajú cenné vlastnosti rodu *Lolium* L., ako je vysoká úrodnosť, výborná krmová kvalita (chutnosť, prijateľnosť, vysoký obsah vodorozpustných cukrov) a dobrá konkurenčná schopnosť v poraste. Na druhej strane, rod *Festuca* L. prispieva vlastnosťami ako je vyššia trvácnosť, odolnosť voči chorobám, mrazuvzdornosť, zimovzdornosť, rozvinutý koreňový systém, efektívne využívanie živín, ekologická plasticita, ako aj odolnosť voči zhutňovaniu pôdy a erózii. V podmienkach strednej Európy a Škandinávie nachádzajú tieto hybridy čoraz širšie uplatnenie v poľnohospodárskej praxi a postupne nahrádzajú pôvodné rodičovské druhy (Casler et al., 2002; Humphreys et al., 2003; Gutmane a Adamovics, 2005; Skládanka et al., 2014). Kvalita krmiva predstavuje pomerne široký termín obsahujúci celý rad rôznorodých ukazovateľov. Je charakterizovaná koncentráciou energie, obsahom jednotlivých živín, ich stráviteľnosťou a dietetickými (špecifickými) vlastnosťami. Chemické zloženie a výživná hodnota krmív (predovšetkým objemových) je závislá od druhu, úrovne hojenia pôdy a agrotechniky, od fenologickej fázy, konzervovania a skladovania. Z nutričného pohľadu je významným faktorom zberové štádium (Gálik et al., 2016; Gálik et al., 2018).

Cieľom experimentu bolo porovnať vybrané kvalitatívne parametre sušiny nadzemnej fytomasy skôr vyšľachtených odrôd so slovenskými novovyšľachtenými odrodami medzirodových hybridov tráv.

Materiál a metódy

Experiment sa realizoval v Demonštračnej a výskumnej báze Ústavu rastlinnej produkcie FAPZ SPU v Nitre (Slovenská republika) v roku 2018 (prvý úžitkový rok). Experimentálna plocha sa nachádza v miernom klimatickom pásme teplej a suchej oblasti. Priemerná ročná teplota dosahuje 9,7 °C a priemerný ročný úhrn zrážok je 561 mm (Babošová a Noskovič, 2014). Pribeh poveternostných podmienok v sledovanom období znázorňuje graf 1. Pôdnym typom je ílovito-hlinitá fluvizem. Agrochemické vlastnosti pôdy pokusného stanovišťa pred založením porastu uvádzame v tabuľke 1.

Graf 1. Priemerné mesačné teploty a zrážky za vegetačné obdobie v roku 2018



Zdroj: Bulletin Meteorológia a Klimatológia (upravené)

Tabuľka 1. Agrochemické vlastnosti pôdy pokusného stanovišťa

N _t	P	K	Mg	Ca	C _{ox}	pH
mg.kg ⁻¹					g.kg ⁻¹	
1 823,2	58,3	336	541	6 067	7,7	6,78

V experimente sa sledovalo 5 odrôd:

1. *Festulolium pabulare* (festucoidný charakter) cv. Felina
2. *Festulolium pabulare* (festucoidný charakter) cv. Hykor
3. *Festulolium pabulare* (festucoidný charakter) cv. Lenor
4. *Festulolium pabulare* (loloidný charakter) cv. Lofa
5. *Festulolium pabulare* (loloidný charakter) cv. Tatran

Felina (registrovaná v roku 1988) je prvý český a slovenský medzirodový hybrid tráv. Vznikla krížením mätonohu mnohokvetého a kostravy trst'ovníkovitej (kostravový charakter). Je vzrastovo vyššia, trváca, odolná voči vymŕzaniu a dobre znáša sucho (Kováč et al., 2002).

Hykor (registrovaný v roku 1991) vznikol krížením mätonohu mnohokvetého a kostravy trst'ovníkovitej (kostravový charakter). Patrí medzi vzrastovo vyššie a vytrvalé trávy. Je odolný voči vymŕzaniu, dobre znáša sucho (Kováč et al., 2002).

Lenor (registrovaný v roku 2015) je prvý slovenský medzirodový hybrid tráv. Vznikol krížením mätonohu mnohokvetého a kostravy trst'ovníkovitej (kostravový charakter). Má rýchly jarný rast s dobrou odolnosťou voči mrazu a suchu. Má jemné listy a je vhodný aj na pastvu (Bašta, 2017).

Lofa (registrovaná v roku 1997) vznikla krížením mätonohu mnohokvetého a kostravy trst'ovníkovitej (mätonohový charakter). Je to vyššia tráva s rýchlym jarným rastom (Kováč et al., 2002).

Tatran (registrovaný v roku 2018) je prvý slovenský medzirodový hybrid tráv mätonohového charakteru. Vznikol krížením mätonohu mnohokvetého a kostravy trst'ovníkovitej. Je stredne vysoký, stredne neskorý a má dobré olistenie (Hric, 2021).

Pokus bol založený 4. apríla 2017. Veľkosť parcelky bola 1,5 x 2 m (3 m²) v troch opakovaníach. Výsevok bol 30 kg.ha⁻¹. Na jeseň 2017 sa aplikovalo hnojivo Slovcerit (14-9-10) v dávke 50 kg.ha⁻¹ N. Na jar v roku 2018 sa hnojilo Travceritom (15-3-8) v dávke zodpovedajúcej 60 kg.ha⁻¹ dusíka. Následne sa aplikoval dusík aj po 1. a 2. kosbe v dávke po 50 kg.ha⁻¹ N formou hnojiva Travcerit (15-3-8).

Termín kosby sa určoval podľa fenofázy začiatku klasenia, resp. metania. V prvom úžitkovom roku (2018) boli realizované 3 kosby porastov medzirodových hybridov tráv festucoidného charakteru (Felina, Hykor a Lenor) – 7. máj, 18. jún a 7 august. Porasty loloidného charakteru (Lofa a Tatran) boli kosené 2x ročne – 14. máj a 18 jún. Pokosená čerstvá nadzemná fytomasa sa odvážila a sušila pri teplote 105 °C. Následne po vysušení a zhomogenizovaní sa stanovovali vybrané kvalitatívne parametre sušiny medzirodových hybridov tráv:

- Dusíkaté látky (NL) – stanovené výpočtom z obsahu celkového dusíka stanoveného Kjeldahlovou metódou,
- Fosfor (P) – spektrofotometricky fosfomolybdénovou metódou po mineralizácii mokrou cestou s HNO₃ a HClO₄,
- Draslík (K), vápnik (Ca), sodík (Na) – plameňometricky po mineralizácii mokrou cestou s HNO₃ a HClO₄,
- Horčík (Mg) – spektrofotometricky s Titánovou žltou po mineralizácii mokrou cestou s HNO₃ a HClO₄,

Výsledky boli štatisticky vyhodnotené analýzou rozptylu (ANOVA - Multiple Range Tests, metóda: 95,0 % LSD) pomocou softvérového systému na analýzu údajov STATISTICA verzia 10 (StatSoft. Inc. 2011).

Výsledky a diskusia

Priemerný obsah dusíkatých látok (NL) v sušine medzirodových hybridov tráv je uvedený v tabuľke 2 a 3. Najvyššiu koncentráciu NL dosiahla zahraničná odroda Felina (22,75 g.kg⁻¹). Najnižší obsah dusíkatých látok v suchej nadzemnej fytomase bol zaznamenaný na medzirodových hybridoch loloidného charakteru (Lofa a Tatran). Zistené rozdiely boli štatisticky nepreukazné. Podľa Gibsona (2009) je vhodný obsah dusíkatých látok v sušine trávneho porastu v rozmedzí od 10,0 do 53,0 g kg⁻¹. Kvalitný krm z produkčného porastu by mal obsahovať 2,5-3,0 g.kg⁻¹ fosforu (P). Za pomoci vyšších dávok dusíka najpriaznivejšie ovplyvňuje kvalitu krmu (Tomaškin a Tomaškinová, 2017). Celosezónnym hodnotením sa zistil nepreukazne najvyšší obsah P pri slovenskej odrode Tatran (2,87 g.kg⁻¹) v porovnaní s ostatnými hodnotenými odrodami (2,07 – 2,76 g.kg⁻¹). Nami stanovené hodnoty koncentrácie fosforu sa čiastočne zhodujú s tvrdením Jančoviča et al. (2013), ktorí považujú za optimálny obsah P v sušine trávneho porastu od 2,8 g.kg⁻¹ a viac. Draslík (K) v sušine trávnych porastov je v úzkom prepojení s prístupným draslíkom ktorý sa nachádza v pôde. Jeho rozpätie je pomerne široké (14,0 do 45,0 g.kg⁻¹ sušiny). Za optimálny stav draslíka v sušine krmu, pri ktorom nie je výška úrod limitovaná jeho nedostatkom, sa považujú hodnoty 20,0 – 22,0 g.kg⁻¹. Obsah v prvej kosbe dosahuje potom až 30,0 – 40,0 g.kg⁻¹ draslíka. Trávne porasty majú schopnosť draslík prijať aj vo väčšom množstve ako je potrebné. Dochádza k tomu na začiatku intenzívneho jarného obrastania, kedy sa hnojí vyššími dávkami draslíka (Tomaškin a Tomaškinová, 2017). Medzi koncentraciami draslíka v suchej nadzemnej fytomase hodnotených medzirodových hybridov tráv (27,37 – 29,99 g.kg⁻¹) boli zaznamenané minimálne štatisticky nepreukazné rozdiely. Jančovič et al. (2013) považujú za najideálnejší obsah K v sušine trávneho porastu od 20,0 do 22,0 g.kg⁻¹, čo je o niečo nižší obsah ako je fyziologická potreba rastlín, ale vyšší ako je potreba hospodárskych zvierat. Plnohodnotné krmivo z trávnych porastov by malo v sušine obsahovať najmenej 7,0 g.kg⁻¹ vápnika (Labuda a kol., 1982). Nami zistené koncentrácie vápnika (Ca) v suchej nadzemnej fytomase xFestulolium nedosahovali túto minimálnu hodnotu. Najnižší obsah Ca v sušine nadzemnej

hmoty bol zaznamenaný pri zahraničnej odrode Lofa (1,58 g.kg⁻¹). Naopak najvyššia koncentrácia vápnika sa zistila pri zahraničnej odrode Felina (2,20 g.kg⁻¹). Za dostatočnú koncentráciu horčika (Mg) v sušine krmiva z hľadiska výživy zvierat sa považuje hodnota 2 g.kg⁻¹ (Holúbek et al., 2007). V rámci festucoidných hybridov tráv zaznamenala slovenská odroda Lenor nepreukazne nižší obsah horčika (1,92 g.kg⁻¹) v porovnaní so skôr vyšľachtenými zahraničnými odrodami (2,18 – 2,43 g.kg⁻¹). Slovenská odroda Tatran dosiahla nepreukazne vyššiu koncentráciu Mg (1,39 g.kg⁻¹) v porovnaní so zahraničnou odrodou Lofa (1,26 g.kg⁻¹). Sodík patrí medzi prvky, ktorých koncentrácia v trvalých trávnych porastoch veľmi často nenapĺňa požiadavky zvierat (Krajčovič a Ondrášek, 2002). Opätovne nepreukazne najnižšiu koncentráciu sodíka (Na) mala slovenská odroda Lenor (0,60 g.kg⁻¹) v porovnaní so zahraničnými odrodami Felina (1,07 g.kg⁻¹) a Hykor (0,66 g.kg⁻¹). Takisto aj Tatran (1,22 g.kg⁻¹) dosiaľ nepreukazne vyššiu koncentráciu sodíka ako Lofa (0,87 g.kg⁻¹).

Tabuľka 2. Priemerný obsah vybraných minerálnych látok v sušine nadzemnej fyto­masy *xFestulolium* (festucoidný charakter) v g.kg⁻¹ v prvom úžitkovom roku

Variant	NL	P	K	Ca	Mg	Na
Felina	22,75a	2,30a	28,88a	2,20a	2,43a	1,07a
Hykor	21,07a	2,07a	27,37a	2,08a	2,18a	0,66a
Lenor	21,36a	2,29a	28,45a	2,15a	1,92a	0,60a

Rovnaký index (a) pri hodnotách znamená štatisticky nepreukazný rozdiel (Fisherov test; $\alpha = 0,05$).

NL – dusíkaté látky, P – fosfor, K – draslík, Ca – vápnik, Mg – horčík, Na – sodík.

Tabuľka 3. Priemerný obsah vybraných minerálnych látok v sušine nadzemnej fyto­masy *xFestulolium* (loloidný charakter) v g.kg⁻¹ v prvom úžitkovom roku

Variant	NL	P	K	Ca	Mg	Na
Lofa	19,05a	2,76a	27,98a	1,58a	1,26a	0,87a
Tatran	20,50a	2,87a	29,99a	1,73a	1,39a	1,22a

Rovnaký index (a) pri hodnotách znamená štatisticky nepreukazný rozdiel (Fisherov test; $\alpha = 0,05$).

NL – dusíkaté látky, P – fosfor, K – draslík, Ca – vápnik, Mg – horčík, Na – sodík.

Záver

Medzi hodnotenými odrodami medzi­rodových hybridov tráv sa zistili štatisticky nepreukazné rozdiely v obsahu makroelementov. Zahraničná odroda Felina dosiahla najvyšší obsah dusíkatých látok a vápnika. Slovenský šľachtenec Tatran mal najvyššiu koncentráciu fosforu a sodíka. Odrody Lofa a Lenor vy­kazovali najnižšie hodnoty viacerých prvkov (vápnik, horčík a sodík). Obsah draslíka vo všetkých odrodách prekročil odporúčaný rozsah pre výživu prežúvavcov. Výsledky poukazujú na význam odrodovej variability pri posudzovaní nutričnej hodnoty trávnych porastov.

Literatúra

- BABOŠOVÁ, M., NOSKOVIČ, J. 2014. Kvalita atmosférických zrážok v oblasti mesta Nitra-Dolná Malanta, Nitra: SPU, 65 s.
- BAŠTA, L. 2017. Nové odrody d'ateliny lúčnej a tráv. In: Naše pole, roč. 21, č. 7, 2017, s. 26 – 27.
- BULLETIN Meterológia a Klimatológia (dostupné na http://www.shmu.sk/sk/?page=161_3&id= [cit. 2025-05-05]).
- CASLER, M.D., PETERSON, P. R., HOFFMAN, L. D., EHLKE, N. J., BRUMMER, E. C., HANSEN, J. L., MLYNAREK, M. J., SULC, M. R., HENNING, J. C., UNDERSANDER, D. J., PITS, P.G., BILKEY, P.C., ROSE-FRICKER, C.A. 2002. Natural selection for survival improves freezing tolerance, forage yield and persistence of *Festulolium*. Crop Science, 42, 1421–1426.
- GÁLIK, B., BÍRO, D., ŠIMKO, M., JURÁČEK, M., HORNIÁKOVÁ, E., ROLINEC, M. 2016. Nutričná charakteristika krmív, SPU: Nitra, 102 s.

- GÁLÍK, B., BÍRO, D., ŠIMKO, M., JURÁČEK, M., ROLINEC, M., HANUŠOVSKÝ, O. 2018. Krmivá vo výžive prežúvavcov a neprežúvavcov, Nitra: SPU, 134 s.
- GIBSON, D. J. 2009. Grasses and Grassland Ecology. New York: Oxford University Press. 305 p.
- GUTMANE, I., ADAMOVICS, A. 2005. Use of Festulolium and Lolium x boucheanum for forage and seed production. In Proceedings of the 13th Occasional Symposium of the European Grassland Federation vol. 10. Tartu, Estonia, 29-31 August 2005. Tartu: Greif printhouse, p. 503 – 506.
- HAKL, J. a FUKSA, P. 2011. Produkce a dietetické účinky objemných krmiv. Praha: Česká zemědělská univerzita, 134 s.
- HRIC, J. 2021. Graminex s.r.o, Vlastné skúsenosti so šľachtením odrody Tatran. Osobná komunikácia. 20.05.2021.
- HOLUBEK, R., JANČOVIČ, J., GREGOROVÁ, H., NOVÁK, J., ĐURKOVÁ, E., VOZÁR, Ľ. 2007. Krmovinárstvo – Manažment pestovania a využívania krmovín. Nitra: SPU, 419 s.
- HUMPHREYS, M.W., CANTER, P.J., THOMAS, H.M. 2003. Advances in introgression technologies for precision breeding within the Lolium-Festuca complex. Annals of Applied Biology, 143, 1–10.
- JANČOVIČ, J., VOZÁR, Ľ., KOVÁR, P., VEREŠOVÁ, P., HRIC, P. 2013. Vplyv dusíkatého hnojenia na kvalitu trávnej fytomasy. In: Agrochémia, roč. 53, č. 2, 2013, p. 3 - 5 .
- KOVÁČ, L., HOUDEK, I., GEJGUŠ, J. 2002. Krmovinárske využitie rodových hybridov tráv v špecifických podmienkach Východoslovenskej nížiny. Michalovce: Grafex. 2002, 119 s.
- KRAJČOVIČ, V. – ONDRÁŠEK, Ľ. 2002. Štruktúra, funkcie a stabilita lúčno-pasienkových ekosystémov pri znížených vstupoch. In Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie: „Ekológia trávneho porastu VI.“ Banská Bystrica: VÚTPHP, 2002. s. 104-123.
- LABUDA, J. a kol. 1982. Výživa a kŕmenie hospodárskych zvierat. Bratislava: Príroda, 488 s.
- SKLÁDANKA, J., CAGAŠ, B., DOLEŽAL, P., HAVLÍČEK, Z., HEJDUK, S., HORKÝ, P., JANČOVIČ, J., KLUSOŇOVÁ, I., KNOT, P., KOVÁR, P., MEJÍJA, J. E. A., MIKYSKA, F., NAWRATH, A., POKORNÝ, R., SLÁMA, P., SZWEDZIAK, K., TUKIENDORF, M., ŠEDA, J., VOZÁR, Ľ., VYSKOČIL, I., ZEMAN, L. 2014. Pícninářství. Brno: MENDEL, 368 s.
- TOMAŠKIN, J. a TOMAŠKINOVÁ, J. 2017. Ekológia trávnych porastov. Banská Bystrica: Belianum. 164 s.

Kontaktné adresy autorov:

- Ing. Peter Hric, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, Ústav rastlinnej produkcie, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, email: peter.hric@uniag.sk.
- doc. Ing. Ľuboš Vozár, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, Ústav rastlinnej produkcie, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, email: lubos.vozar@uniag.sk.
- Ing. Peter Kovár, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, Ústav rastlinnej produkcie, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, email: peter.kovar@uniag.sk.

SLEDOVANIE FYZIOLOGICKÝCH HORMONÁLNYCH ZMIEN VO VYBRANÝCH TELOVÝCH TEKUTINÁCH U ŠPORTOVÝCH KRÁLIKOV

INVESTIGATION OF PHYSIOLOGICAL HORMONAL CHANGES OF SELECTED BODY LIQUIDS OF SPORT RABBITS

Júlia Chvojková, Tomáš Slanina, Jiřina Zemanová

Abstract: This study monitored hormonal changes in saliva and urine of sport rabbits before and after physical activity using ELISA kits. Significant increases were found in salivary corticosterone (38.27 ± 12.80 to 80.44 ± 21.16 ng/ml) and slight changes in cortisol. Testosterone levels differed significantly between sexes but not pre- and post-activity. Urine samples showed minimal differences. A significant difference in cortisol and corticosterone was observed between males and females before activity. Monitoring hormonal responses to exercise may provide insight into stress and welfare in sport rabbits and guide future welfare research.

Keywords: sport rabbit, saliva, urine, hormones, cortisol, corticosterone, testosterone

Úvod

Králik divý bol od nepamäti cenený pre mäso a kožušinu. Postupnou domestikáciou vzniklo množstvo plemien – od úžitkových zameraných na výťažnosť až po výstavné plemená, preferujúce najmä vzhľad. Dnes sa však králiky čoraz častejšie chovajú ako spoločenské zvieratá.

Pred niekoľkými desaťročiami v Severnej Európe vznikol šport králičí hopu, ktorý zdôrazňuje spoluprácu človeka a zvieratá. Zároveň postupne vznikalo plemeno “športový králik”, ktoré bolo špeciálne šľachtené s dôrazom na výkonnosť, atletické svalnaté telo a psychickú odolnosť. Do súťaží v králičom hope sa môžu zapojiť aj iné plemená králikov či krížence, ktoré pri dobrom výcviku dokážu konkurovať športovým králikom a po splnení podmienok uchovnenia môžu prispieť ku genetickej rozmanitosti línií športových králikov.

Kvalitu života a výkon králikov významne ovplyvňuje miera stresu. Hormonálne zmeny, najmä hladiny steroidných hormónov, sú citlivým ukazovateľom stresu a adaptácie na fyzickú záťaž. Cieľom tejto práce je analyzovať vybrané hormóny v slinách a moči králikov pred a po fyzickej aktivite, aby sme posúdili ich variabilitu a vplyv pravidelného tréningu na zvládanie stresu.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Králik divý (*Oryctolagus cuniculus*), predchodca králika domáceho (*O. cuniculus f. domestica*), pochádza zo severovýchodnej Afriky a Pyrenejského polostrova. Existuje množstvo plemien králikov líšiacich sa veľkosťou, typom srsti i uší. Dĺžka života závisí od plemena a podmienok chovu, bez problémov sa môžu dožiť 10 rokov. Divé králiky žijú kratšie v dôsledku predácie (Peacock & Sinclair, 2009; Vella & Donnelly, 2012; Turner et al., 2018).

Z taxonomického hľadiska boli králiky pôvodne radené medzi hlodavce. V 18. storočí ich Karl von Linné zaradil do skupiny *Glires*, neskôr však boli oddelené do vlastného radu *Lagomorpha* (dvojitozubce), ktorý zahŕňa čeľaď *Ochotonidae* (pískavkovité) a *Leporidae* (zajacovitité), kam patria králiky a zajace (Harkness et al., 2010; Vella & Donnelly, 2012; Chvojková, 2022).

Športový králik je plemeno vyšľachtené špeciálne pre šport králičí hop, ktorý vznikol vo Švédsku koncom 70. rokov 20. storočia (Schybli, 2016). Šport bol inšpirovaný konským

parkúrom a vyvinul sa do štyroch disciplín: rovinná dráha, parkúr (obe v piatich výkonnostných triedach), skok do výšky a skok do diaľky (Krupčíková & Chvojková, 2020; Chvojková, 2022). Pri šľachtení sa uprednostňujú jedince s výbornými športovými výkonmi, dobrou telesnou stavbou a vysokou psychickou odolnosťou. Neexistujú obmedzenia farby, kresby, ani postavenia uší (Žáková, 2016). Výkonnosť je čiastočne dedičná a zahŕňa osvalenie, pevné končatiny, veľkosť srdca a rýchlosť behu. Dôležitá je aj spolupráca s človekom. Príbuzenské kríženie v chovoch športových králikov nie je povolené (Šípová, 2016; Chvojková, 2022). Mláďatám športového králika sa vystavujú rodokmene a sú označené tetovaním alebo mikročipom. Králiky bez rodokmeňa, výstavné králiky, krížence a jedince z hobby chovov sa za športové králiky nepovažujú. Ak rodičia nie sú športové králiky s rodokmeňom, musia sa preukázať výkonnosťou na oficiálnych pretekoch (Šípová, 2015; Krupčíková & Chvojková, 2020).

Na Slovensku môže králik získať titul Elitný a byť zapísaný do Plemennej knihy športových králikov splnením minimálne jednej z podmienok: absolvovanie elitnej triedy v parkúre alebo rovinatej dráhe bez dvojitej diskvalifikácie, preskočenie minimálne 70 cm v skoku do výšky, alebo minimálne 180 cm v skoku do diaľky (Súťažný poriadok králičieho hopu, 2024).

Sliny sú hustá, bezfarebná tekutina, ktorej hlavnou zložkou je voda (až 99 %). Zvyšok tvorí zmes elektrolytov, enzýmov (najmä amyláza), proteínov, mucínu, mikróbov, antigénov a hormónov (Pfafe et al., 2011; Gutiérrez et al., 2014; Akhtar et al., 2018).

U králikov sa vyskytujú štyri hlavné slinné žľazy: parotické (prúšné), submaxilárne (podčelústné/mandibulárne), sublingválne (podjazykové) a bukálne (licné), pričom najviac slín sa tvorí v podčelústných žľazách. Králičie sliny obsahujú amylázu, ako aj stopové množstvá lipázy a urey (Washington & Van Hoosier, 2012; Matosz et al., 2018).

Moč je tekutina obsahujúca odpadové produkty metabolizmu. Jeho zloženie závisí od prostredia. Finálny moč cicavcov obsahuje vodu, ureu, soli a odpadové pigmenty (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2024).

Králiky vylučujú 20–350 ml moču na 1 kg váhy na deň, často nepravidelne a vo veľkom objeme. Moč býva zakalený kvôli obsahu minerálov, trifosfátov, monohydrátu uhličitanu vápenatého a kryštálov uhličitanu vápenatého a je zásaditý s pH 7,6–8,8 (Harkness et al., 2010; Washington & Van Hoosier, 2012; Gallego, 2019). Zafarbenie sa pohybuje od žltej po červenú v závislosti viacerých faktorov. Špecifická hmotnosť moču (USG) je 1,003–1,036 (Varga, 2014; Bodnariu, 2022).

Hormóny sú organické látky, ktorých hlavnou funkciou je regulácia fyziologických procesov a udržiavanie homeostázy organizmu. Hormóny sa uvoľňujú z endokrinných žliaz priamo do krvi, čím sa označujú ako produkty endokrinnnej sekrécie (Barrington, 2024).

Podľa chemickej povahy sa hormóny delia do troch hlavných skupín. Peptidové hormóny (napr. tyreostimulačný hormón, prolaktín, rastový hormón) sú hydrofilné, kódované génmi a syntetizované procesmi transkripcie a translácie a môžu byť vylučované ako neaktívne prekurzory (Galligan et al., 2023). Amínové hormóny sú odvodené od aminokyselín tyrozínu a tryptofánu, zahŕňajú catecholamíny (adrenalin, noradrenalin), hormóny štítnej žľazy (tyroxín, trijódtyronín) a melatonin (Kleine & Rossmanith, 2016). Steroidné hormóny sú lipofilné deriváty cholesterolu. Tvorja sa v kôre nadobličiek, gonádach a počas gravidity aj v placentе. Rozdeľujú sa na glukokortikoidy, mineralokortikoidy, androgény, estrogény a gestagény (Liang, et al., 2022; Walker & Cooke, 2023).

Tabuľka č. 1. Referenčné hodnoty množstva hormónov u králikov v sére (Washington & Van Hoosier, 2012)

Hormón	Množstvo
Kortizol	2,6 – 3,8 µg.dl ⁻¹
Kortikosterón	1,54 µg.dl ⁻¹
Trijódtyronín	130 – 143 ng.dl ⁻¹

Hormón	Množstvo
Tyroxín	1,7 – 2,4 µg.dl ⁻¹
Luteinizačný hormón	10 – 100 ng.ml ⁻¹
Folikulostimulačný hormón	2 – 4,5 ng.ml ⁻¹
Estradiol	3 pg.ml ⁻¹
Progesterón	< 1 ng.ml ⁻¹
Prolaktín	10 ng.ml ⁻¹
Oxytocín	10 – 20 ng.ml ⁻¹
Testosterón	3 – 5 pg.ml ⁻¹

Kortizol je steroidný hormón z triedy glukokortikoidov, produkovaný v kôre nadobličiek v oblasti *zona fasciculata*. Jeho sekréciu riadi adrenokortikotropný hormón (ACTH) z adenohypofýzy. Väčšina kortizolu cirkuluje v neaktívnej forme viazanej na kortikosteroid-viažuci globulín (80 %) alebo albumín (10 %), 10 % predstavuje biologicky aktívny voľný kortizol (Ramamoortha & Cidlowski, 2016; Andanson, et al., 2020; Angelousi et al., 2020; Thau et al., 2023). Kortizol pôsobí prostredníctvom glukokortikoidových receptorov v rôznych tkanivách. V imunitnom systéme znižuje aktivitu T- a B-lymfocytov a migráciu neutrofilov a ovplyvňuje celkový metabolizmus (Hakamata et al., 2017; Thau et al., 2023). Je dôležitou súčasťou stresovej odpovede – po aktivácii sympatika a uvoľnení katecholamínov podporuje zotrvanie tela v pohotovosti (Lee et al., 2015).

U králikov je kortizol prevládajúcim stresovým hormónom. Na presnosť výsledkov testov vplýva stres z manipulácie, odberu či anestézie, preto je dôležitá štandardizácia podmienok. Bolo zistené, že tepelný stres aj individuálne ustajnenie zvyšujú hladiny kortizolu a ovplyvňujú imunitné parametre (Washington & Van Hoosier, 2012).

Kortikosterón je glukokortikoid syntetizovaný v kôre nadobličiek, no enzýmy potrebné na jeho tvorbu sa nachádzajú aj v iných tkanivách, vrátane srdca. Je jedným z hlavných glukokortikoidov cicavcov. Zúčastňuje sa na regulácii metabolizmu sacharidov, bielkovín a rovnováhy vody a elektrolytov (Chakraborty, 2019). U ľudí slúži ako prekursor pri syntéze aldosterónu (Katsu & Baker, 2021). Počas stresu sa kortikosterón ľahko dostáva cez hematoencefalickú bariéru do mozgu. Pôsobí prostredníctvom glukokortikoidových receptorov a moduluje nervové okruhy spojené so stresovou odpoveďou (Garrido et al., 2012; Mora et al., 2012).

U králikov má kortikosterón podobné účinky ako kortizol, no plní dominantnú úlohu stresového hormónu na rozdiel od oných cicavcov (Kadlecova et al., 2023). Štúdia ukázala, že inhalačné anestetikum halotán u králikov zvyšuje hladiny kortikosterónu, zatiaľ čo izoflurán zvyšuje hladiny kortikosterónu aj serotonínu (Gil et al., 2007; Washington & Van Hoosier, 2012).

Testosterón je hlavný androgénny hormón samcov cicavcov. Má steroidnú štruktúru a syntetizuje sa z cholesterolu prevažne Leydigovými bunkami semenníkov (Handelsman, 2020). Zohráva kľúčovú úlohu vo vývine a raste mužských pohlavných orgánov, podporuje tvorbu proteínov, rast svalovej hmoty a sekundárne pohlavné znaky počas puberty (Hiller-Sturmhöfel & Bartke, 1998).

U králikov testosterón ovplyvňuje veľkosť brady a pachových žliaz, zvyšuje značkovanie bradou a jeho hladiny korelujú s dominanciou. Dominantní samci majú vyššiu hladinu testosterónu a estradiolu, zatiaľ čo podriadenosť súvisí s kortikosterónom a ACTH (Briganti et al., 2023).

Materiál a metodika

Do štúdie bolo zaradených 12 králikov rôznych plemien zapojených do športu králičí hop (7 športových králikov, 2 aktívne pretekajúce križence, 3 jedince vo veteránskej triede). Jeden jedinec bol po prekonaní encefalitozoonózy (*Encephalitozoon cuniculi*).

Väčšina králikov bola chovaná celoročne vonku v kotercoch vystlaných drevenými hoblinami a slamou (1 m², výška 60 cm), dva králiky boli počas trvania pokusu vo vnútorných priestoroch. Strava pozostávala z granulovaného krmiva Versele Laga (Cuni Nature a Complete Cuni Adult 1:1) – 30 g denne na jedinca, doplnená o malé dávky ovocia a zeleniny, čerstvú lúčnu zeleň a aditíva: **kolagén** (0,2 g na jedinca, 3× týždenne), **humínové kyseliny** (0,2 g na jedinca, 3× týždenne), **sušené bylinky** (1 PL na jedinca, 2× týždenne), **ľanové semienko** (1 ČL na jedinca, 1× týždenne), **vitamín B** (4 tablety na 12 jedincov, 1× týždenne). Voda a seno boli *ad libitum*. Králiky mali pravidelný výbeh (25 m² každé 3 dni na cca 10 h), dodatkový voľný pohyb na postroji a týždenný tréning (20–30 min na jedinca).

Odbery slín a moču boli realizované v mieste ustajnenia králikov v dvoch časových intervaloch – pred záťažou (ranný odber pred kŕmením) a po záťaži – druhý odber slín bol vykonaný niekoľko minút po ukončení záťaže, zatiaľ čo druhý odber moču predstavoval prvý spontánne vylúčený moč po ukončení tréningu.

Záťaž bola realizovaná formou tréningu na hlinenom povrchu na prekážkovej dráhe. Králiky prekonávali šesť prekážok s výškou 30 – 45 cm a dĺžkou do 50 cm. U veteránov boli rozmery upravené na výšku do 20 cm a dĺžku do 25 cm. Tréning i odber slín prebiehali v trojiciach. Každý králik absolvoval trať trikrát, po ňom druhý a tretí. Tento cyklus sa opakoval ešte dvakrát, pričom celý tréning jednej trojice trval približne 20 minút.

Sliny boli odoberané pomocou buničínových tampónov. Tampón (5 × 3,5 cm) bol pozdĺžne preložený, namotaný a upevnený na drevenú špajdlu bavlnenou niťou. Tampón na špajdlu sa vložil králikovi do ústnej dutiny na 2 – 2,5 minúty. Následne sa okamžite vložil do skúmavky, označil a uschoval v chlade. Tento postup sa aplikoval u každého králika pred aj po tréningu.

Stabilizácia králikov počas odberu slín bola minimálna, králiky sú naučené na každodennú manipuláciu. Osoba vykonávajúca odber si sadla, králika si položila na kolená, jednou rukou mu vložila tampón do ústnej dutiny a druhou ho jemne fixovala.

Moč bol odoberaný v objeme 2 ml pomocou injekčnej striekačky priamo z roštovej toalety do označených skúmaviek následne uložených do chladu. Toalety boli večer pred odberom dôkladne vyčistené a ponechané bez podstielky. Po rannom odbere boli opäť vyčistené a do 2 hodín po tréningu, keď sa králiky spontánne vymočili, bol moč opätovne odobratý.

Všetky skúmavky s biologickým materiálom boli cez noc uschovávané v chladničke pri teplote 5 °C. Nasledujúci deň prebehlo spracovanie vzoriek na Katedre fyziológie živočíchov, Ústav aplikovanej biológie, FBP, SPU v Nitre.

Vzorky moču boli centrifugované pri 2 500 rpm počas 20 minút pri teplote 20 °C. Horná vrstva supernatantu (0,5 ml) bola opatrne odpipetovaná tak, aby nedošlo k narušeniu sedimentu. Táto frakcia bola použitá na následné analýzy.

Separácia slín z tampónov prebiehala v 15 ml kónických centrifugačných skúmavkách, do ktorých sa vložilo šesť sklenených guľčiek a navrch tampón obsahujúci sliny. Sliny boli odstredené pri 8 500 rpm po dobu 15 minút pri teplote 20 °C. Získaná suspenzia bola odpipetovaná do Eppendorfových skúmaviek.

Experiment bol realizovaný trikrát v priebehu desiatich dní, samostatne pre každý analyzovaný hormón. Zber a spracovanie vzoriek boli vždy totožné.

Stanovenie koncentrácie hormónov prebehlo pomocou špecifických ELISA súprav od spoločnosti MyBioSource: kortizol – *Rabbit Cortisol (Cor) ELISA Kit*, kat. č.: MBS2122244; kortikosterón – *Rabbit Corticosterone ELISA Kit*, kat. č.: MBS7607296; testosterón – *Rabbit Testosterone, T ELISA Kit*, kat. č.: MBS1609119. Merania prebiehali podľa návodov výrobcu. Výsledky boli spracované v exceli podľa návodov priložených k jednotlivým kitom. Výpočty a štatistické spracovanie prebehli v programe GraphPad Prism 8. Boli vypočítané základné štatistické charakteristiky: minimálna a maximálna hodnota, aritmetický priemer, smerodajná odchýlka, variačný koeficient a štandardná chyba. Rozdiely medzi skupinami (pred a po záťaži)

a medzi jednotlivcami boli hodnotené t-testom na úrovniach štatistickej významnosti: * $p < 0,5$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

Výsledky a diskusia

V našom pokuse sme využili čisto neinvazívne odbery slín a moču, ktoré umožnili získať dostatočné množstvo vzoriek pri minimálnom strese zvierat. Množstvo odobratých slín sa pohybovalo od 0 do viac ako 150 μl na jedinca. Najčastejšie sa pohybovalo medzi 50 – 99 μl , no 24-krát sme získali nedostatočné množstvo ($< 50 \mu\text{l}$). Najvyššiu úspešnosť odberu mal samec Bernie, ktorý ako jediný poskytol dostatočný objem slín pri všetkých odberoch. Vo všeobecnosti bola úspešnosť vyššia u samcov a pri odberoch pred záťažou.

Použitá metóda odberu slín na tampónik pripevnený na drevenú špajdlu bola modifikovaná podľa štúdie Akhtar et al. (2018), pričom sme sa inšpirovali aj metódou Salivette (Kadlecova et al., 2023). Táto forma bola jednoduchá, šetrná a králikmi dobre tolerovaná. Aj keď množstvo získaných slín bolo nižšie než pri stimulácii pilokarpínom (Djekoun-Bensoltane et al., 2007), výhodou nášho prístupu bola úplná eliminácia invazívneho prístupu. V porovnaní so štúdiami u čajok (Carbillet et al., 2024) a sviň (Akhtar et al., 2018) boli naše výťažky vyššie, čo môže súvisieť s dlhším časom držania tampónika v ústnej dutine, ale aj rozdielmi medzi druhmi.

Odber moču bol rovnako neinvazívny – realizovaný priamo z roštových toaliet ihneď po vymocení zvierat. Táto metóda, hoci závislá od zvierat, bola úspešná bez potreby expresie močového mechúra, katetrizácie či cystocentézy. Následná centrifugácia prebiehala štandardne pri 2 500 rpm počas 20 min (Washington & Van Hoosier, 2012; Gallego, 2019).

Zvolená metodika preukázala vysoký potenciál pre neinvazívne hormonálne analýzy u športových králikov, najmä ak sú zvieratá zvyknuté na pravidelnú manipuláciu od útleho veku.

Tabuľka č. 2. Množstvo objemu odobraných slín u jednotlivých králikov pred a po záťaži

Meno	Kastrácia	Vek [mesiace]	1. deň		2. deň		3. deň	
			Pred [μl]	Po [μl]	Pred [μl]	Po [μl]	Pred [μl]	Po [μl]
Rory	Nie	10	< 50	< 50	< 50	100 – 149	< 50	< 50
Sky	Nie	10	50 – 99	< 50	50 – 99	50 – 99	100 – 149	< 50
Fukušima	Nie	17	100 – 149	< 50	50 – 99	100 – 149	50 – 99	< 50
Naria	Áno	57	50 – 99	< 50	50 – 99	< 50	50 – 99	< 50
Kajlo	Nie	22	< 50	< 50	50 – 99	100 – 149	> 150	50 – 99
Callisto	Nie	33	100 – 149	50 – 99	100 – 149	< 50	50 – 99	50 – 99
Fenrir	Áno	33	< 50	50 – 99	< 50	50 – 99	100 – 149	< 50
Finian	Nie	51	< 50	50 – 99	50 – 99	< 50	50 – 99	50 – 99
Bernie	Nie	94	100 – 149	> 150	50 – 99	50 – 99	> 150	> 150
Boby	Nie	94	50 – 99	< 50	< 50	< 50	50 – 99	100 – 149
Polárko	Nie	99	50 – 99	100 – 149	> 150	< 50	50 – 99	50 – 99
Ryšiachik	Nie	99	> 150	50 – 99	50 – 99	50 – 99		

Uvedené množstvá objemu slín sú približné; hodnoty sú udávané v rozmedziach $< 50 \mu\text{l}$ ■, 50 – 99 μl ■, 100 – 149 μl ■, $> 150 \mu\text{l}$ ■, pretože potrebné množstvo vzorky v kitoch do jednej jamky bolo 50 μl . Prvé 4 králiky sú samice, ostatné samce.

Kortizol, ako jeden z hlavných glukokortikoidov, bol sledovaný v slinách a moči králikov pred a po záťaži. V slinách sa hladiny pohybovali od 18,14 do 73,75 $\text{ng}\cdot\text{ml}^{-1}$ pred záťažou a od 17,78 do 126,14 $\text{ng}\cdot\text{ml}^{-1}$ po záťaži, pričom priemerný nárast bol 46 %, bez signifikantného rozdielu. Najvyšší individuálny nárast bol zaznamenaný u samca Bernie (170 %), najväčší pokles u Ryšiachika (63 %).

V moči sa hodnoty pohybovali v širokom rozmedzí, často nad detekčný limit ELISA kitu (1 000 $\text{ng}\cdot\text{ml}^{-1}$), a priemerný nárast po záťaži bol len približne 2 %. Medzi pohlaviami bol pred

záťažou zaznamenaný štatisticky významný rozdiel (samice: $1862 \pm 36,91 \text{ ng.ml}^{-1}$; samce: $1669 \pm 125 \text{ ng.ml}^{-1}$; $p < 0,05$).

V porovnaní so štúdiou Suba-Bokodi et al. (2024), kde bol po transporte pozorovaný nárast kortizolu v truse až o 1080 %, boli naše hodnoty výrazne nižšie. Podobne štúdia Accorsi et al. (2017) uvádza sérový nárast kortizolu u neadaptovaných králikov až o 1200 %, zatiaľ čo u našich zvierat, zvyknutých na manipuláciu, bol nárast omnoho miernejší. Pri porovnaní s teľatami v štúdiu Kovács et al. (2019), kde u tienených zvierat bol nárast o 51 % a u netienených zvierat o 342 %, bol najvyšší nárast v našej štúdii u samca Bernie – 170 %.

Naše výsledky potvrdzujú, že sliny môžu byť vhodnejším materiálom pre detekciu rýchlych hormonálnych zmien ako moč. Pre presnejšie posúdenie kortizolu v moči by boli vhodné opakované merania a širší detekčný rozsah testov, pretože hodnoty v našej štúdii sa nachádzali mimo detekčného limitu použitého kitu.

Tabuľka č. 3. Množstvá kortikosterónu nameraného v slinách a moči králikov pred a po záťaži

Meno	Sliny		Moč	
	Pred [ng.ml^{-1}]	Po [ng.ml^{-1}]	Pred [ng.ml^{-1}]	Po [ng.ml^{-1}]
Rory	-	-	158,37	122,37
Sky	25,55	-	164,43	162,05
Fukušima	75,98	-	151,51	151,44
Naria	-	-	148,91	148,36
Kajlo	31,40	-	153,20	158,72
Callisto	35,99	77,94	159,90	159,77
Fenrir	-	90,21	149,63	155,40
Finian	-	112,54	79,72	88,85
Bernie	74,95	140,46	162,36	164,46
Boby	5,13	-	144,93	154,81
Polárko	17,59	44,20	153,36	-
Ryšiachik	24,54	59,17	156,58	158,36

Kortikosterón je považovaný za hlavný stresový hormón u králikov. V našej štúdii boli jeho hladiny najvýraznejšie ovplyvnené fyzickou záťažou práve v slinách, kde došlo k priemernému nárastu o viac než 110 %, pričom najvyšší individuálny nárast zaznamenal králik Polárko (151 %). V slinách sa hodnoty pred záťažou pohybovali od 5,13 do 75,98 ng.ml^{-1} , po záťaži od 44,20 do 140,46 ng.ml^{-1} .

V moči boli zmeny podstatne nižšie – priemerné rozdiely sa pohybovali len okolo $\pm 10 \text{ ng.ml}^{-1}$, bez signifikantného rozdielu. Výnimkou bola samica Rory (pokles o 22,73 %). Zaznamenaný bol štatisticky významný rozdiel medzi samcami a samicami v skupine pred záťažou (samice: $155,80 \pm 3,50 \text{ ng.ml}^{-1}$; samce: $145 \pm 9,52 \text{ ng.ml}^{-1}$; $p < 0,05$), po záťaži sa tento rozdiel vyrovnal. Porovnaním so štúdiou Kadlecova et al. (2023) vidíme, že naše hodnoty v slinách sú výrazne vyššie ako u králikov v pokojových podmienkach – max. 1,3 ng.ml^{-1} , ale nižšie než hodnoty z extrémne stresujúcich podmienok zo štúdie Munari et al. (2020) – až 2929 ng.ml^{-1} . Dôvodom môže byť vyššia adaptácia našich králikov na manipuláciu a záťaž.

V porovnaní s dlhodobým stresom sledovaným u domácich králikov v štúdiu Hube et al. (2023), kde sa zvýšenie hladiny kortikosterónu pohybovalo okolo 99 %, sme pri našej štúdii pri akútnom strese zaznamenali nárast o približne 110 %, čo poukazuje na citlivosť kortikosterónu ako indikátora stresovej odpovede u králikov.

Tieto výsledky naznačujú, že sliny sú vhodným materiálom na hodnotenie akútneho stresu u králikov, zatiaľ čo moč môže odrážať zmeny s oneskorením, ktoré v tejto štúdii nebolo možné zaznamenať.

Tabuľka č. 4. Množstvá kortizolu nameraného v slinách a moči králikov pred a po záťaži

Meno	Sliny		Moč	
	Pred [ng.ml ⁻¹]	Po [ng.ml ⁻¹]	Pred [ng.ml ⁻¹]	Po [ng.ml ⁻¹]
Rory	-	126,14	1930,04	1911,17
Sky	32,27	37,39	1899,88	1884,43
Fukušima	73,75	55,01	1856,93	1870,20
Naria	45,86	-	1760,71	1679,36
Kajlo	49,92	42,94	1925,64	1956,40
Callisto	34,64	-	1843,68	1810,74
Fenrir	-	45,07	1756,43	1762,18
Finian	44,86	-	823,19	1307,42
Bernie	44,73	120,93	1735,08	1505,30
Boby	-	-	1782,92	1878
Polárko	18,14	-	1625,24	-
Ryšiačik	48,14	17,78	1861,04	1898,81

Testosterón ako hlavný androgén bol sledovaný v moči aj slinách králikov pred a po fyzickej záťaži. Najvyššia hladina testosterónu v slinách pred záťažou bola u samca Finiana (7,63 ng.ml⁻¹), po záťaži sa najviac prejavila u toho istého králika (6,45 ng.ml⁻¹). Väčšina samcov vykazovala vyššie hodnoty ako samice, pričom rozdiel medzi skupinami (samci: 2,91 ± 0,89 ng.ml⁻¹; samice: 1,78 ± 1,04 ng.ml⁻¹) bol takmer 39 %. Výraznejšiu hladinu zaznamenala samica Fukušima (3,69 ng.ml⁻¹), čo naznačuje možné hormonálne zmeny spojené s estrálnym cyklom.

Po záťaži sme v slinách pozorovali pokles hladín testosterónu u väčšiny králikov (5 z 6), v rozmedzí 15 – 67 %, čo korešponduje so štúdiou Qin et al. (2020), kde bol pokles v sére potkanov až 53 % po strese. Výnimkou bol králik Bernie s nárastom o 213 %, čo môže súvisieť s individuálnou stresovou reaktivitou.

V moči boli hladiny testosterónu celkovo vyššie ako v slinách, no s menšími rozdielmi pred a po záťaži. Zmeny boli prevažne nevýrazné (±10 %), pričom 6 králikov malo nárast a 5 pokles. Výrazný nárast bol u Finiana (187 %) a Callista (89 %). U kastrováných jedincov (Fenrir a Naria) boli výsledky v moči veľmi podobné, čo podporuje zistenia Fecteau et al. (2007) o minimálnych rozdieloch medzi kastrovanými pohlaviami.

Z výsledkov vyplýva, že sliny odrážajú zmeny testosterónu rýchlejšie než moč a sú vhodnejšie na sledovanie akútnej hormonálnej odpovede. V moči sa pravdepodobne zmeny prejavia oneskorene, alebo ich intenzita nie je dostatočná na detekciu v prvom moči po záťaži.

Tabuľka č. 5. Množstvá testosterónu nameraného v slinách a moči králikov pred a po záťaži

Meno	Sliny		Moč	
	Pred [ng.ml ⁻¹]	Po [ng.ml ⁻¹]	Pred [ng.ml ⁻¹]	Po [ng.ml ⁻¹]
Rory	-	-	14,30	10,67
Sky	0,11	-	3,36	3,58
Fukušima	3,69	-	17,49	18,12
Naria	1,55	-	9,93	12,64
Kajlo	1,37	0,45	20,33	19,17
Callisto	2,97	1,66	4,48	8,47
Fenrir	4,11	-	13,08	11,80
Finian	7,63	6,45	1,19	3,42
Bernie	1,23	3,86	8,40	7,17
Boby	2,08	1,63	14,18	9,23
Polárko	0,97	0,63	3,23	3,61
Ryšiačik	-	-	-	-

Záver

Cieľom tejto štúdie bolo vyhodnotiť hormonálne zmeny v slinách a moči športových králikov v súvislosti s fyzickou záťažou, a zároveň overiť vhodnosť neinvazívnych metód zberu biologického materiálu.

Najvýraznejšiu hormonálnu odpoveď po fyzickej aktivite vykazoval kortikosterón, ktorého hladiny v slinách sa po záťaži zvýšili v priemere o viac než 120 %. Tento výsledok potvrdzuje postavenie kortikosterónu ako hlavného stresového hormónu u králikov. Naopak, kortizol vykazoval kolísavé hodnoty bez výraznejšej zmeny, čo naznačuje, že zvieratá zvyknuté na manipuláciu a tréning nemusia reagovať na fyzickú záťaž zvýšením jeho sekrécie.

Testosterón sa významnejšie menil len v slinách – prevažne s poklesom po výkone – zatiaľ čo hodnoty v moči ostali stabilné. Tieto výsledky podporujú hypotézu, že sliny môžu byť citlivejším indikátorom akútnej hormonálnej odpovede než moč.

Z celkového hodnotenia vyplýva, že sliny sú vhodnejším biologickým materiálom pre monitorovanie rýchlych hormonálnych zmien, zatiaľ čo moč môže byť efektívnejší pri dlhodobejšom sledovaní. Budúce výskumy by sa mohli zamerať na vplyv času od záťaže na hormonálnu exkréciu, prípadne na porovnanie začiatočníkov a skúsených jedincov králikov v športe králičí hop. Takéto doplnenie by mohlo ďalej prispieť k lepšiemu pochopeniu stresovej odpovede u králikov a k zlepšeniu ich welfare v športe i chove.

PodĎakovanie

Práce bola finančne podporená projektami APVV-21-0168 a VEGA 1/0553/26.

Literatúra

- Accorsi, P. A. – Biscotto, R. – Viggiani, R., et al. 2017. *Changes in cortisol and glucose concentrations in rabbits transported to the slaughterhouse*. In: *Livestock Science*, vol. 204, p. 47-51. ISSN: 1871-1413.
- Andanson, S. – Boissy, A. – Veissier, I. 2020. *Conditions for assessing cortisol in sheep: the total form in blood v. the free form in saliva*. In: *Animal*, vol. 14, no. 9, p. 1916-1922. ISSN: 1751-7311.
- Angelousi, A. – Margioris, A. N. – Tsatsanis, C., et al. 2020. *ACTH Action on the Adrenals*. In: *Endotext* [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25905342/>.
- Akhtar, J. – Jafarikia, M. – Sullivan, B. P., et al. 2018. *An efficient method for saliva collection from mature pigs to determine their enzymatic and electrolytic profiles*. In: *J Vet Med Sci*, vol. 80, no. 1, p. 147-151. Doi: 10.1292/jvms.17-0403.
- Barrington, E. J. W. 2024. *Hormone*. In: *Encyclopedia Britannica* [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné na: <https://www.britannica.com/science/hormone>.
- Bodnariu, A. 2022. *Clinical pathology of rabbits – interpretation of biochemistry, haematology and urinalysis results*. In: *Improve Veterinary Practice* [online]. [cit. 2024-04-03]. Dostupné na: <https://www.veterinary-practice.com/article/clinical-pathology-of-rabbits>.
- Briganti, F. – Seta, D. D. – Fontani, G., et al. 2023. *Behavioral effects of testosterone in relation to social rank in the male rabbit*. In: *Aggressive Behavior*, vol. 29, no. 3, p. 269-278. Doi: <https://doi.org/10.1002/ab.10024>.
- Carbillet, J. – Saks, L. – Sepp, T. 2024. *Salivary corticosterone reflects plasmatic levels in a wild seabird*. In: *General and Comparative Endocrinology*, vol. 345. ISSN: 0016-6480.
- Djekoun-Bensoltane, S. – Kammerer, M. – Larhantec, M., et al. 2007. *Nitrate and nitrite concentrations in rabbit saliva: Comparison with rat saliva*. In: *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 23, no. 1, p. 132-134. ISSN: 1382-6689.
- Fecteau, K. A. – Deeb, B. J. – Rickel, J. M., et al. 2007. *Diagnostic Endocrinology: Blood Steroid Concentrations in Neutered Male and Female Rabbits*. In: *Journal of Exotic Pet Medicine*, vol. 16, no. 4, p. 256-259. ISSN: 1557-5063.
- Gallego, M. 2019. *Urinary calcium assessment and its relation with age, sex and Encephalitozoon cuniculi serological status in otherwise healthy pet rabbits*. In: *VetRecord Open*, vol. 6, no. 1. Doi: <https://doi.org/10.1136/vetreco-2017-000251>.
- Galligan, T. M. – Temkin, A. M. – Hale, M. D. 2023. *Endocrine system: chapter 1.1*. In: *Environmental Contaminants and Endocrine Health*. Academic Press, p. 3-23. ISBN: 9780128244647.
- Garrido, P. – de Blas, M. – del Arco, A., et al. 2012. *Aging increases basal but not stress-induced levels of corticosterone in the brain of the awake rat*. In: *Neurobiology of Aging*, vol. 33, no. 2, p. 375-382. ISSN: 0197-4580.

- Gil, A. G. – Silvan, G. – Illera, J. C. 2007. *Pituitary-adrenocortical axis, serum serotonin and biochemical response after halothane or isoflurane anaesthesia in rabbits*. In: *Lab. Anim.*, vol. 41, p. 411-419.
- Gutiérrez, A. M. – Cerón, J. J. – Fuentes-Rubio, M., et al. 2014. *A proteomic approach to porcine saliva*. In: *Curr. Protein Pept. Sci.*, vol. 15, p. 56-63. Doi: 10.2174/1389203715666140221115704.
- Handelsman, D. J. 2020. *Androgen Physiology, Pharmacology, Use and Misuse*. In: *Endotext* [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279000/>.
- Hakamata, Y. – Komi, S. – Moriguchi, Y., et al. 2017. *Amygdala-centred functional connectivity affects daily cortisol concentrations: a putative link with anxiety*. In: *Sci Rep*, vol. 7, no. 1, p. 8313. Doi: 10.1038/s41598-017-08918-7.
- Harkness, J. E. et al. 2010. *The Biology and Medicine of Rabbits and Rodents*. 5th edn. Blackwell Publishing, 455 p. ISBN-13: 978-0-8138-1531-2.
- Hiller-Sturmhöfel, S. – Bartke, A. 1998. *The endocrine system: an overview*. In: *Alcohol Health and Research World*, vol. 22, no. 3, p. 153-164. PMID: 15706790. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6761896/>.
- Hube, D. – van Meegen, C. – Herbrandt, S., et al. 2023. *Hair corticosterone concentration as a potential stress marker in pet rabbits*. In: *Vet Record*, vol. 193, no. 9. Doi: <https://doi.org/10.1002/vetr.3464>.
- Chakraborty, A. 2019. *Corticosterone*. In: *Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior*. Springer, Cham, p. 1-5. Doi: 10.1007/978-3-319-47829-6_1336-1.
- Chvojková, J. 2022. *Hematologické vyšetrenie krvi športových králikov: bakalárska práca*. Nitra: SPU FBP, s. 10-13.
- Kadlecova, G. – Volfova, M. – Chloupek, J., et al. 2023. *Determination of diurnal rhythm of salivary corticosterone concentration in the domestic rabbit (Oryctolagus cuniculus f. domestica) using a non-invasive method*. In: *Sci Rep*, vol. 13, p. 6419. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33575-4>.
- Katsu, Y. – Baker, M. E. 2021. *Corticosterone*: subchapter 123A. In: *Handbook of Hormones*, 2nd ed. Academic Press, p. 935-937. ISBN: 9780128206492.
- Kleine, B. – Rossmanith, W.G. 2016. *Hormones Derived by Amino Acid Conversion*: chapter. In: *Hormones and the Endocrine System*. Springer, Cham, p. 237-245. Doi: 10.1007/978-3-319-15060-4_7.
- Kovács, L. – Kézér, F. – Ruff, F., et al. 2019. *Effect of artificial shade on saliva cortisol concentrations of heat-stressed dairy calves*. In: *Domestic Animal Endocrinology*, vol. 6, p. 43-47. ISSN: 0739-7240.
- Krupčíková, S. – Chvojková, J. 2020. *Škola parkúrového skákania s králikmi – I- lekcia (Úvod do králičieho hopu)*. In: *Chovateľ – Časopis pre chovateľov zvierat* [online]. © 2020 [cit. 11-3-2022]. Dostupné na internete: http://casopischovatel.sk/clanok/skola_parkuroveho_skakania_s_kralikmi_1_lekcia-336.
- Lee, D. Y. – Kim, E. – Choi, M. H. 2015. *Technical and clinical aspects of cortisol as a biochemical marker of chronic stress*. In: *BMB Rep*, vol. 48, no. 4, p. 209-216. Doi: 10.5483/bmbrep.2015.48.4.275.
- Liang, J. – Zhang, B. – Na, Z., et al. 2022. *Effects of steroid hormones on lipid metabolism in sexual dimorphism: A Mendelian randomization study*. In: *Front Endocrinol (Lausanne)*, vol. 13. Doi: 10.3389/fendo.2022.1119154.
- Matosz, B. – Dezdrobitu, C. – Martonos, C. O., et al. 2018. *Topography of the major salivary glands in rabbits*. In: *Semantic Scholar* [online]. [cit. 2024-04-05]. Dostupné na: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:160006880>.
- Mora, F. – Segovia, G. – del Arco, A., et al. 2012. *Stress, neurotransmitters, corticosterone and body-brain integration*. In: *Brain Research*, vol. 1476, p. 71-85. ISSN: 0006-8993.
- Munari, Ch. – Ponzio, P. – Macchi, E., et al. 2020. *A multifactorial evaluation of different reproductive rhythms and housing systems for improving welfare in rabbit does*. In: *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 230. ISSN: 0168-1591.
- Peacock, D. E. – Sinclair, R. G. 2009. *Longevity record for a wild European rabbit (Oryctolagus cuniculus) from South Australia*. In: *Aust Mammal*. Vol. 31, p. 65-66.
- Pfaffe, T. – Cooper-White, J. – Beyerlein, P., et al. 2011. *Diagnostic potential of saliva: current state and future applications*. In: *Clin. Chem.*, vol. 57, p. 675-687. Doi: 10.1373/clinchem.2010.153767.
- Qin, M. Y. – Atwood, R. E. – Ketchum, W. A., et al. 2020. *Characterization of serum levels of testosterone and corticosterone in a blast and amputation rat model of heterotopic ossification*. In: *Molecular and Cellular Endocrinology*, vol. 509, p. 110799. ISSN: 0303-7207.
- Ramamoorthy, S. – Cidlowski, J. A. 2016. *Corticosteroids: Mechanisms of Action in Health and Disease*. In: *Rheum Dis Clin North Am*, vol. 42, no. 1, p. 15,31. Doi: 10.1016/j.rdc.2015.08.002.
- Schybli, M. 2016. *Kanin hop in der Schweiz*. Schweizer Tierschutz STS, 16 p. Dostupné na: http://www.tierschutz.com/heimtiere/docs/pdf/recherche_kaninhop.pdf.
- Suba-Bokodi, É. – Nagy, I. – Molnár, M. 2024. *The Impact of Transportation on the Cortisol Level of Dwarf Rabbits Bred to Animal-Assisted Interventions*. In: *Animals*, vol. 14, no. 5, p. 664. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani14050664>.
- Súťažný poriadok králičieho hopu. 2024. *Súťažný poriadok králičieho hopu v SR*. Dostupné na: <https://kralicishopdatabaza.weebly.com/sutazny-poriadok.html>.

- Šípová, L. 2015. *Športový králik – nový smer chovu králikov*. In: *Chovatel*. Vol. 51, no. 11, p. 3-5. ISSN 2729-7616.
- Šípová, L. 2016. *Sportovní králik - nový chovatelský směr u králiků*. In: *Chovatel*. Vol. 55, no. 1, p. 8 - 9. ISSN 0323-1534.
- Thau, L. – Gandhi, J. – Sharma, S. 2023. *Physiology, Cortisol*. In: *StatPearls* [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538239/>.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. 2024. *Urine*. In: *Encyclopedia Britannica* [online]. [cit. 2024-04-03]. Dostupné na: <https://www.britannica.com/science/urine>.
- Turner, P. V – Brash, M. L. – Smith, D. A. 2018. *Rabbits: chapter 1*. In *Pathology of small mammal pet*. John Wiley & Sons, Inc., p. 1-88. ISBN 9781118969595.
- Varga, M. 2014. *Rabbit basic science*. In: *Textbook of rabbit medicine*, 2nd ed. Elsevier Ltd., p. 3-108. ISBN: 978-0-7020-4979-8.
- Vella, D. – Donnelly, T. M. 2012. *Rabbits: Section II. Basic anatomy, physiology and husbandry: chapter 12*. In: *Ferrets, rabbits and rodents (Clinical medicine and surgery)*, 3rd ed. Saunders (Elsevier), p. 157-173. ISBN: 978-1-4160-6621-7.
- Walker, W. H. – Cooke, P. S. 2023. *Functions of Steroid Hormones in the Male Reproductive Tract as Revealed by Mouse Models*. In: *Int J Mol Sci*, vol. 23, no. 3, p. 2748. Doi: 10.3390/ijms24032748.
- Washington, I. M. – Van Hoosier, G. 2012. *Clinical biochemistry and hematology: chapter 3*. In: *The laboratory rabbit, guinea pig, hamster, and other rodents*. 1st ed. Elsevier Inc., p. 57-116. ISBN: 978-0-12-380920-9.
- Žáková, Ž. 2016. *Můj chov králiků a netradiční sporty s králíky*. In: *Chovatel*. Vol. 55, no. 10, p. 54 - 58. ISSN 0323-1534.

Kontaktné adresy autorov:

Ústav aplikovanej biológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

* Korešpondenčný autor: Júlia Chvojková/xchvojkova@uniag.sk/ Ústav aplikovanej biológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

VPLYV ROZDIELNEJ VEĽKOSTI ČASTÍC NA ENERGETICKÚ A DUSÍKATÚ HODNOTU KUKURIČNÝCH SILÁŽÍ

THE EFFECT OF DIFFERENT PARTICLE SIZE ON THE ENERGY AND PROTEIN VALUE OF CORN SILAGES

Miroslav Juráček, Daniel Bíro, Jan Pazdera, Milan Šimko, Branislav Gálik, Michal Rolinec, Ondrej Hanušovský, Matúš Džima, Mária Kapusniaková, Samuel Juhás

Abstract: The aim of the study was to analyze the physical structure of corn silage and to determine the effect of different particle sizes on its energy and nitrogen value, production efficiency, and protein/energy ratio. The research was conducted at a dairy farm in Oponice (University Farm Kolíňany), where corn silage samples were collected from a silo pit on the 65th day after covering. The samples ($n = 3$) were sieved using a Penn State Particle Separator, and the dry matter content, gross energy (GE), metabolizable energy for ruminants (ME_{ru}), net energy for lactation (NEL), digestible crude protein in the small intestine for ruminants (PDIN, PDIE), and PDIN/NEL ratio were determined in the corn silage and its individual fractions. The results confirmed that the average NEL value reached 6.93 MJ.kg⁻¹ dry matter, and production efficiency through NEL was 2.19 kg of milk, indicating the high energy value of corn silage. However, the corn silage showed low PDIN values (35.25 g.kg⁻¹ dry matter), with correspondingly low production efficiency based on PDIN (only 0.71 kg of milk). Analysis of the physical structure revealed that particles larger than 8 mm (present on the 1st and 2nd sieve) accounted for 72.67%, which was in line with recommended ranges. The results showed that the finest particles (<4 mm) had statistically significantly higher ME_{ru}, NEL, production efficiency via NEL, and PDIE values compared to the longest particles (>19 mm). On the other hand, differences in PDIN content, production efficiency via PDIN, and PDIN/NEL ratio among particle size fractions were not statistically significant. Different particle sizes of corn silage significantly influence its energy value and production efficiency expressed via NEL but have no proven effect on nitrogen value expressed via PDIN. The optimal physical structure of silage is a key factor in maximizing nutrient and energy utilization for dairy cows.

Keywords: particle size, corn, silage, quality

Úvod

Kukuričná siláž, ako základná súčasť kŕmnych dávok dojníc, slúži ako primárny zdroj energie vďaka vysokému obsahu škrobu a stráviteľnej vlákniny (NDV). Fyzikálne vlastnosti kukuričnej siláže, ako je veľkosť častíc a stupeň spracovania zrna, významne ovplyvňujú jej stráviteľnosť a následne aj účinnosť využitia živín u dojníc (Liu et al., 2021). Dĺžka rezanky ovplyvňuje fyzikálnu štruktúru siláže (zároveň aj TMR), čo následne ovplyvňuje dynamiku fermentácie, zachovanie živín a príjem krmiva. Kratšia dĺžka rezanky pozitívne zlepšuje zhutnenie, čím sa znižuje koncentrácia kyslíka, a tým sa podporujú anaeróbne podmienky priaznivé pre baktérie mliečneho kvasenia. Odporúčaná teoretická dĺžka rezanky pre výrobu kvalitnej kukuričnej siláže je podľa Bíro et al. (2020) 10-20 mm a podľa Ferraretto et al. (2018) 10 mm z hľadiska účinnosti fermentácie a zachovania živín. Napriek uvedeným odporúčaniam sa optimálna dĺžka rezanky môže líšiť v závislosti od mnohých faktorov, ako je stupeň silážnej zrelosti, obsah sušiny a spôsob vyberania už vyfermentovanej siláže (Bíro et al., 2020; Khan et al. 2024). Použitie tradičných rezačiek umožňuje výrobu siláže s rôznou dĺžkou rezanky (**od 3,5 do 22 mm**), hmota je narezaná priečne, pričom využitie rezačiek s technológiou Shredlage umožňuje výrobu siláže s dĺžkou rezanky od 22 do 30 mm a hmota je narezaná nielen priečne, ale aj pozdĺžne (Jančík et al., 2022).

Cieľom príspevku bolo zistiť fyzikálnu štruktúru kukuričnej siláže a charakterizovať vplyv rozdielnej veľkostí častíc na energetickú, dusíkatú hodnotu, produkčnú účinnosť a zlučovací pomer.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Významnou zložkou TMR u vysoko produkčných dojníc je kukuričná siláž, ako hlavný zdroj energie vo forme fermentovateľných sacharidov a stráviteľnej neutrálnedetergentnej vlákniny (Bach et al., 2021). Fyzikálna štruktúra kukuričnej siláže a stupeň narušenia zrna zohráva kľúčovú úlohu vo funkcii bachora a následne aj v celkovej úžitkovosti zvierat (Ferraretto et al., 2015). Zaradenie kukuričnej siláže do TMR ovplyvňuje príjem krmiva, fermentáciu v bachore a využiteľnosť živín. Dlhšie častice kukuričnej siláže priaznivo vplyvajú na funkcie bachora u dojníc (Ferraretto et al., 2018). Nevhodná fyzikálna štruktúra alebo nedostatočné spracovanie zrna v kukuričnej siláži však môžu viesť k zníženiu aktivity prežúvania, čo prispieva k poklesu hodnoty pH v bachore a zvýšenému riziku metabolických porúch, ako je napr. subakútna bachorová acidóza (Doležal et al., 2012; Kmicikewycz et al., 2015). Hanušovský et al. (2017) pri subakútnej bachorovej acidóze potvrdili pokles produkcie mlieka o 6,8 % v porovnaní so skupinou s optimálnou hodnotou pH. Fyzikálna štruktúra TMR významne ovplyvňuje produkciu a zloženie mlieka, najmä obsah tuku (Haselmann et al., 2019). Zebeli et al. (2007) skúmali vzťah medzi prežúvaním a parametrami produkcie mlieka u laktujúcich dojníc. Analýza potvrdila, že predĺžený čas prežúvania v dôsledku dostatočného príjmu štruktúrálnej vlákniny, pozitívne súvisel s vyšším obsahom mliečného tuku a zlepšenou stabilitou hodnoty pH bachora.

Materiál a metódy

Odber vzoriek kukuričnej siláže sa uskutočnil na VPP SPU, s.r.o. v Koliňanoch, na farme dojníc v Oponiciach. Siláž bola uskladnená v nezastrešenom, povrchovom, neprejazdnom silážnom žľabe, hmota bola zakrytá priesvitnou podkladovou fóliou a čiernou krycou fóliou, zaťaženou pneumatikami. Kukuričná siláž bola vyrobená z neskorého hybridu (FAO 500) s typom zrna SC, dent. Pri silážovaní kukuričnej hmoty sa aplikovalo biologické aditívum v tekutej forme ($1,0 \times 10^{11}$ KTJ.g⁻¹) *L. plantarum*, *L. buchneri*, *L. kefir*, *P. acidilactici*. Aditívum bolo aplikované pomocou samohybnéj rezačky v množstve 1,5 g na tonu hmoty, čo zodpovedalo aplikačnej dávke 150 000 KTJ.g⁻¹. Priemerné vzorky siláže boli odobraté na 65. deň po zakrytí z viacerých miest profilovej steny silážneho žľabu. Po dôkladnom premiešaní a delení boli získané konečné vzorky (n = 3). Fyzikálna štruktúra kukuričnej siláže (n = 3) bola stanovená preosievaním prostredníctvom separátora veľkostí častíc Penn State Particle Size Separator (sitá s priemerom otvorov 19 mm, 8 mm, 4 mm a podložka). Podiel jednotlivých frakcií na sitách a podložke bol porovnávaný s odporúčaním podľa Heinrichs a Jones (2022). Vo vzorkách kukuričnej siláže a jednotlivých frakcií bol stanovený obsah: sušiny v % (vysušením pri teplote 103°C), brutto energie v MJ.kg⁻¹ sušiny (BE), metabolizovateľnej energie pre prežúvavce v MJ.kg⁻¹ sušiny (MEpr), skutočne stráviteľných dusíkatých látok v g.kg⁻¹ sušiny (PDIN, PDIE) podľa Výnosu číslo 39/1/2002-100 (Príloha č. 8), hodnota netto energie laktácie v MJ.kg⁻¹ sušiny (NEL) bola stanovená kalkuláciou (na základe ADV) podľa SGS (2017), produkčná účinnosť cez NEL v kg mlieka (PÚ cez NEL) bola stanovená kalkuláciou: NEL/3,17, produkčná účinnosť cez PDIN v kg mlieka (PÚ cez PDIN) bola stanovená kalkuláciou: PDIN/50, zlučovací pomer (ZP) bol stanovený kalkuláciou: PDIN/NEL. Základné variačno-štatistické charakteristiky boli spracované pomocou softvérového balíka SPSS, verzia 26.0 (IBM). Na analýzu rozdielov medzi sledovanými skupinami bola použitá jednosmerná analýza rozptylu (ANOVA). Následne bol na overenie štatistickej významnosti rozdielov aplikovaný Tukeyho post-hoc test pri hladine významnosti $P < 0,05$.

Podakovanie patrí pracovníkom farmy dojníc Oponice, VPP SPU, s.r.o. v Kolíňanoch za odbornú spoluprácu pri zabezpečení odberov vzoriek a realizácii zberu údajov.

Výsledky a diskusia

Analýzou štruktúry kukuričnej siláže (KS) zo žľabu sa zistil podiel na 1. site 2,92%, na 2. site 69,75%, na 3. site 16,37% a na podložke 10,96% (Tabuľka 1). Podiel na 1. site bol mierne nižší v porovnaní s odporúčaním podľa Heinrichs a Jones (2022), na 3. site bol nižší podiel, na 2. site bol zaznamenaný vyšší podiel, pričom na podložke bol mierne vyšší podiel. Podiel častíc väčších ako 8 mm (podiel na 1. a 2. site) tvoril 72,67 %, čo bolo v súlade s odporúčaným rozpätím 48-73% (Heinrichs a Jones, 2022). Z hľadiska eliminácie separovania častíc a optimálneho času príjmu krmiva Grant a Cotanch (2023) odporúčajú TMR, ktoré obsahujú >50 % častíc na 8 mm site a <5 % na 19 mm site.

Tabuľka 1. Štruktúra kukuričnej siláže

n=3		Podiel v % na:			
		1. site	2. site	3. site	podložke
		otvory 19 mm	otvory 8 mm	otvory 4 mm	/
Kukuričná siláž	Priemer	2,92	69,75	16,37	10,96
	SD	0,96	2,17	1,36	0,15
Odporúčané*	/	3 - 8%	45 - 65%	20 - 30%	< 10%

*Heinrichs a Jones (2022)

Priemerný obsah brutto energie kukuričnej siláže odobranej zo silážneho žľabu dosiahol priemernú hodnotu 18,05 MJ.kg⁻¹ sušiny (Tabuľka 2), čo je v súlade s Heuzé et al. (2017), ktorí uvádzajú v KS s obsahom sušiny 35-40 % rozpätie BE od 16,80 do 19,10 MJ.kg⁻¹ sušiny. Obsah brutto energie sa zvyšoval, pričom najvyššia hodnota bola zaznamenaná na treťom site a dosiahla hodnotu 18,23 MJ.kg⁻¹ sušiny. Metabolizovateľná energia (MEpr) kukuričnej siláže zo silážneho žľabu mala priemernú hodnotu 10,63 MJ.kg⁻¹ sušiny. Podľa údajov uvedených v databáze podľa Heuzé et al. (2017) je priemerná hodnota MEpr pre kukuričné siláže s obsahom sušiny v rozsahu 35–40 % 11,00 MJ.kg⁻¹, čo je vyššia hodnota v porovnaní so zistenou priemernou hodnotou. Analýzou častíc sa potvrdilo, že hodnota MEpr sa štatisticky preukazne zvyšovala ($P < 0,05$), pričom na prvom site bola zaznamenaná hodnota 10,50 MJ a na podložke 10,64 MJ.kg⁻¹ sušiny. Hodnota NEL v kukuričných silážach je v rozpätí od 5,90 do 6,92 MJ.kg⁻¹ sušiny (Wisconsin, 2025), pričom priemerná hodnota netto energie laktácie KS zo žľabu bola až 6,93 MJ.kg⁻¹ sušiny. Podľa Mitrika (2018) NEL v KS dosahuje hodnoty 6,20-6,80 MJ.kg⁻¹ sušiny. V prehľadovej štúdii García-Chávez et al. (2022) uvádzajú široké rozpätie NEL 3,77-6,69 MJ.kg⁻¹ sušiny. Porovnaním hodnôt z prvého sita a podložky bolo zistené štatisticky preukazné lineárne zvýšenie ($P < 0,05$) hodnoty NEL. Produkčná účinnosť kukuričnej siláže zo žľabu mala priemernú hodnotu 2,19 kg mlieka.kg⁻¹ sušiny. Porovnaním hodnôt z prvého sita (1,98 kg mlieka.kg⁻¹ sušiny) a podložky (2,31 kg mlieka.kg⁻¹ sušiny) sa zistilo štatisticky preukazné zvýšenie ($P < 0,05$) hodnoty produkčného potenciálu.

Tabuľka 2. Vplyv rozdielnej veľkosti častíc na energetickú hodnotu kukuričných siláží

v MJ.kg ⁻¹ sušiny	n=3	1. sito	2. sito	3. sito	podložka	KS zo žľabu
Sušina v %	Priemer	33,00 ^{abc}	40,00 ^{ade}	43,00 ^{bdf}	48,00 ^{cef}	38,00
	SD	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01
BE	Priemer	17,88 ^{ab}	17,98 ^a	18,23 ^{bc}	17,96 ^c	18,05
	SD	0,02	0,01	0,07	0,06	0,01
MEpr	Priemer	10,50 ^{abc}	10,62 ^{ad}	10,59 ^{bde}	10,64 ^{ce}	10,63
	SD	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
NEL	Priemer	6,28 ^{abc}	6,85 ^{ad}	6,88 ^{be}	7,32 ^{cde}	6,93
	SD	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PÚ* cez NEL	Priemer	1,98 ^{abc}	2,16 ^{ad}	2,17 ^{be}	2,31 ^{cde}	2,19
	SD	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

BE: brutto energia, MEpr: metabolizovateľná energia pre prežúvavce, NEL: netto energia laktácie, PÚ: produkčná účinnosť, * v kg mlieka, KS: kukuričná siláž, hodnoty s rovnakým indexom v riadku: P<0,05

Priemerný obsah PDIN v kukuričnej siláži odobranej zo žľabu dosiahol hodnotu 35,25 g.kg⁻¹ sušiny (Tabuľka 3), čo je nižšia hodnota ako minimálna, ktorú uvádza Pazdera et al. (2024) v kukuričných silážach (min. 39,20 a max. 67,70 g.kg⁻¹ sušiny). Ferreira et al. (2024) v kukuričnej siláži s porovnateľným obsahom sušiny 38,70 % zistili vyššiu priemernú hodnotu PDI 61,00±0,04 g.kg⁻¹ sušiny. Na prvom site bola zaznamenaná hodnota PDIN 37,3 g.kg⁻¹ sušiny a na podložke 36,85 g.kg⁻¹ sušiny. Rozdiely však neboli štatisticky významné. Priemerná hodnota PDIE v kukuričnej siláži bola 65,35 g.kg⁻¹ sušiny, čo je v súlade s rozpätím (58,20-75,10 g.kg⁻¹ sušiny) ako uvádzajú Pazdera et al. (2024). Pri porovnaní hodnôt PDIE na prvom site a na podložke boli zaznamenané štatisticky preukazné rozdiely (P < 0,05). Produkčná účinnosť kukuričnej siláže zo žľabu vyjadrená podľa PDIN dosiahla priemernú hodnotu len 0,71 kg mlieka. Pri porovnaní produkčnej účinnosti vypočítanej na základe PDIN z prvého sita a podložky sa nezaznamenali štatisticky významné rozdiely. Podľa zlučovacieho pomeru kukuričná siláž zo žľabu, ako aj frakcie siláže na jednotlivých sitách aj podložke mali zlučovací pomer menší ako 16, čo predstavuje krmivo sacharidového charakteru.

Tabuľka 3. Vplyv rozdielnej veľkosti častíc na dusíkatú hodnotu a zlučovací pomer kukuričných siláží

v g.kg ⁻¹ sušiny	n=3	1. sito	2. sito	3. sito	podložka	KS zo žľabu
PDIN	Priemer	37,30 ^a	35,82	36,25 ^a	36,85	35,25
	SD	0,14	0,49	0,21	0,49	0,49
PDIE	Priemer	64,45 ^{abc}	66,60 ^{ad}	65,95 ^{be}	68,20 ^{cde}	65,35
	SD	0,07	0,14	0,07	0,14	0,21
PÚ* cez PDIN	Priemer	0,75 ^a	0,72 ^a	0,73	0,74	0,71
	SD	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ZP	Priemer	5,88 ^a	5,58 ^a	5,68	5,72	5,49
	SD	0,01	0,06	0,05	0,09	0,09

PDIN a PDIE: skutočne stráviteľné dusíkaté látky v tenkom čreve prežúvavcov, PÚ: produkčná účinnosť, * v kg mlieka, ZP: zlučovací pomer, KS: kukuričná siláž, hodnoty s rovnakým indexom v riadku: P<0,05

Záver

Kukuričná siláž je krmivo s vysokou energetickou hodnotou (NEL 6,93 MJ.kg⁻¹ sušiny) ale s nízkou hodnotou PDI (frakcia PDIN 35,25 g.kg⁻¹ sušiny). Kukuričná siláž ako významné krmivo sacharidového charakteru pre výživu dojníc sa vyznačuje vysokou produkčnou účinnosťou cez NEL (2,19 kg mlieka), avšak nízkou produkčnou účinnosťou cez PDI (len 0,71 kg mlieka). Analýzou fyzikálnej štruktúry kukuričnej siláže sa zistilo, že podiel častíc väčších ako 8 mm (podiel na 1. a 2. site) tvoril 72,67 %, čo bolo v súlade s odporúčaným rozpätím. Analýzou frakcií kukuričnej siláže sa potvrdilo, že najjemnejšie častice (menšie ako 4 mm) majú štatisticky preukazne vyššiu hodnotu ME_{pr}, NEL, PÚ cez NEL a PDIE v porovnaní s najdlhšími časticami (väčšími ako 19 mm). Výsledky nepotvrdili preukazný vplyv rozdielnej štruktúry častíc kukuričnej siláže na hodnotu PDI (vyjadrenú PDIN), produkčnú účinnosť cez PDIN a zlučovací pomer.

Podakovanie

Práca bola riešená v rámci projektu VEGA 1/0321/23: „Efektívny manažment výživy prežuvavcov s využitím moderného spôsobu monitorovania vnútorného prostredia.”

Literatúra

- Bach, A., Joulie, I., Chevaux, E., Elcoso, G., Ragués, J. (2021). Milk performance and rumen microbiome of dairy cows as affected by the inclusion of corn silage or corn shredlage in a total mixed ration. *Animal*, 15(1), 100014.
- Bíro, D., Juráček, M., Šimko, M., Gálik, B., Rolinec, M. (2020). Konzervovanie a úprava krmív. 2. vyd. Nitra: SPU, 223 s. ISBN 978-80-552-2149-6.
- Doležal, P., Dvořáček J., Loučka, R. et al. (2012). Konzervace krmiv a jejich využití ve výživě zvířat. Petr Baštan. 307 s. ISBN 978-80-87091-33-3.
- Ferraretto, L.F., Fonseca, A.C., Sniffen, C.J., Formigoni, A.N.D.R.E.A., Shaver, R. D. (2015). Effect of corn silage hybrids differing in starch and neutral detergent fiber digestibility on lactation performance and total-tract nutrient digestibility by dairy cows. *Journal of dairy science*, 98(1), 395-405.
- Ferraretto, L.F., Shaver, R.D., Luck, B.D. (2018). Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of dairy science*, 2018, 101.5: 3937-3951.
- Ferreira, M., Delagarde, R., Edouard, N. (2024). Effects of replacing corn silage and soybean meal with an increasing percentage of fresh herbage on dairy cow nitrogen use efficiency and flows. *Animal Science Journal*, 95(1), e13965.
- García-Chávez, I., Meraz-Romero, E., Castelán-Ortega, O., Zaragoza-Esparza, O., Osorio Avalos, J., Robles Jiménez, L. E., González-Ronquillo, M. (2022). Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(3), e2547. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2547
- Grant, R.J., Cotanch, K.W. (2023). Perspective and Commentary: Chewing behavior of dairy cows: Practical perspectives on forage fiber and the management environment. *Applied Animal Science*, 39(3), 146-155.
- Hanušovský, O., Bíro, D., Šimko, M. (2017). Kontinuálne sledovanie parametrov bacherového prostredia využitím prenosu dát nízkofrekvenčným signálom. 1. vyd. Nitra: SPU. 2017. 71 s. ISBN 978-80-552-1746-8.
- Haselmann, A., Zehetgruber, K., Fuerst-Waltl, B., Zollitsch, W., Knaus, W., Zebeli, Q. (2019). Feeding forages with reduced particle size in a total mixed ration improves feed intake, total-tract digestibility, and performance of organic dairy cows. *Journal of dairy science*, 102(10), 8839-8849.
- Heinrichs, J., Jones, C.M. (2022). Penn State Particle Separator. [online]. Dostupné na: <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator#section-13>
- Heuzé, V., Tran, G., Edouard, N., Lebas, F. (2017). . Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. [online]. Dostupné na: <https://www.feedipedia.org/node/13883>
- Jančík, F., Kubelková, P., Loučka, R., Jambor, V., Kumprechtová, D., Homolka, P., Koukolová, V., Tyrolová, Y., Výborná, A. (2022). Shredlage Processing Affects the Digestibility of Maize Silage. *Agronomy* 2022, 12, 1164. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051164>.
- Khan, N., Shah, T.A., Akhtar, H.M.S. et al. (2024). Influence of maize genotypes and harvest stages on in-silo fermentation quality and nutritional value of corn silage during hot summer condition of the tropics. *BMC Plant Biology*, 24(1), 490. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05179-1>.
- Kmicikewycz, A.D., Harvatine, K.J., Heinrichs, A.J. (2015). Effects of corn silage particle size, supplemental hay, and forage-to-concentrate ratio on rumen pH, feed preference, and milk fat profile of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 98(7), 4850-4868.

Liu, Y., Wang, G., Wu, H., Meng, Q., Khan, M.Z., Zhou, Z. (2021). Effect of Hybrid Type on Fermentation and Nutritional Parameters of Whole Plant Corn Silage. *Animals* 2021, 11, 1587. <https://doi.org/10.3390/ani11061587>

Mitrik, T. (2018). Silážovanie. FEED LAB. 3. vyd. 287 s. ISBN 978-80-969658-2-3.

Pazdera, J., Beranová, L., Bíro, D. et al. (2024). Kukuřice. 1. vyd. KWS Osiva: Velké Meziříčí, 224 s. ISBN 978-80-11-05914-9.

SGS Feed/Forages Calculations. (2017). [online]. Dostupné na: <<https://pdf4pro.com/amp/view/feed-forages-calculations-sgs-47f01.html>>

Výnos číslo 39/1/2002-100. Príloha č. 8. Výživná hodnota krmív pre prežúvavce. s. 82.

Wisconsin (2025). Quality and Feeding. Feeding silage. [online]. Dostupné na: <https://corn.agronomy.wisc.edu/Silage/S006.aspx>

Zebeli, Q., M. Tafaj, I. Weber, J. Dijkstra, H. Steingass, Dro-Chner, W. (2007). Effects of varying dietary forage particle size in two concentrate levels on chewing activity, ruminal mat characteristics, and passage in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:1929–1942. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-354>.

Kontaktné adresy autorov:

Miroslav Juráček, Daniel Bíro, Milan Šimko, Branislav Gálik, Michal Rolinec, Ondrej Hanušovský, Matúš Džima, Mária Kapusniaková, Samuel Juhás, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Katedra výživy zvierat, Ústav výživy a genetiky, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika

Jan Pazdera, KWS OSIVA s.r.o., Pod Hradbami 2004/5, 594 01 Velké Meziříčí, Česká republika

ÚČINOK VEDĽAJŠÍCH PRODUKTOV Z ALGINITU NA KLÍČENIE SEMIEN LUCERNY SIATEJ (*MEDICAGO SATIVA* L.)

THE EFFECT OF BY-PRODUCTS FROM ALGINITE ON SEED GERMINATION OF ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA* L.)

Peter Kovár, Ľuboš Vozár, Peter Hric

Abstract: The effectiveness of three sediments (Sediment 2, Sediment 4 and Sediment 6) obtained during the production of alginite extracts differing in the used extraction solution on the germination of alfalfa seeds (*Medicago sativa* L.) was evaluated in this paper. The experiment compared seven treatments with different methods of sediment application (on the surface of the substrate and mixed into the substrate). The results showed a statistically significant inhibitory effect of sediments on seed germination, with the lowest germination being shown by variants with surface application of sediments. Application of sediments mixed into the substrate had a less negative effect, but the inhibitory effect was evident in these variants, too.

Keywords: alfalfa, alginite, germination, mean germination time, *Medicago sativa*, rate of germination, sediment from alginite

Úvod

Klíčenie semien predstavuje zásadnú fázu ontogenézy rastlín a významne ovplyvňuje úspešnosť vzhádzania a ďalšieho vývinu porastov. S rastúcim dôrazom na ekologicky udržateľné formy poľnohospodárskej produkcie narastá aj záujem o identifikáciu prírodných látok, ktoré by mohli stimulovať klíčivosť semien a podporiť počiatočný rast rastlín. Viaceré štúdie (Djanaguiraman et al., 2005; Przybysz et al., 2014; Kovár et al., 2015) uvádzajú pozitívny účinok aplikácie prípravkov s vysokým obsahom biologicky aktívnych zlúčenín na rané vývojové štádiá rastlín. Humínové a fulvokyseliny, prípadne ich kombinácie s rastovými regulátormi ako auxíny, preukázali schopnosť zmierniť negatívne vplyvy abiotických stresov počas vegetácie (Štranc et al., 2008; Tužinský et al., 2015). Experimentálne overenia poukazujú na zvýšenie rýchlosti klíčenia a vzhádzania rastlín po aplikácii humínových látok (Szczepek a Wilczewski, 2011). Avšak dávkovanie zohráva zásadnú úlohu, keďže pri vyšších koncentráciách môže dôjsť k inhibičnému efektu na rast rastlín (Ayuso et al., 1996).

Jedným z prírodných zdrojov humínových a ďalších biologicky aktívnych látok je alginit – organogénna usadenina s vysokým obsahom odumretých rias. V poľnohospodárskej praxi sa alginit využíva na zlepšenie štruktúry pôdy, vodného režimu, výživovej bilancie, zvýšenie obsahu humusu a celkového úrodného potenciálu. Okrem toho prispieva ku kvalitatívnym parametrom plodín, ako je obsah sušiny, pevnosť dužiny, dĺžka skladovateľnosti a senzorické vlastnosti ovocia (Vass et al., 1997). Vzhľadom na absenciu fytotoxických účinkov je jeho použitie vhodné aj v ekologických poľnohospodárskych systémoch (Brindza et al., 2021). Okrem aplikácie alginitu v pevnej forme do pôdy alebo postrek suspenziou, je možné ho využiť ako vstupnú surovinu pre výrobu extraktov s obsahom humátov a ďalších látok, pričom pri ich výrobe vzniká sekundárny (vedľajší) produkt – sediment. Jeho využitie môže predstavovať efektívny spôsob, ako maximalizovať hodnotu prírodného zdroja, podporiť udržateľné poľnohospodárstvo a znížiť ekologickú stopu výrobného procesu.

Cieľom tohto príspevku bolo experimentálne overenie účinnosti sedimentu z alginitu – ako zdroja humínových látok – na klíčenie semien lucerny siatej (*Medicago sativa* L.). Lucerna siata (*Medicago sativa* L.) má v rámci výživy hospodárskych zvierat nezastupiteľné miesto

predovšetkým z hľadiska obsahu bielkovín. Takisto tvorí významnú zložku kŕmnych dávok vďaka obsahu sacharidov a minerálnych látok. Lucerna siata sa využíva hlavne na produkciu siláže a sena (Skládanka et al., 2014). Na zelené kŕmenie sa využíva najmä v drobnochovoch (Gálik et al., 2018) a zakvitnutý porast poskytuje značné množstvá nektáru pre včely (Gálik et al., 2011).

Materiál a metódy

Experiment sa realizoval na Ústave rastlinnej produkcie (pracovisko Katedra rastlinnej výroby a trávnych ekosystémov) FAPZ SPU v Nitre. Ako biologický materiál boli použité semená lucerny siatej (*Medicago sativa* L.).

Pre tento experiment bolo vytvorených celkovo 7 variantov, v ktorých sa použili 3 sedimenty (Sediment 2, Sediment 4 a Sediment 6) získané ako vedľajší produkt pri výrobe extraktov z alginitu.

Varianty:

- V1 – kontrola bez sedimentov,
- V2 – Sediment 2 aplikovaný na povrch substrátu,
- V3 – Sediment 4 aplikovaný na povrch substrátu,
- V4 – Sediment 6 aplikovaný na povrch substrátu,
- V5 – Sediment 2 aplikovaný do substrátu,
- V6 – Sediment 4 aplikovaný do substrátu,
- V7 – Sediment 6 aplikovaný do substrátu.

Charakteristika použitého materiálu

Alginit (z Pincinej) – sivá až sivo-čierna organicko-minerálna vrstevnatá hornina, ktorá vznikala približne pred šiestimi miliónmi rokov z fosílnych rias v priestore dnešnej Panónskej panvy (Kulich et al., 2001). Je to prírodný produkt z kategórie horľavých bridlíc s vynikajúcimi sorpčnými vlastnosťami, s pomerne vysokým zastúpením biogénnych, ale aj stopových prvkov a nízkou koncentráciou ťažkých kovov. Obsahuje pomerne málo humifikovanej organickej hmoty i napriek relatívne značnému množstvu organického uhlíka (OC = 5,5 %). Vo frakčnom zložení prevládajú fulvokyseliny nad humínovými kyselinami (Vass et al., 1997; Litavec a Barančíková, 2013).

Sedimenty po extrakcii pri výrobe extraktov z alginitu – jednotlivé sedimenty sa získali ako vedľajší produkt pri výrobe tekutých extraktov pripravených z drveného alginitu v laboratóriu na Ústave rastlinnej produkcie (pracovisko Katedra rastlinnej výroby a trávnych ekosystémov) FAPZ SPU v Nitre použitím extrakčných roztokov obsahujúcich zmes dekahydrátu pyrofosforečnanu sodného a hydroxidu sodného (roztok 2), hydrogénfosforečnanu draselného a hydroxidu draselného (roztok 4) a dekahydrátu pyrofosforečnanu sodného, hydrogénfosforečnanu draselného a hydroxidu draselného (roztok 6). Drvený alginit sa zalial extrakčnými roztokmi a za definovaných podmienok prebiehala extrakcia. Po extrakcii sa tekutý extrakt zliat a pevný sediment sa po vysušení rozdrobil, preosial cez sito s veľkosťou ôk 1 mm a podľa stanovených variantov sa aplikoval do jednotlivých misiek.

Založenie a realizácia experimentu

V kontrolnom variante V1 boli semená lucerny siatej (po 100 ks semien v 2 opakovaníach) uložené na čistý kremičitý piesok (100 ml na 1 misku s veľkosťou 120 x 120 mm). Vo variantoch V2 – V7 boli jednorazovo aplikované sedimenty z alginitu v dávke 5 ml na 1 misku (t.j. 5 % obj.), pričom vo variantoch V2 – V4 boli semená lucerny siatej po uložení na piesok zasypané 5 ml sedimentov podľa stanovených variantov a vo variantoch V5 – V7 boli jednotlivé sedimenty zamiešané do piesku a na takto pripravený substrát sa následne uložili semená lucerny siatej. Po uložení semien sa piesok zvlhčil 10 ml vody. Petriho misky so semenami boli

umiestnené do rastovej komory (Climacell 404) a inkubované pri teplote 23 °C (deň) / 15 °C (noc) s fotoperiódou 12 hod. svetlo / 12 hod. tma a relatívnou vlhkosťou vzduchu $rh = 70 \%$. V priebehu trvania experimentu sa substrát pravidelne zavlažoval vodou podľa potreby každého variantu. Počet vyklíčených semien bol zisťovaný v 1., 3., 4., 9., 11. a 15. deň trvania experimentu.

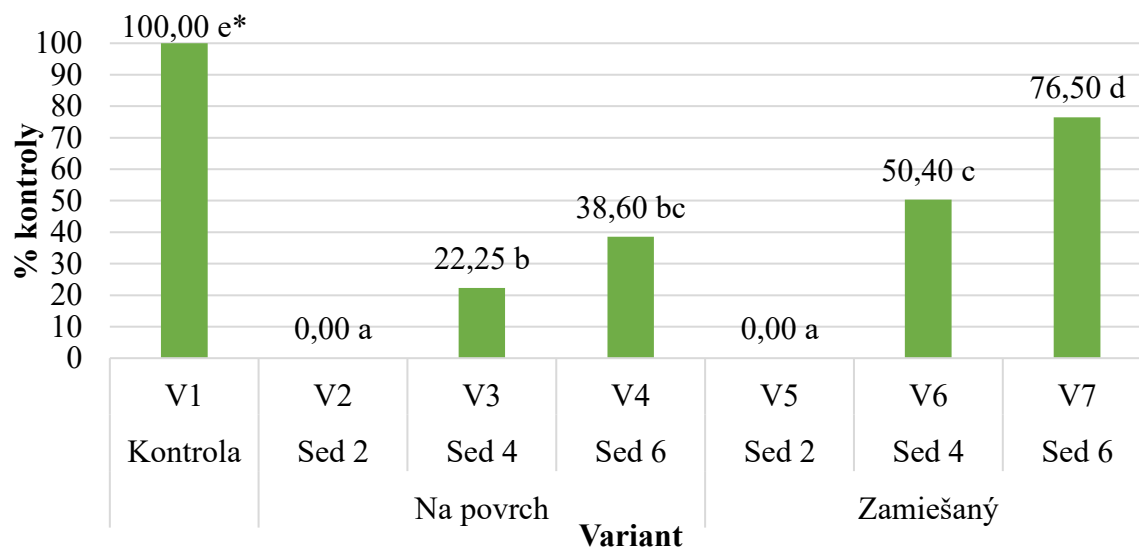
Hodnotili sa nasledovné parametre:

- Celková klíčivosť vyjadrená ako % kontroly;
- Rýchlosť klíčenia semien podľa vzťahu $S = (N_n - N_{n-1}) / (t_n - t_{n-1})$, kde S je rýchlosť klíčenia [počet semien.deň⁻¹], N je počet vyklíčených semien pri n-tom a n-1 hodnotení, $t_n - t_{n-1}$ je počet dní medzi n-tým a n-1 hodnotením;
- Stredná doba klíčenia (MGT) podľa vzťahu $MGT = \sum(D \cdot n) / \sum n$, kde D je počet dní od začiatku experimentu a n je počet semien vyklíčených v deň D (Ellis a Roberts, 1980).

Hodnoty celkovej klíčivosti, rýchlosti klíčenia a strednej doby klíčenia semien lucerny siatej sa vyhodnotili v programe Statistica (Statsoft Inc. (2010). Statistica Cz, verzia 10.0) jednofaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA) s následným testovaním preukaznosti rozdielov Fischerovým LSD testom pri 95% hladine pravdepodobnosti ($\alpha = 0,05$). Grafické spracovanie výsledkov bolo pomocou programu MS Excel.

Výsledky a diskusia

Pri hodnotení klíčivosti semien nemusí mať najväčší vplyv na klíčivosť kvalita osiva. Kvalita použitých zlepšujúcich materiálov a podmienky prostredia niekedy môžu mať rozhodujúci vplyv pri vzhádzaní porastu. Klíčenie semien a vzhádzanie rastlín predstavuje dôležitý ukazovateľ hustoty porastu, ktorá je spojená aj s výškou produkcie (Hakl et al., 2011; Hakl, 2012).



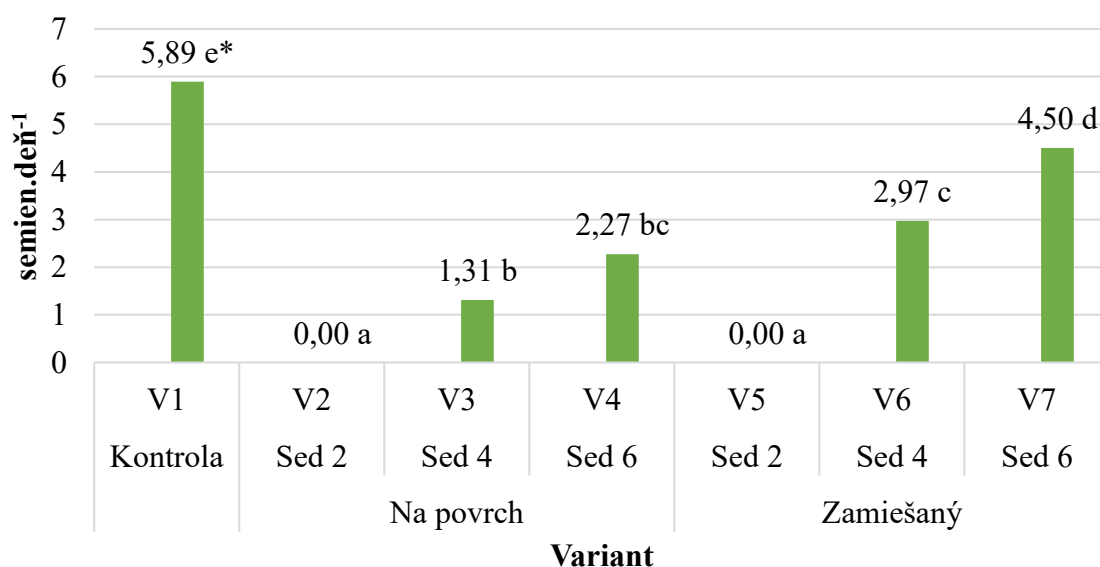
Obr. 1. Celková klíčivosť semien lucerny siatej vyjadrená ako % kontroly

*Rozdielne písmená pri priemernej hodnote znamenajú štatisticky preukazný rozdiel (Fischerov LSD test; $\alpha = 0,05$)

Zhodnotenie účinku použitých sedimentov na celkovú klíčivosť semien lucerny siatej dokumentuje Obr. 1. Ukázalo sa, že všetky sedimenty mali preukazne inhibičný vplyv ($p = 0,000038$) na celkovú klíčivosť lucerny siatej. Najvyššia celková klíčivosť bola zaznamenaná v kontrolnom variante V1 (bez aplikácie sedimentov). Naopak najnižšia celková klíčivosť, predstavujúca iba 22,25 % kontroly, sa zaznamenala vo V3 s povrchovou aplikáciou

sedimentu 4. Z prezentovaných výsledkov ďalej vidieť odčlenenie variantov V2 (sediment 2 na povrchu substrátu) a V5 (sediment 2 zamiešaný do substrátu), kde sa počas trvania experimentu neprejavili žiadne známky klíčenia (úplná inhibícia klíčenia semien). Celkovo však sedimenty z alginitu pôsobili v porovnaní s kontrolou inhibične bez ohľadu na ich aplikáciu (t.j. na povrch substrátu, resp. zamiešanie do substrátu). Menšia miera inhibície klíčenia sa prejavila pri aplikácii sedimentov zamiešaných do substrátu (V6 a V7) v porovnaní s ich aplikáciou na povrch substrátu (V3 a V4). Inhibičný efekt môže byť pripisovaný toxickým alebo osmotickým stresom indukovaným vyšším obsahom sedimentu. To potvrdzujú aj výsledky niektorých experimentov (Soad, 2015; Hidangmayum a Sharma, 2017), kde nižšie koncentrácie použitých humátových prípravkov stimulovali klíčenie semien.

Účinok sedimentov z alginitu bol posudzovaný aj z hľadiska vplyvu na rýchlosť klíčenia semien lucerny siatej. Aj v tomto sledovanom znaku sa zaznamenali štatisticky preukazné rozdiely ($p = 0,000031$) medzi jednotlivými variantmi (Obr. 2), avšak bez signifikantných rozdielov medzi opakovaniami. Odhliadnuc od úplne inhibovaných variantov V2 a V5 najnižšia rýchlosť klíčenia semien lucerny siatej bez ohľadu na použité sedimenty bola zaznamenaná vo variante V3 ($1,31 \text{ semien.deň}^{-1}$). Ak porovnáme rýchlosť klíčenia semien v závislosti od spôsobu aplikácie sedimentov, tak môžeme konštatovať nižšiu rýchlosť klíčenia práve vo variantoch s povrchovou aplikáciou sedimentov (V3 a V4) v porovnaní s variantmi, kde boli sedimenty zamiešané do substrátu (V6 a V7). Z praktického hľadiska môže zvýšenie rýchlosti klíčenia zlepšiť uplatnenie pomalšie sa vyvíjajúcich druhov v poraste, najmä pri spoločnom výseve s rýchlo sa vyvíjajúcimi a konkurenčne silnými druhmi (Svobodová a Šantrůček, 2003).

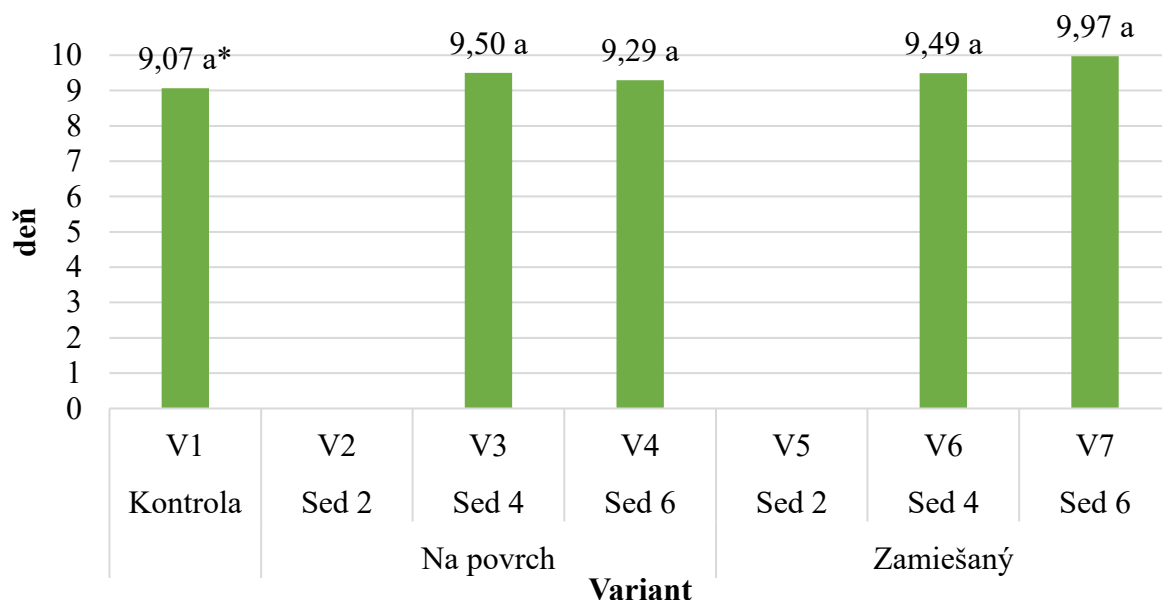


Obr. 2. Rýchlosť klíčenia semien lucerny siatej (semien.deň⁻¹)

*Rozdielne písmená pri priemernej hodnote znamenajú štatisticky preukazný rozdiel (Fischerov LSD test; $\alpha = 0,05$)

Stredná doba klíčenia (MGT) vyjadruje deň, kedy sa teoreticky dosiahne 50 % vyklíčených semien. Z prezentovaných hodnôt (Obr. 3) rezultuje relatívne vyrovnaná stredná doba klíčenia ($9,07 - 9,97 \text{ dňa}$) so štatisticky nepreukaznými rozdielmi ($p = 0,390414$) medzi jednotlivými variantmi a aj opakovaniami. Aj pri tomto hodnotenom ukazovateli možno konštatovať negatívny účinok použitých sedimentov (bez ohľadu na spôsob aplikácie). Najkratšou strednou dobou klíčenia sa vyznačoval kontrolný variant V1 ($9,07 \text{ dňa}$). Naopak, najdlhšia stredná doba klíčenia semien lucerny siatej sa zaznamenala pôsobením sedimentu 6 aplikovaným do substrátu (V7 – $9,97 \text{ dňa}$). Pre varianty V2 a V5 sa hodnota tohto ukazovateľa nedala vypočítať

vzhľadom na úplnú inhibíciu klíčenia semien v uvedených variantoch. Rýchle vzhádzanie prispieva k lepšiemu zakoreneniu rastlín a maximalizuje rastové obdobie. Rastliny vzídené s oneskorením sú zvyčajne menej konkurencieschopné k rastlinám skôr vzídeným. Pri pomalom a nevyrovnanom vzhádzaní tak narastá variabilita produktivity jednotlivých rastlín v poraste. Navyše porasty s vyrovnaným vzhádzaním možno efektívnejšie ošetrovať počas vegetácie a tieto porasty sú predpokladom vyrovnanejšej akosti pozberanej produkcie (Houba a Hosnedl, 2002).



Obr. 3. Stredná doba klíčenia semien lucerny sietej (deň)

*Rovnaké písmená pri priemernej hodnote znamenajú štatisticky nepreukazný rozdiel (Fischerov LSD test; $\alpha = 0,05$)

Záver

Sedimenty z alginitu, získané ako vedľajší produkt pri výrobe extraktov z alginitu, mali výrazne inhibičný vplyv na klíčivosť semien lucerny sietej, a to bez ohľadu na spôsob ich aplikácie. Najvyššia klíčivosť aj rýchlosť klíčenia bola dosiahnutá v kontrolnom variante bez aplikácie sedimentov, zatiaľ čo sedimenty, najmä aplikované na povrch substrátu, spôsobovali výrazné zníženie týchto parametrov. Pri aplikácii sedimentu 2 (na povrch a aj do substrátu) došlo až k úplnej inhibícii klíčenia. Aplikácia sedimentu 4 a sedimentu 6 do substrátu mala miernejší negatívny účinok v porovnaní s ich povrchovou aplikáciou. Hoci stredná doba klíčenia (MGT) nevykazovala štatisticky významné rozdiely medzi variantmi, aj tento parameter naznačil mierne spomalenie klíčenia po aplikácii sedimentov. Tieto zistenia poukazujú na potenciálne riziká použitia alginitových sedimentov v agronomickej praxi, najmä v počiatočných fázach rastu rastlín. Pri ich aplikácii je potrebné zohľadniť nielen ich chemické zloženie, ale aj spôsob a množstvo použitia, aby sa predišlo negatívnemu ovplyvneniu vzhádzania porastu a tým aj následnej úrody.

PodĎakovanie

Touto cestou vyslovujeme poďakovanie Ing. Dominikovi Nahálkovi za pomoc pri realizácii experimentu.

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia zmluvného výskumu organického minerálu alginitu s finančnou podporou a súhlasom spoločnosti GEOCOMPLEX, a.s.

Literatúra

- AYUSO, M. – HERNANDEZ, T. – GARCIA, C. – PASCUAL, J. 1996. Stimulation of barley growth and nutrient absorption by humic substances originating from various organic materials. *Biores. Technol.* 57, 251–257.
- BRINDZA, J. – VOZÁR, Ľ. – MIKO, M. – GAŽO, J. – KOVÁR, P. – HORČINOVÁ SEDLÁČKOVÁ, V. – GRYGORIEVA, O. V. 2021. Unique effects of alginite as a bituminous rock on soil, water, plants and animal organisms. In *Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality.* 5, 1 (2021), s. 169–184.
- DJANAGUIRAMAN, M. – DEVI, D.D. – SHANKER, A.K. – SHEEBA, A. – BANGARUSAMY, U. 2005. Selenium - an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant Soil.* 272: 77–86.
- ELLIS, R. H. – ROBERTS, E. H. 1980. Towards a rational basis for testing seed quality. In Hebblethwaite PD, ed., *Seed Production.* Butterworths, London, pp 605–635.
- GÁLIK, B. – BÍRO, D. – ŠIMKO, M. – JURÁČEK, M. – HORNIÁKOVÁ, E. – ROLINEC, M. 2011. Nutričná charakteristika krmív. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2011. 101 s.
- GÁLIK, B. – BÍRO, D. – ŠIMKO, M. – JURÁČEK, M. – ROLINEC, M. – HANUŠOVSKÝ, O. 2018. Krmivá vo výžive prežúvavcov a neprežúvavcov. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2018. 125 s.
- HAKL J. – FUKSA P. – ŠANTRŮČEK J. – MÁŠKOVÁ K. 2011. The development of lucerne root morphology traits under high initial stand density within a seven year period. In *Plant, Soil and Environment*, vol 57, no 1, pp 81–87. [cit 2025-05-23]. Dostupné na: <<https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/pse/2011/02/07.pdf>>.
- HAKL, J. – MÁŠKOVÁ K. – ŠANTRŮČEK J. – FÉR M. 2012. Seed emergence of lucerne varieties under different soil conditions. In *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, vol 48, no 2, pp 93–97. [cit. 2025-05-23]. Dostupné na: <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/cjg/2012/02/05.pdf>.
- HIDANGMAYUM A. – SHARMA R. 2017. Effect of different concentrations of commercial seaweed liquid extract of *Ascophyllum nodosum* as a plant bio stimulant on growth, yield and biochemical constituents of onion (*Allium cepa* L.). In *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*; 6(4): 658–663.
- HOUBA, M. – HOSNEDL, V. 2002. Osivo a sadba. Praha : Profi Press, 2002, 186 s.
- KOVÁR, P. – VOZÁR, Ľ. – JANČOVIČ, J. – HRIC, P. 2015. Využitie podporných prípravkov pre zlepšenie klíčenia zrn vybraných druhov krmných tráv. In *Osivo a sadba.* Praha: Česká zemědělská univerzita, 2015, s. 175 – 180. ISBN 978-80-213-2544-9
- KULICH, J. – VALKO, J. – OBERNAUER, D. 2001. Perspective of exploitation of alginite in plant nutrition. In *Journal of Central European Agriculture*, vol. 2, no. 3–4, pp. 199–206.
- LITAVEC, T. – BARANČÍKOVÁ, G. 2013. Základná charakteristika alginitu. In *Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy č. 35.*, pp 97 – 106.
- PRZYBYSZ, A. – GAWROŃSKA, H. – GAJC-WOLSKA, J. 2014. Biological mode of action of a nitrophenolates based biostimulants: case study. In *Front. Plant. Sci.*, 2014, vol. 5, n. 713, ISSN 1664-462X
- SKLÁDANKA, J. – CAGAŠ, B. – DOLEŽAL, P. – HAVLÍČEK, Z. – HEJDUK, S. – HORKÝ, P. – JANČOVIČ, J. – KLUSOŇOVÁ, I. – KNOT, P. – KOVÁR, P. – MEJÍA, J. E. A. – MIKYSKA, F. – NAWRATH, A. – POKORNÝ, R. – SLÁMA, P. – SZWEDZIAK, K. – TUKIENDORF, M. – ŠEDA, J. – VOZÁR, Ľ. – VYSKOČIL, I. – ZEMAN, L. 2014. Pícninářství. 1. vyd. Brno : Mendelova univerzita, 2014. 367 s.
- SOAD, M. M. 2015. Utilization of seaweed extracts as bio-fertilizers to stimulate the growth of wheat seedlings. In *Egyptian Journal of Experimental Biology*, 11(1): 31 – 39.
- Statistica program/documentation: StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10. www.statsoft.com.
- SVOBODOVÁ, M. – ŠANTRŮČEK, J. 2003. Vztah jílku vytrvalého a lipnice luční při zakládání trávníků. In *Trávníky 2003.* Lednice na Morave, s. 34, ISBN 80-7157-671-9
- SZCZEPANEK, M. – WILCZEWSKI, E. 2011. Effect of humic substances on germination of wheat and barley under laboratory conditions. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, 10(1), 79–86,
- ŠTRANC, P. – ŠTRANC, J. – ŠTRANC, D. – POKORNÝ, J. – KOHOUT, L. 2008. Výsledky pokusů s vybranými stimulanty v chmelařství, *Moderní trendy v zemědělství, Agromanuál*, 4, č. 6, s. 50– 53.
- TUŽINSKÝ, M. – KUPKA, I. – PODRÁZSKÝ, V. – PRKNOVÁ, H. 2015. Influence of the mineral rock alginite on survival rate and re-growth of selected tree species on agricultural land. In *Journal of Forest Science*, 61, 2015(9): 399 – 405
- VASS, D. – KONEČNÝ, V. – ELEČKO, M. – MILIČKA, J. – SNOPOKOVÁ, P. – ŠUCHA, V. – KOZAČ, J. – ŠKRABAN, R. 1997. Alginit – nový zdroj slovenského nerudného surovinového potenciálu (ložisko Pinciná). In *Mineralia Slovaca*, vol. 29, no. 1, pp. 1–39.

Kontaktné adresy autorov:

Ing. Peter Kovár, PhD.; doc. Ing. Ľuboš Vozár, PhD.; Ing. Peter Hric, PhD.; Ústav rastlinnej produkcie, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, SPU v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra; peter.kovar@uniag.sk; lubos.vozar@uniag.sk; peter.hric@uniag.sk

VPLYV RAKYTNÍKA REŠETLIAKOVÉHO NA MINERÁLNY PROFIL DIABETICKÝCH ZDF POTKANOV

THE EFFECT OF SEA BUCKTHORN (*HIPPOPHAE RHAMNOIDES*) ON THE MINERAL PROFILE OF DIABETIC ZDF RATS

Patricia Simkova, Viktoria Hlavacikova, Anna Kalafova, Monika Schneidgenova, Anton Kovacik, Marcela Capcarová

Abstract: *Diabetes mellitus* (DM) is a chronic metabolic disorder frequently associated with disturbances in mineral and electrolyte balance. Although often subclinical, these imbalances can affect insulin sensitivity, the progression of diabetic nephropathy, and the development of acute complications. In this study, we investigated the effect of dried sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) on the serum mineral profile of spontaneously diabetic rats. The most notable changes were observed in the concentrations of chloride, calcium, and phosphorus, suggesting that the bioactive compounds in sea buckthorn may influence mineral metabolism in diabetic individuals. Accurate interpretation of these changes is essential for understanding the mechanisms behind DM complications and opens new avenues for research into nutritional interventions in *diabetes* management.

Keywords: *Diabetes Mellitus*, Potassium, Chlorides, Iron, Calcium, Magnesium, Phosphorus

Úvod

Poruchy elektrolytovej rovnováhy predstavujú klinický problém, ktorý sa najčastejšie vyskytuje u hospitalizovaných pacientov naprieč širokým spektrom zdravotných stavov – od asymptomatických jedincov až po kriticky chorých. Tieto poruchy sú asociované so zvýšenou morbiditou a mortalitou (Liamis et al., 2009). Avšak elektrolytové dysbalancie sú pozorované aj v bežnej populácii. Ich výskyt, aj keď ide o mierne a chronické formy, je spojený s nepriaznivou prognózou (Liamis et al., 2013). Poruchy elektrolytov majú zvyčajne multifaktoriálny charakter. Medzi kľúčové patofyziologické mechanizmy patrí výživový stav pacienta, schopnosť gastrointestinálnej absorpcie, prítomnosť porúch acidobázickej rovnováhy, užívanie liekov, komorbidita (najmä ochorenia obličiek) alebo akútne ochorenia – často pôsobiace v kombinácii. *Diabetes mellitus* (DM) patrí medzi ochorenia s vysokou prevalenciou elektrolytových abnormalít, čo súvisí s častým výskytom vyššie uvedených rizikových faktorov, ako je zhoršená renálna funkcia, poruchy vstrebávania, acidobázické poruchy či polymedikácia (Elisaf et al., 1996).

Táto práca sa zameriava na komplexné zhodnotenie minerálneho profilu potkanov s *diabetes mellitus*, so špeciálnym dôrazom na hlavné prvky – draslík, chloridy, železo, fosfor, vápnik a horčík – a ich patofyziologické súvislosti a klinické dôsledky.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Minerály a elektrolyty, ako fosfor, vápnik, železo, meď, zinok, selén, kobalt, horčík, sodík, draslík, chloridy a mangán, majú kľúčovú úlohu pri podpore fyziologických procesov v organizme. Ich koncentrácie v intracelulárnych a extracelulárnych tekutinách sú striktné regulované na zabezpečenie homeostázy. Nerovnováha týchto minerálnych látok môže viesť k patologickým stavom.

Draslík (K) je hlavný intracelulárny kation, ktorý reguluje bunkové funkcie, osmolalitu, rovnováhu tekutín a acidobázickú homeostázu. Tieto funkcie sú nevyhnutné pre správnu funkciu buniek, nervových impulzov a reguláciu krvného tlaku. Draslík sa vylučuje obličkami

a jeho hladiny sú úzko spojené s rizikom kardiovaskulárnych problémov, najmä u pacientov s chronickými ochoreniami (McLean et al., 2021). U diabetikov sa môže vyvinúť hypokalémia alebo hyperkalémia, čo zvyšuje riziko komplikácií (Liamis et al., 2014).

Vápnik (Ca) je esenciálny pre štruktúru kostí a mnohé fyziologické procesy, vrátane svalovej kontrakcie a prenosu nervových signálov. Jeho hladiny sú regulované hormónmi, ako parathormónom a vitamínom D (Baird, 2011). Deficit vápnika vedie k svalovým kŕčom, arytmiám a osteoporóze. U pacientov s *diabetes mellitus* môže dôjsť k poruche regulácie vápnika a draslíka, čo zvyšuje riziko kardiovaskulárnych problémov (Zemel, 1998). Vápnik sa získava prevažne zo stravy, najmä z mliečnych produktov (Beňačka et al., 2021).

Chloridy (Cl) majú kľúčovú úlohu v rovnováhe tekutín, trávení a acidobázickej rovnováhe. Podporujú imunologické mechanizmy a metabolické procesy (Raut et al., 2024). Nerovnováha chloridov, napríklad hyperchlorémia alebo hypochlorémia, je často spojená s poruchami hladín sodíka (Kalikkot et al., 2021). U diabetikov môže dôjsť k narušeniu elektrolytovej rovnováhy, čo ovplyvňuje funkciu obličiek a metabolizmus (Liamis et al., 2014).

Horčík (Mg) je nevyhnutný pre viac ako 300 enzýmov a hrá dôležitú úlohu v metabolizme sacharidov a glukózy. Je kľúčový pre reguláciu krvného tlaku, nervových impulzov a svalovej excitability (Gröber et al., 2015). Hypomagnezémia, ktorá môže byť spôsobená chronickými ochoreniami alebo diuretikami, zvyšuje riziko kardiovaskulárnych problémov a zhoršuje glukózovú toleranciu, čo sú rizikové faktory pre *diabetes mellitus* (Pham et al., 2007). Zvýšený príjem horčíka znižuje riziko vzniku 2. typu DM (Dong et al., 2011).

Fosfor (P) je druhý najhojnejší minerál v tele a zohráva kľúčovú úlohu pri mineralizácii kostí a energetickom metabolizme (Marques et al., 2022). Jeho homeostáza je regulovaná parathormónom a vitamínom D. Hypofosfatémia môže viesť k svalovej slabosti a kardiálnym problémom. U pacientov s *diabetes mellitus* dochádza k zvýšenému riziku hypofosfatémie v dôsledku viacerých faktorov, vrátane hyperparatyreoidizmu a užívania diuretík (Moe, 2008).

Železo (Fe) je dôležité pre transport kyslíka a energetický metabolizmus. Jeho koncentrácia je striktne regulovaná, pretože nadbytok môže byť toxický, zatiaľ čo nedostatok spôsobuje anémiu (Wilhelm, 2007). Zaujímavý je vzťah medzi nadbytkom železa a rozvojom inzulinovej rezistencie, ktorá je kľúčová pre vznik *diabetes mellitus* typu 2. Experimentálne zníženie hladín železa zlepšilo inzulinovú citlivosť, čo naznačuje, že sledovanie hladín železa môže zlepšiť prognózu pacientov s *diabetes mellitus* 2. typu Miao et al., 2023).

Tento prehľad zdôrazňuje dôležitosť monitorovania minerálov a elektrolytov, najmä v kontexte *diabetes mellitus*, kde dochádza k narušeniu ich rovnováhy, čo zvyšuje riziko kardiovaskulárnych a metabolických komplikácií.

Materiál a metódy

Experimentálne zvieratá a podmienky chovu

Do 12-týždňovej *in vivo* štúdie bolo zaradených 32 laboratórnych samcov potkanov kmeňa Zucker diabetické obezité (ZDF) potkany, pričom 26 zvierat reprezentovalo diabetický fenotyp (homozygotný recesívny genotyp *fa/fa*) a 6 jedincov bolo geneticky nediabetických (homozygotný genotyp *Fa/Fa*), označovaných ako lean. Títo jedinci slúžili ako fyziologická referenčná kontrola. Všetky zvieratá boli vo veku 2,5 mesiaca v čase zaradenia do experimentu. Zvieratá boli ustajnené v štandardizovaných plastových klietkach s odnímateľným nerezovým vekom s mrežovanou konštrukciou. Každá klietka obsahovala dvojicu jedincov. Experimentálna miestnosť bola klimatizovaná s riadenými environmentálnymi podmienkami: striedanie svetelnej a tmavej fázy v režime 12:12 hodín, priemerná teplota 23 ± 1 °C a relatívna vlhkosť 55 ± 10 %.

Všetky experimentálne protokoly boli schválené Etickou komisiou a Štátnou veterinárnou a potravinovou správou Slovenskej republiky (č. Ro-2674-3/2021-220), v súlade s platnými

legislatívnymi normami na ochranu zvierat používaných na vedecké účely (napr. Smernica 2010/63/EÚ).

Experimentálny dizajn a podávanie látok

Zvieratá boli rozdelené do štyroch experimentálnych skupín nasledovne:

- **Lean** (n = 6): nediabetická kontrolná skupina s denným perorálnym podávaním vody pomocou gastrickej sondy.
- **KS** (n = 10): diabetická kontrolná skupina s identickou aplikáciou vody ako lean skupina.
- **R1** (n = 8): diabetická skupina s dennou dávkou sušených bobúľ rakytníka (*Hippophae rhamnoides* L.) 250 mg·kg⁻¹ telesnej hmotnosti.
- **R2** (n = 8): diabetická skupina s dennou dávkou rakytníka 500 mg·kg⁻¹.

Aplikovaná látka bola pripravená 24-hodinovou maceráciou sušených plodov rakytníka vo vode, po ktorej nasledovalo pasírovanie cez jemné sito za účelom získania homogénnej polotekutej suspenzie. Pripravená zmes bola zvieratám aplikovaná orogastricky raz denne vrátane víkendov. Rovnakým spôsobom bola kontrolným skupinám podávaná čerstvo pripravená voda.

Odber biologického materiálu a biochemická analýza

Po ukončení 12-týždňovej intervenčnej fázy boli zvieratá anestetizované intraperitoneálnou aplikáciou chloralhydrátu v dávke 40 mg·100 g⁻¹ telesnej hmotnosti, čo zabezpečilo hlbokú anestéziu. Krvné vzorky boli následne odobraté punkciou ľavej komory srdca. Krv sa spracovávala bez prídavku antikoagulačného činidla a bola centrifugovaná pri 3 000 ot./min počas 30 minút. Získané sérum sa použilo na stanovenie koncentrácií vybraných prvkov minerálneho profilu: draslíka (K⁺), chloridov (Cl⁻), vápnika (Ca²⁺), horčíka (Mg²⁺), fosforu (P) a železa (Fe).

Stanovenia boli realizované pomocou komerčne dostupných analytických kitov (Randox Laboratories Ltd., Crumlin, UK) s využitím biochemického analyzátora RX Monza, podľa protokolov výrobcu.

Štatistická analýza

Štatistické vyhodnotenie získaných údajov bolo realizované prostredníctvom softvéru SigmaPlot (Systat Software Inc.). Na porovnanie rozdielov medzi skupinami bola použitá jednofaktorová analýza variancie (One-way ANOVA). Výsledky sú prezentované ako aritmetický priemer ± štandardná chyba priemeru (SEM). Za štatisticky významné boli považované rozdiely pri hladine významnosti P < 0,05.

Výsledky a diskusia

Rakytník rešetliakový, známy svojimi silnými antioxidačnými a protizápalovými vlastnosťami, sa ukázal ako potenciálny prostriedok na ovplyvnenie minerálneho profilu organizmu, čo môže byť dôležité najmä pri liečbe diabetických stavov. Z nášho experimentu vyplýva, že podávanie rakytníka rešetliakového ovplyvnilo koncentrácie vybraných minerálov v krvi ZDF potkanov, konkrétne chloridov, vápnika, fosforu, draslíka, horčíka a železa ako je uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1. Štatistická významnosť rozdielov medzi skupinami ZDF potkanov

P < 0,05: Štatisticky významný rozdiel medzi skupinami; R2 < KS, lean: Skupina R2 vykazuje nižšie hodnoty v porovnaní s kontrolnou a lean skupinou; R1 > R2: Skupina R1 vykazuje vyššie hodnoty v porovnaní s R2 skupinou; R2 > KS, lean: Skupina R2 vykazuje vyššie hodnoty v porovnaní s kontrolnou a lean skupinou; R1, R2 > lean, KS: Skupiny R1 a R2 vykazujú vyššie hodnoty v porovnaní so skupinami lean a KS; R1 > lean: Skupina R1 vykazuje signifikantne vyššie, Nepreukazuje rozdiely (P > 0,05): Nezistili sa štatisticky významné rozdiely medzi skupinami.

V našej štúdii sme zaznamenali významné zníženie koncentrácie chloridov v krvi potkanov v skupine R2 v porovnaní s lean a kontrolnou skupinou (P < 0,05), čo naznačuje, že vyššie dávky

Minerál	Hodnoty Mean ± SEM (mmol.l ⁻¹)				Štatistická významnosť
	Lean	KS	R1	R2	
Draslík	6,977 ± 0,454	6,457 ± 0,197	6,669 ± 0,252	5,930 ± 0,189	Nepreukazuje rozdiely (P > 0,05)
Chloridy	102,817 ± 1,332	100,540 ± 1,263	99,475 ± 1,670	85,900 ± 3,412	R2 < KS, lean; R1 > R2 (P < 0,05)
Vápnik	2,593 ± 0,0600	2,714 ± 0,0367	2,809 ± 0,0465	2,952 ± 0,0836	R2 > KS, lean (P < 0,05)
Horčík	1,162 ± 0,0548	1,150 ± 0,0593	1,240 ± 0,0449	1,294 ± 0,0578	Nepreukazuje rozdiely (P > 0,05)
Fosfor	2,518 ± 0,127	2,633 ± 0,129	3,151 ± 0,178	3,349 ± 0,157	R1, R2 > lean, KS (P < 0,05)
Železo	28,078 ± 2,320	33,336 ± 3,235	41,305 ± 1,932	42,954 ± 1,642	R2 > KS, lean; R1 > lean (P < 0,05)

rakytníka môžu ovplyvniť metabolizmus elektrolytov. Na druhej strane, koncentrácia chloridov v skupine R1 bola štatisticky významne vyššia ako v skupine R2 (P < 0,05). Tento efekt môže súvisieť s antioxidantnými účinkami rakytníka, ktoré prispievajú k lepšiemu hospodáreniu s elektrolytmi a redukcii oxidačného stresu, ktorý je častým sprievodným javom pri *diabetes mellitus*. Zatiaľ čo mierna dávka rakytníka (R1) pravdepodobne podporuje fyziologické mechanizmy regulácie elektrolytov bez ich výrazného narušenia, vyššia dávka (R2) môže prekročiť optimálnu hranicu účinku a vyvolať mierne nežiaduce zmeny, napríklad nadmerné zníženie chloridov, čo by mohlo pri dlhodobom podávaní ohroziť acidobázickú rovnováhu. Tento predpoklad podporuje aj fakt, že referenčná koncentrácia chloridov u potkanov sa pohybuje v rozmedzí 100–110 mmol.l⁻¹ (Nagami, 2016), pričom v skupine R2 bola zaznamenaná ich hodnota pod touto hranicou. Tieto výsledky naznačujú, že nižšia dávka rakytníka môže byť z hľadiska udržania elektrolytovej homeostázy bezpečnejšia a potenciálne účinnejšia, kým vyššie dávky si môžu vyžadovať opatrnosť a ďalšie dlhodobé hodnotenie v súvislosti s možnými vedľajšími účinkami. Na základe našich výsledkov sme pozorovali štatisticky významné zvýšenie hladín vápnika v krvi potkanov v skupine R2 v porovnaní so skupinami KS a lean (P < 0,05). Tento efekt bol menej výrazný v skupine R1, kde rozdiely neboli štatisticky významné (P > 0,05). Je možné, že bioaktívne látky v rakytníku, ako flavonoidy a vitamín C, prispievajú k zlepšeniu absorpcie vápnika v črevách a tiež môžu ovplyvniť hormonálnu reguláciu vápnika (Ahani et al., 2022). Antioxidantné vlastnosti rakytníka môžu znižovať oxidačný stres a zápalové procesy, ktoré prispievajú k odbúraniu kostného tkaniva, čím môže rakytník podporiť lepšie využitie vápnika v tele (Singh et al., 2019). V našom experimente sme zaznamenali signifikantne vyššie hladiny fosforu v skupinách R1 a R2 v porovnaní s lean a KS skupinou (P < 0,05; vid'. tab.1). Tento výsledok poukazuje na to, že podávanie rakytníka rešetliakového môže ovplyvniť metabolizmus fosforu u diabetických potkanov. Jednou z možných príčin tohto zvýšenia je zlepšená absorpcia fosforu v črevách,

ktorú môžu sprostredkovať bioaktívne zložky rakytníka, ako sú flavonoidy, vitamíny a karotenoidy. Tieto látky môžu zároveň podporiť zdravú črevnú mikrobiotu a integritu črevnej bariéry, čím sa zvyšuje vstrebávanie živín vrátane fosforu (Pham et al., 2021). Na druhej strane, zvýšené koncentrácie fosforu môžu byť aj dôsledkom zhoršenej funkcie obličiek – čo je bežná komplikácia pri *diabetes mellitus*. Obličky hrajú kľúčovú úlohu v regulácii hladín fosfátov v krvi, a pri ich poškodení môže dochádzať k ich hromadeniu (Stremke et al., 2018). V tomto kontexte nie je možné jednoznačne určiť, či je zvýšená hladina fosforu prejavom zlepšenej absorpcie, alebo naopak, zhoršenej eliminácie fosfátov. Z uvedeného vyplýva, že aj keď výsledky naznačujú súvislosť medzi podávaním rakytníka a hladinami fosforu, klinický význam tohto nálezu ostáva nejasný. Pre úplnejšie posúdenie by bolo potrebné doplniť ďalšie ukazovatele funkcie obličiek a hormonálnej regulácie minerálneho metabolizmu, ako sú parathormón (PTH), FGF23 a aktívna forma vitamínu D. Naopak, koncentrácie železa v krvi potkanov v skupinách R1 a R2 boli signifikantne vyššie v porovnaní so skupinou lean ($P < 0,05$). V skupine R2 bola koncentrácia železa taktiež signifikantne vyššia ako v kontrolnej skupine ($P < 0,05$). Tento nárast by mohol súvisieť so zložením rakytníka, ktorý je bohatý na bioaktívne látky, ako sú flavonoidy a polyfenoly, ktoré môžu ovplyvniť metabolizmus železa a jeho vstrebávanie v čreve. Hoci niektoré z týchto látok môžu vykazovať chelačné vlastnosti, ich účinok môže byť dávkovo závislý a ovplyvnený črevným mikrobiomom, čo môže viesť k zvýšenej dostupnosti železa v niektorých podmienkach (Korkina et al., 1996). Tieto výsledky naznačujú, že rakytník môže modulovať homeostázu železa, čo môže byť zaujímavé najmä v súvislosti s chronickými metabolickými ochoreniami, ako je *diabetes mellitus*. Na druhej strane, rakytník nemal preukazný vplyv na koncentrácie draslíka a horčíka v krvi ZDF potkanov, keďže rozdiely medzi jednotlivými skupinami neboli štatisticky významné ($P > 0,05$). Tieto výsledky naznačujú, že rakytník nemal vplyv na reguláciu týchto minerálov v organizme, aspoň v podmienkach tohto experimentu.

Výsledky našich štúdií ukazujú, že rakytník rešetliakový môže mať významný vplyv na metabolizmus minerálov, najmä v súvislosti s koncentraciami chloridov, vápnika a fosforu. Na základe týchto nálezov sa rakytník javí ako sľubný prostriedok pri liečbe stavov, ako je *diabetes mellitus*, ktorý ovplyvňuje rovnováhu elektrolytov a minerálov v tele. Avšak ďalšie štúdie sú potrebné na podrobnejšie preskúmanie dlhodobých účinkov rakytníka na minerálnu homeostázu a jeho potenciálne riziká pri vyšších dávkach.

Záver

Minerálny profil zohráva kľúčovú úlohu v patofyziológii a klinickom priebehu *diabetes mellitus*, pričom poruchy elektrolytovej rovnováhy predstavujú častý, avšak často podceňovaný prejav tohto chronického metabolického ochorenia. Zmeny koncentrácií elektrolytov, ako sú draslík, chloridy, horčík, vápnik, fosfor a železo, môžu významne ovplyvniť priebeh *diabetes* – nielen v akútnych stavoch (napr. diabetická ketoacidóza či hyperglykemický hyperosmolárny syndróm), ale aj dlhodobo prostredníctvom vplyvu na inzulínovú senzitivitu, kardiovaskulárne riziko či rozvoj diabetickej nefropatie. V rámci nášho experimentu sme preukázali, že podávanie rakytníka rešetliakového viedlo k signifikantným zmenám v hladinách vybraných minerálov u diabetických potkanov. Najvýraznejšie boli tieto zmeny pozorované pri chloridoch, vápniku a fosfore, čo poukazuje na možný vplyv rakytníka na metabolizmus elektrolytov a funkciu obličiek. Tieto zistenia podporujú hypotézu, že rakytník rešetliakový môže modulovať minerálny metabolizmus u diabetických jedincov, pravdepodobne prostredníctvom antioxidantných a protizápalových mechanizmov. Zároveň však upozorňujú na potrebu opatrnosti pri dlhodobom podávaní vysokých dávok rakytníka, keďže niektoré zmeny (napr. hyperchloremia alebo hyperfosfatémia) nemusia byť jednoznačne prospešné. Identifikácia a korekcia minerálnych dysbalancií by preto mala byť neoddeliteľnou súčasťou komplexného manažmentu diabetického pacienta, pričom sa otvárajú nové možnosti pre ciele

nutričné a fytoterapeutické intervencie. Výsledky nášho experimentu zároveň podčiarkujú potrebu ďalších výskumov zameraných na detailné objasnenie mechanizmov účinku bioaktívnych látok rastlinného pôvodu na minerálny metabolizmus a ich možné využitie v prevencii a terapii komplikácií spojených s *diabetes mellitus*.

PodĎakovanie

Práca bola finančne podporená projektami APVV 19/0243, KEGA 017SPU-4/2023 a VEGA 1/0304/23.

Literatúra

- Ahani, H., & Attaran, S. (2022). Therapeutic potential of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in medical sciences. *Cellular, Molecular and Biomedical Reports*, 2(1), 22–32. <https://doi.org/10.55705/cmbr.2022.330326.1020>
- Baird, G. S. (2011). Ionized calcium. *Clinica Chimica Acta*, 412(9–10), 696–701. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2011.01.004>
- Beňačka, R. et al. 2021. Všeobecná patofyziológia. vyd. ŠafárikPress. 482 s. ISBN 978-80-574-0074-5
- Bohn, A. A., & De Moraes, H. A. (2017). A quick reference on chloride. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 47(2), 219–222. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2016.10.008>
- Dong, J.-Y., Xun, P., He, K., & Qin, L.-Q. (2011). Magnesium intake and risk of type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 34(9), 2116–2122. <https://doi.org/10.2337/dc11-0518>
- Elisaf, M. S., Tsatsoulis, A. A., Katopodis, K. P., & Siamopoulos, K. C. (1996). Acid-base and electrolyte disturbances in patients with diabetic ketoacidosis. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 34(1), 23–27. [https://doi.org/10.1016/S0168-8227\(96\)01332-0](https://doi.org/10.1016/S0168-8227(96)01332-0)
- Gröber, U., Schmidt, J., & Kisters, K. (2015). Magnesium in prevention and therapy. *Nutrients*, 7(9), 8199–8226. <https://doi.org/10.3390/nu7095388>
- Kalikkot Thekkeveedu, R., Ramarao, S., Dankhara, N., & Alur, P. (2021). Hypochloremia secondary to diuretics in preterm infants: Should clinicians pay close attention? *Global Pediatric Health*, 8, 2333794X21991014. <https://doi.org/10.1177/2333794X21991014>
- Korkina, L. G., & Afanas'Ev, I. B. (1996). Antioxidant and chelating properties of flavonoids. *Advances in Pharmacology* (Roč. 38, s. 151–163). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1054-3589\(08\)60983-7](https://doi.org/10.1016/S1054-3589(08)60983-7)
- Liamis, G. (2014). Diabetes mellitus and electrolyte disorders. *World Journal of Clinical Cases*, 2(10), 488. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v2.i10.488>
- Liamis, G., Milionis, H. J., & Elisaf, M. (2009). A review of drug-induced hypocalcemia. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 27(6), 635–642. <https://doi.org/10.1007/s00774-009-0119-x>
- Liamis, G., Rodenburg, E. M., Hofman, A., Zietse, R., Stricker, B. H., & Hoorn, E. J. (2013). Electrolyte disorders in community subjects: Prevalence and risk factors. *The American Journal of Medicine*, 126(3), 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2012.06.037>
- Marques, J. V. O., Moreira, C. A., & Borba, V. Z. C. (2022). New treatments for rare bone diseases: Hypophosphatemic rickets/osteomalacia. *Archives of Endocrinology and Metabolism*, 66(5), 658–665. <https://doi.org/10.20945/2359-3997000000555>
- McLean, R. M., & Wang, N. X. (2021). Potassium. V *Advances in Food and Nutrition Research* (Roč. 96, s. 89–121). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.013>
- Miao, R., Fang, X., Zhang, Y., Wei, J., Zhang, Y., & Tian, J. (2023). Iron metabolism and ferroptosis in type 2 diabetes mellitus and complications: Mechanisms and therapeutic opportunities. *Cell Death & Disease*, 14(3), 186. <https://doi.org/10.1038/s41419-023-05708-0>
- Moe, S. M. (2008). Disorders involving calcium, phosphorus, and magnesium. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, 35(2), 215–237. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2008.01.007>
- Nagami, G. T. (2016). Hyperchloremia – Why and how. *Nefrología*, 36(4), 347–353. <https://doi.org/10.1016/j.nefro.2016.04.001>
- Pham, V. T., Dold, S., Rehman, A., Bird, J. K., & Steinert, R. E. (2021). Vitamins, the gut microbiome and gastrointestinal health in humans. *Nutrition Research*, 95, 35–53. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.09.001>
- Raut, S. K., Singh, K., Sanghvi, S., Loyo-Celis, V., Varghese, L., Singh, E. R., Gururaja Rao, S., & Singh, H. (2024). Chloride ions in health and disease. *Bioscience Reports*, 44(5), BSR20240029. <https://doi.org/10.1042/BSR20240029>
- Singh, I. P., Ahmad, F., Gore, D. D., Tikoo, K., Bansal, A., Jachak, S. M., & Jena, G. (2019). Therapeutic potential of seabuckthorn: A patent review (2000-2018). *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 29(9), 733–744. <https://doi.org/10.1080/13543776.2019.1648434>
- Stremke, E. R., & Hill Gallant, K. M. (2018). Intestinal phosphorus absorption in chronic kidney disease. *Nutrients*, 10(10), 1364. <https://doi.org/10.3390/nu10101364>

WILHELM, Zdenek. 2007. Co je dobré vedet' o železe. Solen. Online. s. 42-44. Dostupné na: <https://www.solen.cz/pdfs/lek/2007/01/14.pdf>
Zemel, M. B. (1998). Nutritional and endocrine modulation of intracellular calcium: Implications in obesity, insulin resistance and hypertension. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 188(1/2), 129–136. <https://doi.org/10.1023/A:1006880708475>

Kontaktné adresy autorov:

¹Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Ústav aplikovanej biológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika

*korešpondenčný autor: Patrícia Šimková/xsimkovap@uniag.sk/ Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika

PRODUKCIA KOREŇOVEJ BIOMASY A UHLÍKA V TRÁVNOM PORASTE

ROOT BIOMASS AND CARBON PRODUCTION IN GRASSLAND

Jozef Čunderlík

Abstract: Root biomass accounts for 60–90% of the net primary production of grasslands. On average of two years (2023 and 2024) we monitored the production of root mass and carbon in grassland. The highest root mass production (10.10 t.ha^{-1}) was in 2024. During the growing season, the accumulation of root biomass (9.46 t.ha^{-1}) was higher in the autumn collection. The grazed variant achieved the highest root mass production (9.87 t.ha^{-1}).

Keywords: grassland, root mass, carbon production, variants, content of biogenic elements

Úvod

Koreňový systém sa do produkčného procesu zapája prostredníctvom príjmu vody a živín. Rozvinuté korene upevňujú rastliny v pôde, obsadzujú nové pôdne priestory a prijímajú vodu a živiny. Väčšinou tiež obsahujú aj širšie spektrum chemických a biologických účinných látok než nadzemné časti rastlín. Svojou činnosťou ovplyvňujú rad aktivít nadzemnej časti. Vytvorenie väčšieho množstva aktívnych koreňov (väčšie množstvo zásobných látok) znamená vyššiu odolnosť proti vonkajším zmenám aj odolnosť proti stresom.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Hlavným pestovateľským cieľom trávnych porastov je zlepšenie pomeru nadzemnej a podzemnej hmoty rastliny v prospech koreňov, ale aj hlboké prenikanie koreňov do pôdy, teda zvyšovanie úrovne suchovzdornosti a čiastočne odolnosti voči vysokým teplotám a hlavne klimatickým zmenám (Gáborčík a Tomaškin, 2001). Množstvo koreňovej biomasy trávnych porastov je výrazným zdrojom organickej hmoty, ktorá zlepšuje štruktúru a úrodnosť pôdy. Gregorová, Kečkeméthy, Fusková (1989) konštatujú, že jedným zo základných ukazovateľov prirodzenej úrodnosti pôdy je obsah a kvalita organickej hmoty v pôde. Dôležitým zdrojom jej dopĺňania sú koreňové a pozberové zvyšky rastlín. Zároveň sa trávne ekosystémy vyznačujú špecifickými črtami kolobehu organickej hmoty. Pomer medzi prísunom čerstvej organickej hmoty do pôdy, jej mineralizáciou a humifikáciou je charakterizovaný prevahou humifikácie nad mineralizáciou a tak postupnou akumuláciou pôdnej organickej hmoty (Winther et al., 2001). Z hľadiska uvedených dôvodov má preto štúdium niektorých aspektov kolobehu C pri súčasne používaných spôsoboch obhospodarovania trávnych porastov veľký význam. (Ondrášek et al., 2009). V podhorských a horských oblastiach zabezpečujú trávne porasty popri produkčnej funkcii aj dôležitú mimoprodukčnú úlohu. Sú dôležitým prvkom ekologickej stability krajiny a z tohto aspektu je veľmi významný koreňový systém trávnych porastov (Tomaškin a Zimková, 2001).

Materiál a metódy

Cieľom riešenia bolo stanovenie sezónnych zmien produkcie podzemnej rastlinnej biomasy (vyjadrené hmotnosťou sušiny koreňov) a akumulácie uhlíka pri rôznych systémoch obhospodarovania trávnych porastov na vybraných modelových územiach v priebehu rokov 2023 – 2024. Pokus bol založený v roku 2023 na stanovišti Vígľaš. Nadmorská výška je 370 m. n. m., a presnou pozíciou podľa GPS $48^{\circ}33'48''\text{N}$ $19^{\circ}19'22''\text{E}$. Priemerná ročná teplota je $8,0^{\circ}\text{C}$, priemerná teplota za vegetačné obdobie je $14,7^{\circ}\text{C}$, ročný úhrn zrážok je 615 mm, úhrn

zrážok za vegetačné obdobie je 388 mm. Pôdny typ je pseudoglej. Druhé stanovište bolo v Turovej, ktoré leží v styku juhovýchodnej časti Kremnických vrchov so Zvolenskou kotlinou. Nadmorská výška je 345 m. n. m., a presnou pozíciou podľa GPS 48°35'55"N 19°03'11"E. Priemerná ročná teplota je 8,2 °C, priemerná teplota za vegetačné obdobie je 15,3 °C, ročný úhrn zrážok je 750 mm, úhrn zrážok za vegetačné obdobie je 420 mm. Pôdny typ sú hnedé kambizeme. Odber koreňových vzoriek sme uskutočnili metódou odberu pôdnych monolitov. Odbery sa realizovali na začiatku a na konci vegetačnej sezóny. Odber vzoriek sa uskutočnil pomocou oceľového valca ($\varnothing = 50$ mm) do hĺbky pôdy 100-120 mm v 4-tich opakovaníach. Odobraná vzorka v sebe zahŕňala množstvo koreňovej biomasy a strnisko porastu (v podstate zónu odnožovania). V pôdnych vzorkách sa pri každom odbere stanovil :

a) agrochemický rozbor pôdy Nt (Kjeldahl), NL, P, K, Ca, Mg, Na (Melich III)

b) objemová hmotnosť – gravimetrický

c) obsah uhlíka v podzemnej fytomase sa stanovil výpočtom z úrody sušiny pomocou koeficientu 0,475 (Schlesinger, 1991)

Výsledky boli vyhodnotené metódou viacnásobnej a jednoduchej analýzy rozptylu pomocou programu STATGRAPHICS pričom pre posúdenie preukaznosti rozdielov medzi priemernými hodnotami jednotlivých ukazovateľov sme použili LSD test ($P < 0,05$).

Výskumná úloha riešila tri hlavné technológie obhospodarovania trávnych porastov:

1. kosený trávny porast na ornej pôde - Vígl'as
2. pasený trávny porast na TTP - Turová
3. agrolesnícky pasený porast na TTP – Turová

Výsledky a diskusia

Najvyššia akumulácia koreňovej biomasy v jarnom odbere v roku 2023 ($10,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) bola na poraste, kde sa pásol hovädzí dobytok (tab.1). Druhá najvyššia tvorba koreňovej hmoty ($6,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) bola na agrolesníckom variante. V priemere jarných odberov mal najnižšiu akumuláciu ($4,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) kosený variant, čo pripisujeme slabšej regenerácii porastu v priebehu vegetačného kľúdu. V jesennom odbere mal najvyššiu tvorbu koreňov ($10,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) znova pasený porast (tab.1). Najnižšiu akumuláciu koreňov ($4,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) mal agrolesnícky porast, čo pripisujeme vyššiemu počtu drevín na ploche, ktoré negatívne pôsobili na tvorbu nadzemnej a podzemnej biomasy trávneho porastu, kde sa pásli jalovce. Jesenné odbery mali vyššiu tvorbu koreňovej hmoty len o 4 % v porovnaní z jarnými odbermi, čo signalizuje menej intenzívnejší transport fotoasimilátov do koreňovej sústavy.

Tabuľka 1. Produkcia koreňovej biomasy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) v roku 2023

Rok	Variant	Koreňová biomasa ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)
Jarný odber	Turová - pasený	10,1
	Turová - agrolesnícky	6,00
	Detva - kosený	4,2
Jesenný odber	Turová - pasený	10,9
	Turová - agrolesnícky	4,2
	Detva - kosený	6,1

V roku 2024 bola najvyššia akumulácia koreňovej biomasy v jarnom odbere ($12,80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) na variante, ktorý sa kosil (tab.2). Najnižšia produkcia koreňovej biomasy ($4,90 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) bola na agrolesníckom variante, čo pripisujeme opäť vyššiemu počtu drevín na ploche a paseniu jalovíc. V jesennom odbere bola najvyššia produkcia koreňovej hmoty ($15,10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) na kosenom variante a najnižšia opäť na agrolesníckom variante ($9,40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Produkcia koreňovej hmoty bola vyššia v jesennom odbere o 29,5 % v porovnaní s jarným odberom.

Tabuľka 2. Produkcia koreňovej biomasy ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) v roku 2024

Rok	Variant	Koreňová biomasa ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)
Jarný odber	Turová - pasený	7,40
	Turová - agrolesnícky	4,90
	Detva - kosený	12,80
Jesenný odber	Turová - pasený	11,10
	Turová - agrolesnícky	9,40
	Detva - kosený	15,10

Na hĺbku prekorenenia a na aktívni povrch koreňov vplýva okrem druhu porastu, hlavne intenzita a spôsob využívania. Hĺbka prekorenenia klesá s rastúcim počtom kosieb a vyšším utužením vegetačnej vrstvy. Na intenzívne využívaných porastoch je 80-90 % celkovej koreňovej biomasy vo vrstve pôdy 0 – 50 mm. Vzhľadom na uvedené funkcie by bolo vhodné, keby sa podiel viacročných krmovín na ornej pôde pohyboval v nížinných regiónoch minimálne na úrovni 15 – 16 % a v erózne ohrozených oblastiach (svahové pôdy) až na úrovni 20 – 30 % (Gregorová a Malý, 2002). Preto znalosti o rozvrstvení koreňov v pôde prispievajú k poznaniu štrukturálnych rozdielov medzi porastami i k vysvetleniu a popisu funkčných charakteristík ekosystémov. Z praktického hľadiska lúkárstva a pasienkárstva hodnotia koreňový systém Holúbek a Jančovič (2009). Uvádzajú, že množstvo podzemných orgánov (korene, podzemky, rhizómy žijúce alebo odumreté, označované ako koreňová hmota) je mnohonásobne vyššie než pri krátko žijúcich plodinách na ornej pôde. Odumieranie a tvorba koreňov prebieha súčasne takmer po celý rok (Tomaškin, 2007).

V priebehu rokov sa menili názory, ciele i technológie obhospodarovania TP, ale popri tom vznikali databázy teoretických i praktických poznatkov, z ktorých časť ostáva platných či aktuálnych doposiaľ a môže sa uplatniť v nových prúdoch európskej poľnohospodárskej politiky i výskumnej problematiky. K tomu v súčasnosti pristupujú nové danosti - globálne klimatické zmeny, ktoré čoraz viac ovplyvňujú hospodárenie na poľnohospodárskej pôde i jej jednotlivých kultúrach. Týka sa to najmä TTP a ich pôdnej organickej hmoty, ktorá vo zvýšenej miere zadržiava skleníkové plyny, najmä CO_2 . Dôsledkom toho je snaha zvyšovať plochy trávnych porastov na všetkých citlivých územiach, najmä ornej pôdy. S tým súvisí prispôbovanie všetkých systémov obhospodarovania (Krajčovič a Ondrášek, 2002).

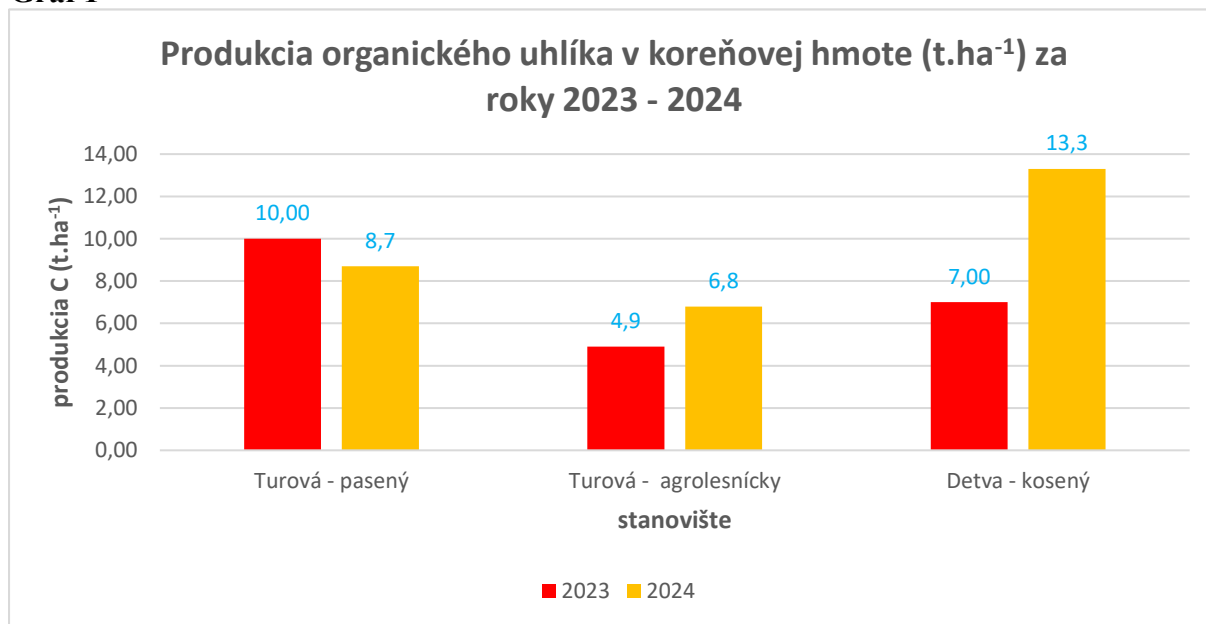
Organický uhlík je uhlík, ktorý po odumretí živých organizmov zostáva v pôde. Časť z tohto organického uhlíka sa v pôde vplyvom mikrobiálnych procesov pomerne rýchlo rozloží až na konečný produkt CO_2 a dostane sa naspäť do atmosféry. Zároveň sa pritom uvoľnia dôležité živiny, potrebné na rast rastlín. Druhá časť uhlíka z odumretej biomasy prechádza zložitými procesmi humifikácie, a v podobe humusu zostáva v pôde.

V roku 2024 bola najvyššia produkcia uhlíka v koreňovej hmote ($13,3 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$) na kosenom variante (graf 1). Na kosenom poraste je vysiatá monokultúra lucerna siata, (*Medicago sativa* L.), ktorá má mohutný koreňový systém, ktorý sa vyznačuje vysokou metabolickou hodnotou a s ňou súvisiacou schopnosťou prijímať minerálne živiny z ťažko prístupných foriem a z hlbších vrstiev pôdy a zároveň obohacuje pôdu o organickú hmotu. Najnižšia akumulácia uhlíka bola v roku 2023 ($4,9 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$) na agrolesníckom variante. To sa potvrdilo aj pri akumulácii koreňovej biomasy na sledovaných variantoch.

Získané výsledky úrod koreňovej hmoty, koncentrácie biogénnych prvkov v koreňoch sme vyhodnotili aj matematicko-štatistickou metódou. (tab.3,4,5). Štatisticky preukazné rozdiely sme zaznamenali v úrodách za sledované roky. Preukazne ($P < 0,05$) vyššiu úrodu ($10,10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) sme dosiahli v roku 2024. Preukazné rozdiely boli aj pri obsahoch prvkov v koreňovej hmote za sledované roky. Preukazne ($P < 0,05$) vyššie obsahy NL ($73,09 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), P ($1,43 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), K ($10,35 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) a Ca ($6,49 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) sme zaznamenali v roku 2024. Nepreukazný rozdiel úrod

koreňovej hmoty bol medzi odbermi za sledované roky. Preukazné vyšší obsah NL ($68,52 \text{ g.kg}^{-1}$) bol v jarnom odbere. V jesennom termíne odberu boli preukazne vyššie obsahy prvkov fosforu a sodíka. Nepreukazný rozdiel bol len pri obsahu draslíka, vápnika a horčíka. Nepreukazné rozdiely sme zaznamenali aj medzi variantami za sledované roky. Preukazne ($P < 0,05$) najvyššie obsahy NL ($91,06 \text{ g.kg}^{-1}$), P ($1,84 \text{ g.kg}^{-1}$), mal kosený variant. Nepreukazný rozdiel na všetkých variantoch bol len pri obsahu vápnika. Nepreukazné rozdiely pri akumulácii uhlíka v koreňovom substráte sme zaznamenali medzi rokmi, odbermi a variantami.

Graf 1



Tabuľka 3. Analýza variancie pre hodnotenie úrod koreňovej hmoty, koncentrácie biogénnych prvkov za roky 2023 – 2024

Rok	Úroda (t.ha^{-1})	Koncentrácia biogénnych prvkov (kg.ha^{-1})					
		NL	P	K	Na	Ca	Mg
2023	6,90 a	58,01 a	1,20 a	6,41 a	0,68 a	7,87 a	1,47 a
2024	10,10 b	73,09 b	1,43 b	10,35 b	0,65 a	6,49 b	1,53 a
Hd $\alpha_{0,05}$	3,125	4,125	0,096	1,178	0,088	0,879	0,163

Tabuľka 4. Analýza variancie pre hodnotenie úrod koreňovej hmoty, koncentrácie biogénnych prvkov za odbery v rokoch 2023 - 2024

Odber	Úroda (t.ha^{-1})	Koncentrácia biogénnych prvkov (kg.ha^{-1})					
		NL	P	K	Na	Ca	Mg
Jar	7,53 a	68,52 a	1,19 a	7,83 a	0,58 a	7,39 a	1,50 a
Jeseň	9,46 a	62,57 b	1,44 b	8,93 a	0,76 b	6,97 a	1,50 a
Hd $\alpha_{0,05}$	3,053	4,125	0,096	1,178	0,088	0,879	0,163

Tabuľka 5. Analýza variancie pre hodnotenie úrod koreňovej hmoty, koncentrácie biogénnych prvkov za varianty v rokoch 2023 – 2024

Variant	Úroda (t.ha ⁻¹)	Koncentrácia biogénnych prvkov (kg.ha ⁻¹)					
		NL	P	K	Na	Ca	Mg
Pasený	9,87 a	46,38 a	0,84 a	7,78 a	0,57 a	7,38 a	1,12 a
Agrolesnícky	6,11 a	59,21 b	1,27 b	7,75 a	0,60 a	7,24 a	1,75 b
Kosený	9,51 a	91,06 c	1,84 c	9,61 b	0,82 b	6,92 a	1,63 b
Hd $\alpha_{0,05}$	4,607	6,082	0,141	1,737	0,130	1,296	0,240

Záver

Dosiahnuté výsledky jednoznačne potvrdzujú, že spôsob využívania pôdy podstatným spôsobom ovplyvňuje najmä tvorbu koreňovej biomasy a následne množstvo pôdnej organickej hmoty v priamej nadväznosti na obsah a štruktúru rastlinnej biomasy. Pôdna organická hmota zlepšuje fyzikálne, chemické i biologické vlastnosti pôd a je významným faktorom, ovplyvňujúcim pôdnu úrodnosť. V súčasnosti zohráva kľúčovú úlohu v snahách o zvýšenie sekvestrácie C.

Podakovanie

Tento príspevok bol financovaný EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č.19R01-18-P01-00001.

Literatúra

- Gáborčík, N., Tomaškin, J. 2001. Produkcia a akumulácia koreňovej hmoty kultivarov d'ateliny plazivej (*Trifolium repens* L.). In Acta fytotechnica et zootechnica. Nitra: SPU, 2001, roč. 4, č. 4, s. 89-92, ISSN 1335-258X
- Gregorová, H., Kečkemethy, A., Fusková, E. 1989. Produkcia a kvalita koreňovej hmoty siateho pasienkového porastu. Agrochémia, 29, 1989, č. 3, s. 77 - 79.
- Gregorová, H., Malý, O. 2002. Poľné krmoviny. Druhé nezmenené vydanie. SPU: Nitra, 2002. ISBN: 80-8069-038-3. s 128
- Holúbek, R., Jančovič, J. 2009. Lúkárstvo a pasienkárstvo. VŠP Nitra, 1995, 209 s
- Krajčovič, V., Ondrášek, E. 2002. Štruktúra, funkcie a stabilita lúčno-pasienkových ekosystémov pri znížených vstupoch podhorských a horských oblastí. In: Ekológia trávneho porastu VI. - Lúčno-pasienkové ekosystémy podhorských a horských oblastí Strednej Európy (ČR, PR, SR) 2002. Zborník VÚTPHP B. Bystrica. 1.zväzok ISBN 80968890-7-9 s. 104-123.
- Ondrášek, E. et al. 2009. Pôdno-mikrobiologická charakteristika a štruktúra rastlinnej biomasy v rôzne využívaných trávnych porastoch. In: Lúkárstvo a pasienkárstvo na Slovensku. Odborný časopis zameraný na trávne porasty, rozvoj vidieka, krmovinnárstvo, SCPV- VÚTPHP Banská Bystrica, roč. 3, 2009, č. 1, s. 35 - 40. ISSN 1337-589X
- Tomaškin, J. 2007. Role of non-productional functions of grassland in soil protection and environment. In Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2007, Vol. 2, No. 1, p. 33 - 38. ISSN 1842-4090
- Tomaški, J., Zimková, M. 2001. Accumulation and production of root system in grassland ecosystems. In Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych, zeszyt 478, Kształtowanie środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn. Warszawa: Polska akademia nauk, 2001, s.71-77, ISSN 0084-5477
- Schlesinger, L.A. 1991. Job Satisfaction, Service Capability, and Customer Satisfaction: An Examination of Linkages and Management Implications. Human Resource Planning, 14, 141-149.
- Winther, F.P. et al. 2001. Measurement of CO₂ evolution in situ. Paper presented at Cost Action 627: Carbon Storage in European Grasslands. Meeting of working groups 1 & 2, Trinity College Dublin, Ireland, 5th - 8th April, 2001; Published in Abstracts of the Cost Action 627 meeting: Carbon Storage in European Grasslands, page 17.

Kontaktná adresa autora: Ing. Jozef Čunderlík, PhD., Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica, e-mail: jozef.cunderlik@nppc.sk

VPLYV RÔZNEHO OBHOSPODAROVANIA TRÁVNÝCH PORASTOV NA VÝSKYT *COLCHICUM AUTUMNALE*

THE IMPACT OF DIFFERENT GRASSLAND MANAGEMENT ON THE OCCURRENCE OF *COLCHICUM AUTUMNALE*

Stela Jendrišáková

Abstract: In the Veľká Fatra National Park, mesophilic grasslands are among the most frequently managed habitats, whether by grazing or mowing. These semi-natural grasslands are habitats with high biodiversity values and the occurrence of plant species with a wide spectrum of their forage value. *Colchicum autumnale* (*Colchicaceae*) is a perennial geophyte, a species of the *Molinio - Arrhenatheretea* class, which is characteristic of mesophilic grasslands of medium to extensive intensity of agricultural use. The expansive spread of this toxic species is a serious problem for farmers. *Colchicum autumnale* contains alkaloids, the riskiest of which is colchicine, which is also found in the leaves and contaminates hay, silage, but also pasture feed. According to Government Regulation 439/2006 Coll. Part A, Green fodder, *Colchicum autumnale* belongs to the taxa listed in the List of harmful and poisonous plants, the share of which in green fodder is undesirable or limited (in hay from the group: meadow vegetation it is max. 2%). In the paper we present the influence of different grassland management on the developmental stages of *C. autumnale* G (plant with developed capsule, generative stage) and S (germinating seedling).

Keywords: Biodiversity, *Colchicum autumnale*, meadows and pastures, mesophilic grasslands

Úvod

Na extenzívne obhospodarovaných mezofilných trávnych porastoch v Národnom parku Veľká Fatra bol zistený kritický nárast *Colchicum autumnale* L. Tento fakt významne ovplyvňuje kvalitu sena, siláže a paše z trávnych porastov. Viacerí zahraniční autori zaznamenali intoxikácie *C. autumnale* L., napr. akútne otravy oviec, hovädzieho dobytku a koní v Rakúsku (Chizzola a Janda 2002), v Nemecku a Švajčiarsku (Wolf et al., 2009; Kupper et al., 2010). Po pitve sa zistila intenzívna akumulácia seróznej alebo serózo-hemoragickej tekutiny v hrudníku a bruchu. Seno bolo silne kontaminované jesenným šafranom (*Colchicum autumnale*), približne 1,48 % z celkovej hmotnosti (Kamphues a Meyer, 1990). V Národnom parku Veľká Fatra je v súčasnosti povolená aj extenzívna pastva mladého dobytku a oviec. Zvieratá sú na pastve počas celej pasienkovej sezóny, v závislosti od počasia, čo vyžaduje zabezpečenie bezpečného krmiva aj v dostatočnom množstve. Skorá kosba, pred senokosnou zrelosťou znižuje hustotu *Colchicum autumnale* L., avšak trávne porasty už neposkytnú dostatočné množstvo krmiva. Predchádzajúce štúdie, kde bolo vykonané skoré kosenie na zníženie *C. autumnale* nezohľadňovali populačnú dynamiku a vplyv na diverzitu rastlín (Winter et al., 2014). Zmena v manažmente negatívne ovplyvní niektoré druhy, napríklad jednoročné druhy, ktoré sa spoliehajú výlučne na generatívne rozmnožovanie, napr. *Rhinantus* spp. (Kirkham a Tallowin 1995; Čop, Vidrih a Hacin 2009). Druhy, ktoré nie sú schopné znovu vyrásť po skorom kosení, ako sú orchidey, pravdepodobne tiež ustúpia, keď sa ich plody opakovanne odstraňujú. Je potrebné zvážiť aj možné negatívne vplyvy na faunu, ako sú vtáky hniezdiace na zemi (Gruebler a kol. 2008).

Poloprírodné trávnaté porasty významne prispievajú k celkovej biodiverzite Európy (Poschlod a Wallis DeVries, 2002). Agroenvironmentálne schémy zavedené na úrovni EÚ aj na národnej úrovni (Kampmann et al., 2012, Batáry et al., 2015), predstavujú ďalšiu dôležitú stratégiu

ochrany biodiverzity v poľnohospodárskej krajine v chránených oblastiach aj mimo nich. Účinnosť týchto programov na ochranu biodiverzity je však otázna (Kleijn et al., 2006, Batáry et al., 2015). Agroenvironmentálne programy podporujú nízke vstupy do poľnohospodárstva, a týmto spôsobom môžu podporiť nárast populácie *C. autumnale* (Jung et al., 2011).

Extenzívny manažment je však nevyhnutný pre zachovanie druhovo bohatých trávnych porastov a ich dôležitých ekosystémových služieb (Dierschke a Briemle, 2002). Typická hustota rastlín *Colchicum autumnale* L. v prirodzených populáciách sa pohybuje od 1 do 4 rastlín.m² (Poutaraud a Girardin, 2006), ale v hustých populáciách je bežný priemer 15 – 57 rastlín.m² (Jung et al., 2011). Rastlina má špecifický životný cyklus, kvitne v septembri, keď už nemá listy. Listy jesienky s plodom - trojitou tobolkou so semenami sa objavujú až nasledujúcom roku na jar. Godet (1987) uvádza, že v závislosti na lokalite sa vyvinulo až 30 % púčikov B4. Každý rok materská hľuza vyprodukuje jednu alebo niekedy dve dcérske hľuzy. Hľuza je tvorená iba jedným internódiom s dvoma púčikmi (B3 a B4). Pri kvitnutí, v septembri sa všetky púčiky B3 vyvíjajú na úkor materskej hľuzy a vytvoria dcérske hľuzy. V určitých prípadoch sa môžu tiež vyvinúť púčiky B4, tak vzniknú až dve dcérske hľuzy z materskej hľuzy. Priemerné percento pokrytia *C. autumnale* je väčšinou 1 – 5 %, ale dosahuje aj 6 – 25 % (Bassler a kol., 1998). Na vlhkých lúkach môže pokrývať až 50 % celkovej vegetácie (Stebler a Schröter, 1891; Braungart, 1899). Cieľom našej práce bolo analyzovať vplyv ošetrov trávnych porastov na pravdepodobnosť prežitia *C. autumnale*, t.j. pravdepodobnosť, že sa v nasledujúcom roku stane generatívnou rastlinou.

Materiál a metódy

Experiment sme realizovali v rokoch 2008 – 2013, porovnávali sme vplyv rôznych spôsobov ošetrovania trávnych porastov na populáciu *C. autumnale*. *C. autumnale* sa vyskytuje prevažne v trávnatých porastoch, je to charakteristický druh triedy *Molinio-Arrhenatheretea* (Oberdorfer 1983), ktorá predstavuje mezofilné trávnaté porasty so strednou až extenzívnou intenzitou poľnohospodárskeho využívania. Pokusné plochy sme založili na mezofilných trávnych porastoch vo Veľkej Fatre (tabuľka 1), ktoré boli extenzívne obhospodarované a neboli hnojené. Pokusné plochy sme rozdelili na varianty v 4 opakovaniach. Prvý variant (V1) bol kontrolný porast bez manažmentu. Druhý variant (V2) bol jednokosný, tretí variant (V3) bol dvojkosný. Štvrtý variant (V4) s ekologickým prísevom miešanky s prevahou tráv - dvojkosne využívaný a piaty variant (V5) s ekologickým prísevom miešanky s prevahou d'atelinovín - dvojkosne využívaný (obrázok 1). V prvom roku experimentu sme vykonali botanický prieskum.

Botanický rozbor, pokryvnosť a početnosť rastlinných druhov v biotope národného významu: LK3 - Mezofilné pasienky a spásané lúky bola zaznamenávaná na trvalých miestach na ploche 1 m² každý rok, metódou podľa Klappa (1965), v 4 opakovaniach. Odbery vzoriek fytohmoty na analýzu produkcie boli vykonávané po dosiahnutí senokosnej zrelosti porastov pred kosbami a hodnotené v zmysle Výnosu MP SR č. 2145/2004-100 o úradnom odbere vzoriek a o laboratórnom posudzovaní a hodnotení krmív. Kosby boli realizované v senokosnej zrelosti porastov. V rámci stálych miest s plochou 1 m² sme vždy pred kosbou zaznamenávali počet jedincov podľa štádia vývoja, t. j. rastliny s listami až po rastliny s tobolkami (obrázok 2). Všetky zaznamenané jedince *C. autumnale* boli zaradené do jedného zo životných štádií: 1. semenáč (S) rastlina s jedným primárnym listom, 2. rastlina s jedným vyvinutým listom (L1), 3. rastlina s dvoma listami - stredne vegetatívny jedinec (L2), 4. rastlina s tromi alebo viacerými listami (L3), 5. rastlina s vyvinutou tobolkou generatívne štádium (G).

Analýza prezentuje údaje z rokov 2009 – 2013, zo 4 opakovaných meraní, s cieľom analyzovať vplyv ošetrov trávnych porastov na pokles prežitia *C. autumnale*, t.j., že v nasledujúcom roku nastane pokles hustoty jedincov v generatívnom štádiu a ich dopad na produkciu krmiva. Údaje z roku 2008 nie sú súčasťou súboru, z dôvodu, že prísev bol realizovaný až v jesennom termíne. Do analýzy boli použité údaje zo študovaných variantov a ich 4 opakovaní, združené pre každé

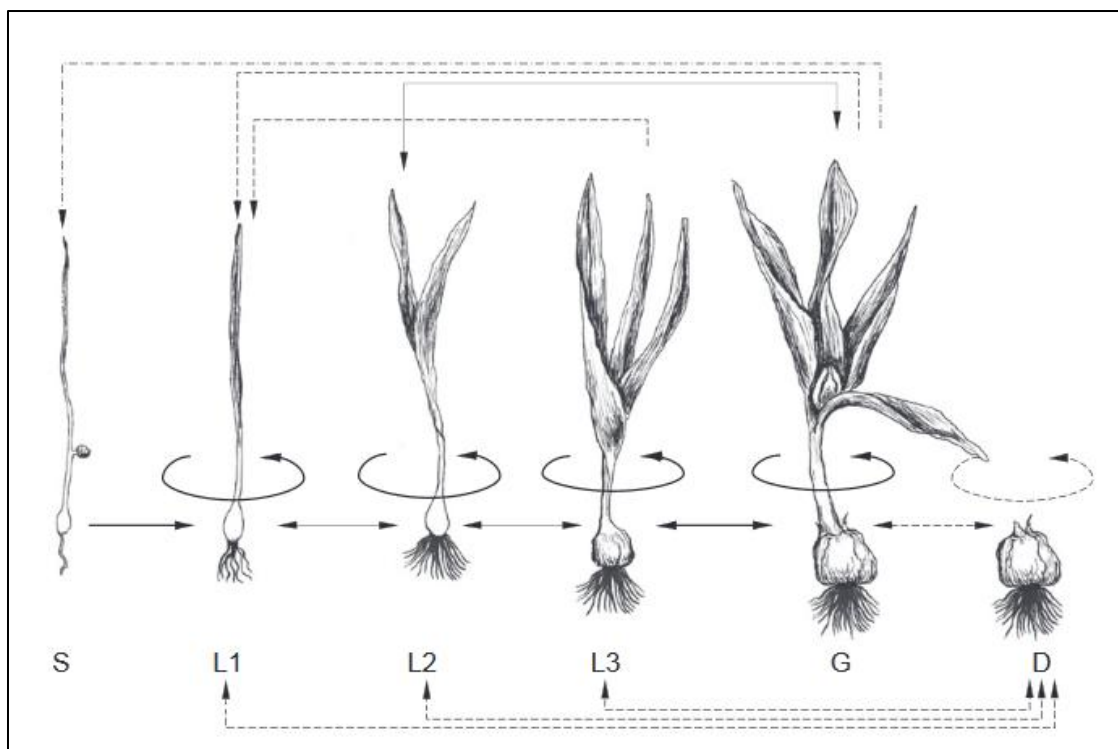
ošetrenie. Údaje boli analyzované pomocou postupov ANOVA. Pravdepodobnosť poklesu prežitia bola potvrdená na hladine významnosti $P < 0,05$ a $P < 0,01$. Na identifikáciu rozdielov medzi ošetreniami bol použitý Tukeyov test.



Obrázok 1. Varianty experimentu v jarnom aspekte s *Colchicum autumnale*

Tabuľka č. 1: Charakteristika stanovišťa

Charakteristika	Veľká Fatra - krajinný celok Fatransko-tatranskej oblasti Západných Karpát (Mazúr a Lukniš, 1980)
Zemepisná dĺžka (□)	19°03
Zemepisná šírka (□)	48°50'
Nadmorská výška (m)	830
Dlhodobý priemer zrážok - za rok (R_r - mm)	800 - 1000
Dlhodobý priemer denných teplôt - za rok (t_{dr} -°C)	2,6
Agroklimatická makrooblasť	chladná
Agroklimatická podoblasť	vlhká
Pôdny typ	kambizem



Obrázok 2. Vývojové štádiá *Colchicum autumnale*.

S – klíčiaci semenáč; L1–L3 - vegetatívna rastlina s jedným, dvoma a tromi alebo viacerými listami; G - generatívna rastlina s tobolkami; D - dormantná rastlina. Šípky označujú možné prechody medzi štádiami; prerušovaná čiara predstavuje plodnosť. Hrubé čiary znázorňujú pravdepodobnosti prechodu > 30 %, tenké čiary 5–30 % a prerušované čiary < 5 % (Winter et al., 2014, upravené podľa Jung et al., 2011).

Výsledky a diskusia

Pravdepodobnosť poklesu prežitia rastlín, t.j. dosiahnuť vývojové štádium G, bola významne ovplyvnená faktorom prísiev s prevahou tráv (V4), voči variantu – kontrola (V1) a variantu s jednokosným ošetrovaním (V2). Vplyv prísievu na V4 sa prejavil aj na poklese hustoty jedincov vo vývojovom štádiu S voči variantom V1 (kontrola) a aj V2 (jednokosný). Predpokladáme, že ošetrovaním trávnych porastov prísievom s prevahou tráv sa vytvorilo v ekosystéme konkurenčné prostredie o svetlo, živiny a vlahu, v ktorom boli trávne druhy úspešné a jedince (S) *Colchicum autumnale* boli potlačené. Ošetrovania V4 (prísiev s prevahou tráv) viedli k najnižšej pravdepodobnosti prežitia, resp. dosiahnutia životného cyklu G a zároveň bolo ošetrovanie efektívne z hľadiska produkcie fytomasy (tabuľka 2). *C. autumnale* má vezikulárno - arbuskulárnu mykorízu (Poschlod et. al., 2003). Vonkajšie mycélium je silne vyvinuté a môže tak podporovať rast rastlín a prísun živín. Intenzívna tvorba mykorízy sa vyskytuje v prirodzených populáciách *C. autumnale* takmer na každom type pôdy (Birgel, 1953). Tento fakt sme pozorovali v celkovej vitalite populácie. Vitalita jedincov a populácií sa chápe ako heterogenita jedincov jedného ontogenetického stavu (populácie jedného druhu), spojená s ich životaschopnosťou (Proskuryakova, 1968, Zlobin, 1989).

Tabuľka č. 2. Analýza hustoty *Colchicum autumnale* produkcie fytomasy trávneho porastu

Variant	n	G (Mean)	SD	S (Mean)	SD	Produkcia (Mean)	SD
V1	20	6,40**V4	0,55	13,00*V2**V3V4V5	2,24	2,47	0,32
V2	20	6,00**V4	1,22	10,20*V3**V4	1,79	2,48	0,17
V3	20	4,8	0,45	8	1,22	2,44	0,23
V4	20	3,6	0,55	6	0,22	2,88*V3	0,08
V5	20	5	1,41	7,4	0,55	3,08**V1V2V3	0,22
One way Anova P < 0,05 (*), P < 0,01 (**)							

Záver

Najsilnejší účinok ošetrovania na pokles jedincov *C. autumnale* sme zistili na V4, kde bol aplikovaný prísev s prevahou tráv. Naopak, variant (V5) po aplikácii prísevu miešanky s prevahou d'atelinovín mal stúpajúcu početnosť populácie *C. autumnale* a to vo všetkých jej sledovaných životných štádiách. Predpokladáme, že *C. autumnale* profituje z d'atelinovín, ktoré svojou vlastnosťou viazať atmosférický dusík podporili populáciu *C. autumnale*. Zaznamenali sme vyšší počet listov, teda aj vegetatívne dospelých rastlín. Pravdepodobnosť poklesu prežitia bola potvrdená na hladine významnosti $P < 0,05$ a $P < 0,01$. Taktiež Jung (2011), uvádza že rast populácie závisí najmä od vegetatívneho rozmnožovania, zdá sa, že to platí aj pre vegetáciu vysokých tráv v Rakúsku, zatiaľ čo vegetatívne rozmnožovanie je nízke na lúkach s nízkymi trávami.

Pod'akovanie: Táto publikácia vznikla v rámci úlohy odbornej pomoci: „Analýza stavu trávnych porastov s vysokou biodiverzitou pre účely plnenia Smernice EÚ č. 2023/2413“, vďaka podpore z kontraktu č. 1131/2024/MPRVSR–930.

Literatúra

- Batáry P, Dicks LV, Kleijn D, Sutherland WJ. 2015. The role of agri-environment schemes in conservation and environmental management. *Conserv Biol.* 2015 Aug;29(4):1006-1016. doi: 10.1111/cobi.12536. Epub 2015 May 21. PMID: 25997591; PMCID: PMC4529739.
- Bassler, G., Karrer, G., Lichtenegger, A. 1998. Endbericht zum MAB-Pilotprojekt "Das Grünland im Berggebiet Österreichs. Teilprojekt 2: Grünlandtypen im Transekt von Oppenberg bis Tauplitz". Institut für Botanik, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Birgel, G. 1953. Untersuchungen über die Mykorrhiza gärtnerischer Kulturpflanzen unter besonderer Berücksichtigung von *Chlorophytum comosum*, *Clematis vitalba*, *Cosmea bipinnata* und *Colchicum autumnale*. Ph.D. Thesis. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität
- Braungart, R. 1899. Handbuch der rationellen Wiesen- und Weiden-Kultur und Futterverwendung, entwickelt und ausgestaltet auf den Grundlagen der modernen Fütterungslehre. Theodor Ackermann, München.
- Čop, J., Vidrih, M., Hacin, J. 2009. Influence of cutting regime and fertilizer application on the botanical composition, yield and nutritive value of herbage of wet grasslands in Central Europe
- Dierschke H. and Briemle G. 2002. Kulturgrasland: Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren, Stuttgart, Eugen Ulmer Verlag, 2002. ISBN: 3800138166 239 pp. ISBN: 3800138166.
- Godet, X. 1987. Biologie du colchique (*Colchicum autumnale* L.) Multiplication végétative par voie traditionnelle et in vitro. Thèse. Clermont-Ferrand. 172 pp.
- Gruebler, M.U., Schuler, H., Mueller, M., Spaar, R., Horch, P. & Naef-Daenzer, B. 2008. Female biased mortality caused by anthropogenic nest loss contributes to population decline and adult sex ratio of a meadow bird. *Biological Conservation*, 141, 3040–3049
- Chizzola, R., Janda, P., 2002. Vergiftung von Schafen durch Herbstzeitlose im Heu: Ein Fallbericht. *Wien. Tierarztl. Monatsschr.* 89, 4–7
- Jung, L., Winter, S., Eckstein, R. L., Kriechbaum, M., Karrer, G., Welk, E., Elsasser, M., Donath, T. W., Otte, A. 2011. Biological Flora of Central Europe. *Colchicum autumnale* L. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 13 (2011) 227– 244.

- Kamphues J, Meyer H. 1990. Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*) im Heu und Kolikerkrankungen bei Pferden [Meadow saffron (*Colchicum autumnale*) in hay and colic in horses]. *Tierarztl Prax.* 1990 Jun;18(3):273-5. German. PMID: 2377991.
- Kampmann D., Lüscher A., Konold W., Herzog F. 2012. Agri-environment scheme protects diversity of mountain grassland species. *Land Use Policy*, 29, (3), 2012, 569-576. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com>
- Kirkham, F.W. , Tallowin, J.R.B. 1995. The influence of cutting date and previous fertilizer treatment on the productivity and botanical composition of species-rich hay meadows on the Somerset Levels. *Grass and Forage Science*, 50, 365–377.
- Klapp, E., 1965. Grünlandvegetation und Standort. Berlin und Hamburg : Verlag Paul Parey, 1965, 384 s.
- Kleijn, D., Baquero, R. A., Clough, Y., Díaz, M., De Esteban, J., Fernández, F., Gabriel, D., Herzog, F., Holzschuh, A., Jöhl, R., Knop, E., Kruess, A., Marshall, E. J. P., Steffan-Dewenter 2006. Mixed biodiversity benefits of agri-environment schemes in five European countries. 2006; Wiley; Volume: 9; Issue: 3 *Linguagem: Inglês* ISSN 1461-0248. Dostupné na: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00869.x>
- Kupper, J; Rentsch, K; Mittelholzer, A; Artho, R; Meyer, S; Kupferschmidt, H; Naegeli, H. 2010. A fatal case of autumn crocus (*Colchicum autumnale*) poisoning in a heifer: confirmation by mass-spectrometric colchicine detection. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 22(1):119-122. . Dostupné na: <https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/35806/>
- Mazúr, E.– Lukniš, M. 1980. Geomorfologické členenie SSR a ČSSR. I. vydanie. – Slovenská kartografia. Bratislava.
- Poschlod, P., Kleyer, M., Jackel, A.-K., Dannemann, A., Tackenberg, O., 2003. BIOPOP a database of plant traits and internet application for nature conservation. *Folia Geobot.* 38, 263–271.
- Poutaraud, A., Girardin, P., 2003. Seed yield and components of alkaloid of meadow saffron (*Colchicum autumnale*) in natural grassland and under cultivation. *Can. J. Plant Sci.* 83, 23–29.
- Proskuryakova G. M. O kvantitatívnych vzťahoch dominantov stepnej vegetácie Veľkého Balchanu // *Botanický časopis*. 1968. Zv. 53, č. 4. S. 524–530
- Stebler, F., Schroter, C., 1891. Beitrage zur Kenntnis der Matten und Weiden der Schweiz. *Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz*. Schweizerisches Landwirtschaftsdepartment, 5. Band, Bern, pp. 141–225
- Winter, S., Jung, L. S., Eckstein, R. L., Otte, A., Donath, T. W., & Kriechbaum, M. 2014. Control of the toxic plant *Colchicum autumnale* in semi-natural grasslands: effects of cutting treatments on demography and diversity. *Journal of Applied Ecology*, 51(2), 524–533. <http://www.jstor.org/stable/24032383>
- Wolf P, Wichert B, Aboling S, Kienzle E, Bartels T, Kamphues J. 2009. Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*) – Vorkommen und mögliche Effekte bei Pferden. *Tierärztliche Praxis*. Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere 37(5):330–336
- Zlobin Yu. A. Princípy a metódy štúdia cenotických rastlinných populácií. Kazaň: Vydavateľstvo Kazanskej univerzity, 1989. 146 s.

Kontaktná adresa autora:

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Banská Bystrica, E-mail: stela.jendrisakova@nppc.sk

ENERGETICKÝ POTENCIÁL A ZÁSoby UHLÍKA HORSKÝCH LÚK

ENERGY POTENTIAL AND CARBON STOCKS OF MOUNTAIN MEADOWS

Miriám Kizeková, Norbert Britaňák, Jozef Čunderlík, Ľubomír Hanzes, Štefan Pollák, Vladimíra Vargová, Ľubica Jančová, Radoslava Kanianska

Abstract: Mountain meadows are an important carbon pool and can also act as a source of bioenergy. The study focused on 4 grassland types (Lowland hay meadows, Mountain hay meadows, Wet grassland of sub-montane zones and Oversown grasslands) in 5 mountain ranges (Great Fatra Mts., Low Tatra Mts., Slovak Paradise Mts., Čergov Mts., Slánské Hills Mts.) of the Western Carpathians in Slovakia. The results showed that the total carbon stock of the mountain meadows equal to 2.120×10^3 tons. The calculated biomethane production ranged from 6,606 GJ in the Slovak Paradise Mts., to 122,888 GJ in the Low Tatra Mts., which had the largest area of grassland habitats. The theoretical energetic potential exceeded $1,139 \times 10^3$ GJ.

Keywords: grasslands, biomethane production, carbon stock, Western Carpathians

Úvod

Výmera trvalých trávnych porastov dosahuje takmer 17 % z celkového územia Slovenskej republiky (MPRV SR, 2024). Okrem 500 tisíc hektárov trávnych porastov používaných pre poľnohospodárske účely, značná časť trávnych porastov, osobitne biotopov trávnych porastov európskeho alebo národného významu, sa nachádza v horských oblastiach. Okrem toho, že sa vyznačujú vysokou biodiverzitou a vysokým potenciálom sekvestrácie uhlíka, môžu tieto trávne porasty slúžiť ako surovina na výrobu bioenergie (Prochnow et al., 2009).

Európska únia si stanovila cieľ dosiahnutia klimatickej neutrality do roku 2050. Jedným z kľúčových nariadení revidovanej smernice o obnoviteľnej energii RED III (EK, 2023) je dôležité mapovanie oblastí vhodných na rozmiestnenie projektov obnoviteľnej energie v súlade s ekologickými a environmentálnymi strategickými smernicami s dôrazom na ochranu citlivých území. Na dosiahnutie týchto klimatických cieľov je dôležité poznať energetický potenciál a sekvestráciu uhlíka v horských ekosystémoch vrátane trávnych porastov.

Na Slovensku boli vypracované štúdie na hodnotenie energetického potenciálu poľnohospodárskych plodín (Tóth et al., 2023) aj lesných porastov (Majlingová et al., 2020). Podobne sa hodnotili zásoby organického uhlíka (Barančíková et al. 2012). Komplexné zhodnotenie energetického potenciálu a zásob organického uhlíka v horských trávnych porastoch na Slovensku stále chýba.

Cieľom štúdie bolo zhodnotiť teoretický potenciál produkcie biometánu a zásobu organického uhlíka v rôznych typoch horských lúčnych porastov nachádzajúcich sa v 5 pohoriach západných Karpát.

Materiál a metódy

Štúdia sa realizovala na 4 typoch trávnych porastoch vo Veľkej Fatre, Nízkych Tatrách, Slovenskom raji, Čergove a Slanských vrchoch. Nížinné kosné lúky sú najrozšírenejším lúčnym biotopom na Slovensku. Vyskytujú sa v nadmorskej výške od 200 m n. m. do 1 050 m n. m. a vzhľadom na veľmi široké environmentálne podmienky a manažment je aj druhová štruktúra veľmi variabilná. V našej štúdii boli dominantnými druhmi *Festuca pratensis*, *Festuca rubra* a *Arrhenatherum elatius*. Horské kosné lúky sú druhovo bohaté mezofilné horské lúky nachádzajúce sa na hlbokých, pôdach v horských, horských a subalpínskych horských oblastiach. V našej štúdii boli dominantnými druhmi *Agrostis capillaris*, *Deschampsia*

cespitosa a *Hypericum maculatum*. Ďalším hodnoteným biotopom boli podmäčané lúky horských a podhorských oblastí, ktoré sa vyskytujú prevažne v alúviách potokov. V našej štúdii dominovali *Alopecurus pratensis*, *Cirsium rivulare* a *Filipendula ulmaria*. Prisiatie trávne porasty na plochách narušených ťažbou dreva a v lesných škôlkach predstavovali posledný hodnotený biotop. Prisievané zmesi boli zložené z *Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Trifolium pratense* a *Trifolium repens*. Do štúdie bolo začlenených 98 lokalít nachádzajúcich sa v nadmorskej výške od 420 m n. m. do 1275 m n.m.. Na každej lokalite sa odobrali 2 vzorky nadzemnej fytohmoty z plochy 0,5 m x 0,5 m. V laboratóriu sa vzorky sušili 24 hodín pri teplote 60 °C a následne sa stanovil obsah sušiny. Zároveň sa z každej lokality odobrali priemerné pôdne vzorky z hĺbky 0 – 15 cm. Stanovenie pôdneho organického uhlíka sa uskutočnilo podľa Vyhlášky MP SR z 21. marca 2016 Z. z. č. 151/2016, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o agrochemickom skúšaní pôd a o skladovaní a používaní hnojív.

Výťažnosť biometánu z trávneho porastu na hektár bol vypočítaný nasledovne:

$$V_{BM} = U_{NF} \times \text{ŠPB} \times 37 / 1000$$

kde: V_{BM} je výťažnosť biometánu (GJ/ha); U_{NF} je úroda sušiny nadzemnej fytohmoty ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$); ŠPB je špecifická produkcia biometánu trávneho porastu ($\text{IN} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ODS}$); 37 je výhrevnosť metánu ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$) pri 293,15 K a 1 atm (Perry & Chilton, 1973). Údaje o špecifickej produkcii biometánu jednotlivých typov trávnych porastov boli získané z literárnych zdrojov a mali nasledovné hodnoty: špecifická produkcia biometánu nížinných kosných lúk - 122 $\text{IN} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ODS}$, podmäčaných lúk horských a podhorských oblastí - 124 $\text{IN} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ODS}$; prisiatych trávnych porastov - 143 $\text{IN} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ODS}$ (Van Meerbeek et al., 2015) a horských kosných lúk - 120 $\text{IN} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ODS}$ (Meserszmit et al., 2019).

Energetický potenciál fytohmoty z jednotlivých typov trávnych porastov bol stanovený nasledovne:

$$E_{TP} = U_{NF} \times Q_n$$

kde: E_{TP} je energetický potenciál fytohmoty (GJ/ha); U_{NF} je úroda sušiny nadzemnej fytohmoty ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$); Q_n je výhrevnosť fytohmoty jednotlivých typov trávnych porastov. Údaje o výhrevnosti jednotlivých typov trávnych porastov boli získané z literárnych zdrojov a mali nasledovné hodnoty: výhrevnosť biomasy nížinných kosných lúk - 17,04 $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, podmäčaných lúk horských a podhorských oblastí - 17,01 $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, prisiatych trávnych porastov - 17,57 $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Van Meerbeek et al., 2015) a horských kosných lúk - 16,80 $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Meserszmit et al., 2019).

Zásoba pôdneho organického uhlíka (C_{POC}) ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) v hĺbke 0 – 15 cm bola vypočítaná nasledovne:

$$C_{POC} = POC \times BD \times H \times [1 - (G/100)] \times 10000$$

kde: POC je koncentrácia pôdneho organického uhlíka v pôde ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); BD objemová hmotnosť ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); H hĺbka pôdy (m); G obsah skeletu (%).

Údaje na stanovenie pôdneho typu, pôdneho druhu a skeletovitosti boli čerpané z verejne dostupnej digitálnej mapy Atlas krajiny Slovenskej republiky (<https://app.sazp.sk/atlassr/>) http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/obj_hmotnost/obj_hmotnost.aspx.

Zásoba organického uhlíka ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) v živej fytohmote (C_B) bola vypočítaná ako súčet zásoby organického uhlíka v nadzemnej fytohmote (C_{NF}) a zásoby organického uhlíka v koreňovej biomase (C_{KB}). Zásoba organického uhlíka v nadzemnej fytohmote (C_{NF}) a koreňovej biomase (C_{KB}) bola vypočítaná podľa rovníc:

$$C_{NF} = U_{NF} \times 0,47$$

$$C_{KB} = [U_{NF} \times (KB/U_{NF})] \times 0,47$$

kde U_{NF} je úroda sušiny nadzemnej fytohmoty ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$); KB je hmotnosť koreňovej biomasy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$); 0,47 je koeficient prepočtu obsahu uhlíka na tonu biomasy (IPCC, 2019). Hodnoty pomeru

KB/ U_{NF} boli získané z literatúry. Pre nížinné kosné lúky, horské kosné lúky a prisiatie trávne porasty mal pomer hmotnosti koreňovej biomasy k úrode sušiny nadzemnej fytomasy (KB/ U_{NF}) hodnotu 2,8; zatiaľ čo pre vlhké trávnaté porasty v podhorských zónach mal pomer KB/ U_{NF} hodnotu 4,0.

Zásoba organického uhlíka ($t \cdot ha^{-1}$) v opade (odumretej nadzemnej fytomase) bola vypočítaná podľa rovnice:

$$C_{opad} = (U_{NF} \times 0,3) \times 0,47$$

kde C_{opad} je zásoba organického uhlíka v opade ($t \cdot ha^{-1}$); U_{NF} úroda sušiny nadzemnej fytomasy (t/ha); 0,3 je koeficient prepočtu množstva odumretej fytomasy (IPCC, 2019); 0,47 koeficient prepočtu obsahu uhlíka na tonu biomasy.

Celková zásoba organického uhlíka trávnych porastov (C_{Total}) ($t \cdot ha^{-1}$) bola vypočítaná ako súčet zásoby pôdneho organického uhlíka, zásoby organického uhlíka v nadzemnej fytomase, v koreňovej biomase a v opade.

Získané výsledky boli vyhodnotené analýzou variancie ANOVA pomocou Tuckeho testu na hladine významnosti 0,05.

Výsledky a diskusia

Najnižšiu produkciu sušiny dosiahli horské kosné lúky ($1,47 \pm 0,11 t \cdot ha^{-1}$), zatiaľ čo medzi nížinnými kosnými lúkami, podmäčanými lúkami a prisiatymi trávnymi porastami neboli evidované štatisticky preukazné rozdiely (Tabuľka 1). Výsledky nášho výskumu sú v súlade so štúdiou Mezule et al. (2021), ktorí uvádzajú, že úroda sušiny xerothermných trávno-bylinných porastov sa pohybuje okolo $1,00 t \cdot ha^{-1}$.

Významnejšie rozdiely medzi jednotlivými typmi trávnych porastov boli pozorované pri výťažnosti biometánu a energetickom potenciály. Prisiatie trávne porasty dosiahli preukazne ($P < 0,05$) najvyššiu výťažnosť biometánu ($12,53 \pm 0,80 GJ \cdot ha^{-1}$) a energetický potenciál ($41,60 \pm 2,98 GJ \cdot ha^{-1}$). Rozdiely v produkcii biometánu ukazujú na skutočnosť, že pri rovnakých úrodách nadzemnej fytomasy zohráva kľúčovú úlohu biochemické zloženie trávnych porastov (Heinsoo et al., 2010). V priemere boli najnižšie hodnoty V_{BM} a E_{TP} zaznamenané v Slovenskom raji na nížinných kosných lúkach. Naopak nížinné kosné lúky vo Veľkej Fatre dosiahli dvojnásobne vyššie hodnoty V_{BM} a E_{TP} v porovnaní s trávnymi porastami v Slovenskom raji. Viacfaktorová analýza ukázala, že vplyv interakcie medzi typom trávneho porastu a nadmorskej výšky na výťažnosť biometánu dosahovala hraničné hodnoty štatistickej významnosti ($F = 2,08$, $P = 0,063$).

Tab. 1. Úroda sušiny, výťažnosť biometánu a energetický potenciál nadzemnej fytomasy

Faktor	U_{NF} ($t \cdot ha^{-1}$)	V_{BM} ($GJ \cdot ha^{-1}$)	E_{TP} ($GJ \cdot ha^{-1}$)
Typ trávneho porastu			
Nížinné kosné lúky	2.04 ± 0.10^a	9.23 ± 0.46^b	34.87 ± 1.74^a
Horské kosné lúky	1.47 ± 0.10^b	6.52 ± 0.48^c	24.69 ± 1.81^b
Podmäčané lúky horských a podhorských oblastí	2.32 ± 0.18^a	10.67 ± 0.83^{ab}	39.59 ± 3.10^a
Prisiatie trávne porasty	2.36 ± 0.17^a	12.53 ± 0.80^a	41.60 ± 2.98^a
F value	10.29	16.40	11.58
P value	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Pohorie			
Veľká Fatra	2.58 ± 0.14^a	12.18 ± 0.69^a	44.39 ± 2.41^a
Nízke Tatry	2.37 ± 0.07^a	11.07 ± 0.37^a	40.62 ± 1.30^a
Slovenský raj	0.86 ± 0.20^c	3.90 ± 1.02^c	14.73 ± 3.58^c
Čergov	1.28 ± 0.08^c	5.70 ± 0.44^c	21.58 ± 1.54^c

Faktor	U _{NF} (t. ha ⁻¹)	V _{BM} (GJ. ha ⁻¹)	E _{TP} (GJ. ha ⁻¹)
Slánské vrchy	1.77 ± 0.11 ^b	8.35 ± 0.55 ^b	30.42 ± 1.94 ^b
F value	34.40	33.26	34.65
P value	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Nadmorská výška			
do 600 m n. m.	2.09 ± 0.15 ^a	10.05 ± 0.77 ^a	36.09 ± 2.75 ^a
od 600 m n. m. do 900 m n. m.	1.91 ± 0.08 ^a	8.82 ± 0.43 ^a	32.68 ± 1.55 ^a
nad 900 m n. m.	1.67 ± 0.18 ^a	7.58 ± 0.89 ^a	28.30 ± 3.17 ^a
F value	1.49	2.19	1.72
P value	0.229	0.117	0.185
Interakcie			
Trávny porast x pohorie			
F value	1.53	1.46	1.54
P value	0.176	0.201	0.174
Trávny porast x nadmorská výška			
F value	1.56	2.08	1.73
P value	0.169	0.063	0.123

Zásoba pôdneho organického uhlíka (Tabuľka 2) bola významne ovplyvnený nadmorskou výškou s najvyššími hodnotami od 600 do 900 m n. m. (70,46 ± 4,23 t/ha). Silný korelačný vzťah medzi zásobou organického uhlíka v pôde a nadmorskou výškou v dôsledku poklesu teploty a mikrobiálnej aktivity pozorovali mnohí autori, najmä v lesných ekosystémoch (Bangroo et al., 2017; Lozano-García et al., 2017; Griffiths et al., 2009). Rovnako aj drsné klimatické podmienky vo vyšších nadmorských výškach obmedzujú čistú primárnu produkciu trávnych porastov, a tým znižujú vstup uhlíka do pôdy. Djukic et al. (2010) zaznamenali pokles zásoby organického uhlíka v pôde vo vysokohorských trávnatých porastoch s nadmorskou výškou 1700 a 1900 m.

Typ trávneho porastu ovplyvnil zásobu organického uhlíka v živej rastlinnej biomase. Priemerná zásoba uhlíka v nadzemnej fytohmote bola 0,90 t. ha⁻¹ a pohybovala sa od 0,41 t. ha⁻¹ v Čergove s horskými kosnými lúkami do 1,90 t. ha⁻¹ vo Veľkej Fatre s nížinnými kosnými lúkami. Druhovo bohaté horské kosné lúky vykazovali štatisticky významne (P < 0,05) najnižšie hodnoty zásoby organického uhlíka v nadzemnej fytohmote, koreňovej hmote a v opade. Hoci zásoba organického uhlíka bola podobná vo vlhkých lúčnych porastoch a prisiatych trávnych porastoch, v dôsledku vysokej akumulácie uhlíka v koreňovej biomase zaznamenali vlhké lúky štatisticky preukázane najvyššiu zásobu uhlíka v živej biomase. Trávne porasty v Nízkych Tatrách a Veľkej Fatre akumulovali viac ako 4,60 t. ha⁻¹ organického uhlíka v živej biomase, zatiaľ čo najnižšia zásoba organického uhlíka v živej biomase bola pozorovaná v Slovenskom raji na nížinných kosných lúkach (1,54 ± 0,43 t. ha⁻¹). Celková zásoba uhlíka varíovala od 62,69 ± 3,43 t. ha⁻¹ v horských kosných lúkach do 77,20 ± 5,74 t. ha⁻¹ na podmáčaných lúkach horských a podhorských oblastí.

Tab. 2. Zásoba organického uhlíka v pôde, nadzemnej fytohmote, koreňovej biomasy, opade a celková zásoba uhlíka trávnych porastov

Typ trávneho porastu	C _{POC} (t. ha ⁻¹)	C _{NF} (t. ha ⁻¹)	C _{KB} (t. ha ⁻¹)	C _{Opad} (t. ha ⁻¹)	C _{Total} (t. ha ⁻¹)
Nížinné kosné lúky	68.68 ± 5.98 ^a	0.97 ± 0.06 ^{ab}	2.72 ± 0.16 ^{bc}	0.29 ± 0.02 ^b	72.63 ± 6.00 ^a

Typ trávneho porastu	C _{POC} (t. ha ⁻¹)	C _{NF} (t. ha ⁻¹)	C _{KB} (t. ha ⁻¹)	C _{opad} (t. ha ⁻¹)	C _{Total} (t. ha ⁻¹)
Horské kosné lúky	59.85 ± 3.49 ^a	0.79 ± 0.05 ^b	2.24 ± 0.16 ^c	0.24 ± 0.02 ^{ab}	62.69 ± 3.43 ^a
Podmáčané lúky horských a podhorských oblastí	71.04 ± 5.53 ^a	1.07 ± 0.08 ^a	4.31 ± 0.25 ^a	0.32 ± 0.02 ^a	77.20 ± 5.74 ^a
Prisiatie trávne porasty	58.58 ± 12.90 ^a	1.13 ± 0.07 ^a	3.18 ± 0.22 ^b	0.34 ± 0.02 ^a	63.14 ± 12.91 ^a
F value	0.81	5.88	19.33	6.35	1.02
P value	0.493	0.001	< 0.001	< 0.001	0.389
Pohorie					
Veľká Fatra	56.85 ± 9.14 ^a	1.22 ± 0.22 ^a	3.40 ± 0.62 ^a	0.36 ± 0.07 ^a	63.83 ± 9.04 ^a
Nízke Tatry	72.77 ± 5.62 ^a	1.12 ± 0.07 ^a	3.52 ± 0.31 ^a	0.34 ± 0.02 ^a	77.75 ± 5.65 ^a
Slovenský raj	89.69 ± 8.78 ^a	0.41 ± 0.07 ^b	1.14 ± 0.20 ^b	0.12 ± 0.02 ^b	91.35 ± 8.89 ^a
Čergov	58.45 ± 4.17 ^a	0.60 ± 0.05 ^b	1.70 ± 0.14 ^b	0.18 ± 0.02 ^b	60.93 ± 4.20 ^a
Slanské vrchy	53.29 ± 5.19 ^a	0.83 ± 0.08 ^c	2.39 ± 0.25 ^c	0.25 ± 0.03 ^c	56.77 ± 5.25 ^a
F value	2.52	34.39	29.96	34.39	2.69
P value	0.046	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.036
Nadmorská výška					
do 600 m n. m.	47.98 ± 4.88 ^b	0.98 ± 0.18 ^a	2.80 ± 0.51 ^a	0.30 ± 0.05 ^a	52.07 ± 4.86 ^b
od 600 m n. m. do 900 m n. m.	70.46 ± 4.23 ^a	0.90 ± 0.08 ^a	2.75 ± 0.30 ^a	0.27 ± 0.02 ^a	74.38 ± 4.27 ^a
nad 900 m n. m.	61.64 ± 7.04 ^a	0.79 ± 0.12 ^a	2.27 ± 0.36 ^a	0.24 ± 0.04 ^a	64.93 ± 7.11 ^a
F value	4.14	1.49	1.18	1.49	4.06
P value	0.018	0.229	0.309	0.229	0.020

Podľa údajov programov starostlivosti o chránené územia (MŽP SR), výmera trvalých trávnych porastov v hodnotených pohoriach dosahuje 33 560 ha a celková zásoba organického uhlíka v nich predstavuje 2 120 x 10³ ton, pričom až 94 % organického uhlíka sa nachádza v pôde. Vypočítaná produkcia biometánu sa pohybovala od 6 606 GJ v Slovenskom raji s nížinnými kosnými lúkami do 122 888 GJ v Nízkych Tatrách, ktoré mali najväčšiu plochu trávnatých porastov (Tabuľka 3). Teoretický energetický potenciál presiahol 1 139 GJ.

Tab. 3. Celková zásoba organického uhlíka, teoretická produkcia biometánu a teoretický energetický potenciál trávnych porastov v západných Karpatoch

Pohorie	Výmera TTP (ha)	Celková zásoba organického uhlíka (t)	Teoretická produkcia biometánu (GJ)	Teoretický energetický potenciál (GJ)
Veľká Fatra	6 130	379 017	74 663	272 110
Nízke Tatry	11 101	863 102	122 888	450 922
Slovenský raj	1 694	154 763	6 606	24 952
Čergov	6 148	374 597	35 043	132 673
Slanské vrchy	8 493	482 147	70 916	258 357
Suma	33 560	2 253 626	310 116	1 139 014

Záver

Výsledky našej štúdie môžu byť zdrojom aktuálnych informácií o teoretickom energetickom potenciály a kapacite horských lúčnych ekosystémov sekvestrovať uhlík pre tvorcov

environmentálnej a poľnohospodárskej politiky. Zatiaľ čo teoretické odhady môžu naznačovať značný energetický potenciál, praktická implementácia si bude vyžadovať starostlivé zváženie environmentálnej udržateľnosti, ochrany biodiverzity a technickej uskutočniteľnosti.

Podakovanie

Tento príspevok bol financovaný EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č.19R01-18-P01-00001.

Literatúra

- BANGROO, S. A. et al. 2017. Effect of altitude and aspect on soil organic carbon and nitrogen stocks in the Himalayan Mawer Forest Range. In *Catena*, vol. 158, pp. 63-68. DOI: 10.1016/j.catena.2017.06.017
- BARANČIKOVÁ G, et al.. 2012. Simulation of soil organic carbon changes in Slovak arable land and their environmental aspects. In *Soil & Water Res.*, vol. 7, pp. 45-51. DOI: 10.17221/38/2011-SWR.
- DJUKIC, I. et al. 2010. Soil organic-matter stocks and characteristics along an Alpine elevation gradient. In *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, vol. 9, pp. 30-38. DOI: 10.1002/jpln.200900027
- EK, 2023. Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/2413 z 18. októbra 2023, ktorou sa mení smernica (EÚ) 2018/2001, nariadenie (EÚ) 2018/1999 a smernica 98/70/ES, pokiaľ ide o podporu energie z obnoviteľných zdrojov, a ktorou sa zrušuje smernica Rady (EÚ) 2015/652. Dostupné na: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2019. Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Dostupné na : <https://www.ipcc.ch/srccl/download/>
- GRIFFITHS, R. P., et al. 2009. The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. In *Forest Ecology and Management*, vol. 257, pp. 1-7. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.08.010
- HEINSOO, K. et al. 2010. The potential of Estonian semi-natural grasslands for bioenergy production. In *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 137, pp. 86-92. DOI: 10.1016/j.agee.2010.01.003
- LOZANO-GARCÍA, B. et al. 2016. Impact of topographic aspect and vegetation (native and reforested areas) on soil organic carbon and nitrogen budgets in Mediterranean natural areas. In *Science of the Total Environment*, vol. 544, pp. 963-970. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.022
- MESERSZMIT, M. et al. 2019. The effect of harvest date and the chemical characteristics of biomass from Molinia meadows on methane yield. In *Biomass and Bioenergy*, vol. 130, 105391. DOI: 10.1016/j.biombioe.2019.105391
- MAJLINGOVÁ, A. et al. 2020. Energy potential of biomass. *Green Energy and Environment*, 115. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.91847.
- MEZULE, L. et al. 2021. Natural Grasslands as Lignocellulosic Biofuel Resources: Factors Affecting Fermentable Sugar Production. In *Energies* vol. 14, 1312. DOI: [10.3390/en14051312](https://doi.org/10.3390/en14051312)
- MPRV SR, 2024. Zelená správa. Správa o poľnohospodárstve a potravinárstve v Slovenskej republike za rok 2023. Bratislava : MPRV SR. 230s. ISBN 978-80-89738-43-4
- MPRV SR, 2016. Vyhláška MP SR z 21. marca 2016 Z. z. č. 151/2016, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o agrochemickom skúšaní pôd a o skladovaní a používaní hnojív.
- PERRY, R. H. - CHILTON, C. H. 1973. *Chemical Engineers' Handbook*. McGraw-Hill, New York.
- PROCHNOW, A. et al. 2009. Bioenergy from permanent grasslands—a review. 1. Biogas. In *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 4931–4944. DOI: [10.1016/j.biortech.2009.05.070](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.070)
- SAŽP. 2002-2024. Atlas krajiny Slovenskej republiky. Dostupné na: <https://app.sazp.sk/atlassr/>
- MŽP SR. Programy starostlivosti o CHVÚ. Dostupné na : <https://www.minzp.sk/natura2000/chrane-vtacie-uzemia/programy-starostlivosti-chvu.html>
- TÓTH, Š. et al. 2023. Impact of soil-applied humic ameliorative amendment on the ligno-cellulose quality and calorific value of switchgrass *Panicum virgatum* L. In *Agronomy*, 13, 1854. DOI: 10.3390/agronomy13071854
- VAN MEERBEEK, K. et al. 2015. Energy potential for combustion and anaerobic digestion of biomass from low-input high-diversity systems in conservation areas. In *Global Change Bioenergy*, vol. 7, pp. 888-898. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12208>

Kontaktné adresy autorov

Ing. Miriam Kizeková, PhD., Ing. Norbert Britaňák, PhD., Ing. Jozef Čunderlík, PhD., RNDr. Ľubomír Hanzes, PhD., RNDr. Štefan Pollák, Ing. Vladimíra Vargová, PhD., Ing. Ľubica Jančová, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Mládežnícka 36, 974 05 Banská Bystrica. Slovensko. E-mail: miriam.kizekova@nppc.sk, norbert.britanak@nppc.sk, jozef.cunderlik@nppc.sk, lubomir.hanzes@nppc.sk, stefan.pollak@nppc.sk, vladimira.vargova@nppc.sk. Doc. Ing. Radoslava Kanianska, CSc., Katedra biológie a environmentálnych štúdií,

Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica. E-mail: radoslava.kanianska@umb.sk

STANOVENIE SULFÁNU V TRÁVNÝCH EKOSYSTÉMOCH SLOVENSKA

DETERMINATION OF HYDROGEN SULFIDE IN GRASSLAND ECOSYSTEMS OF SLOVAKIA

Štefan Pollák, Mariana Jančová, Zuzana Dugátová

Abstract: This study presents preliminary results of measuring hydrogen sulphide (H_2S) emissions in three grasslands in Slovakia with different management practices. On mown grasslands in the Liptovská Teplička site, the highest hydrogen sulphide value (8 ppm) was recorded in a clover-grass mixture without mineral fertilization (variant 1) during the first measuring period. Higher H_2S values across the monitored grasslands were recorded during the second measuring period. In the grazed sites of Brusno and Dolná Lehota, elevated emission levels were observed in the variants where clover-grass mixtures were over seeded into the pasture during the measuring growing season. During the third monitoring term, a significant decrease in hydrogen sulphide values was recorded at both locations in the over seeded variants ($r = -0.65^{++}$), which we associate with canopy closure following the disturbance caused by overseeding. In contrast to the sown stands in Liptovská Teplička, the grazed grasslands in both monitored sites (Brusno and Dolná Lehota) showed an influence of ambient temperature ($r = 0.82^{++}$) and air humidity ($r = -0.73^{++}$) on the amount of hydrogen sulphide emissions. Higher hydrogen sulphide emissions ($r = 0.35^{++}$) were characteristic of sown clover-grass mixtures and alfalfa on arable land managed by mowing, in comparison to grazed grasslands.

Keywords: hydrogen sulfide, emissions, clover grass mix, alfalfa, grasslands, grazing, mowing

Úvod

Trávne porasty zaradujeme medzi najkomplexnejšie ekosystémy a sú dôležitým prvkom ekologickej stability krajiny (Novák, 2009). V poslednom období však produkciu, kvalitu aj druhovú bohatosť ekosystémov trávnych porastov ovplyvňuje klimatická zmena (Brookshire a Weaver, 2015; Vargová a kol., 2021). Trávne porasty slúžia ako jeden z dôležitých zásobníkov uhlíka v suchozemských ekosystémoch, kde sa ukladá asi jedna tretina globálneho uhlíka (Breymer a Melillo, 1991, Xu et al., 2018). Ekosystém trávnych porastov hrá dôležitú úlohu pri znižovaní koncentrácií skleníkových plynov v atmosfére a zmierňovaní globálneho otepľovania (O'Mara, 2012, Gang et al., 2016).

Význam trvalých trávnych porastov z hľadiska absorpcie a dynamiky emisií je značný. Slovenská republika sa prihlásila k rámcovému dohovoru OSN o zmene klímy (UNFCCC) a zaviazala sa monitorovať a reportovať každoročne emisie skleníkových plynov produkované v rôznych sektoroch SR. Povinnosť vykazovať emisie z využívania krajiny vyplýva aj z „Rozhodnutia Európskeho parlamentu a Rady EÚ č. 529/2013 o pravidlách započítavania a akčných plánoch pre emisie a absorpcie skleníkových plynov vyplývajúce z činností súvisiacich s využitím pôdy, so zmenami vo využívaní pôdy a lesným hospodárstvom“, na základe ktorého je Slovenská republika povinná evidovať emisie z poľnohospodárskej výroby. V súčasnosti je platný legislatívny stav na základe Nariadenia EP a Rady (EÚ) 2018/1999 z 11. decembra 2018 o riadení energetickej únie a opatrení v oblasti klímy. Súčasťou agendy UNFCCC je sektor využitia krajiny - LULUCF. Tento sektor zahŕňa všetky skleníkové plyny (CO_2 , CH_4 a N_2O) a základné znečisťujúce látky z lesných požiarov (NO_x a CO). Jednotlivé inventáre kategórií LULUCF sú prepojené so všetkými relevantnými procesmi, ktoré súvisia s piatimi zásobami uhlíka (živá biomasa – nad zemou a pod zemou, mŕtva organická hmota – mŕtve drevo a opad,

uhlík v pôde). Dôležité sú časové zmeny reprezentatívnych typov kategórií využitia pôdy. Procesy spojené s využívaním pôdy a zmenami vo využívaní pôdy väčšinou súvisia s bilanciou CO₂ (IPCC 2006 GL).

Sulfán (H₂S) nie je podľa IPCC skleníkový plyn. No hoci nie je priamo považovaný za skleníkový plyn, môže prispieť k environmentálnym problémom súvisiacim so zmenou klímy. Sulfán nezachytáva teplo v atmosfére ako skleníkové plyny, môže sa však oxidovať v atmosfére za vzniku oxidu siričitého (SO₂). Niektoré štúdie naznačujú jeho spojitosť s výskytom metánu, prípadne so zvýšenou produkciou CO₂. H₂S je prirodzene sa vyskytujúci plyn produkovaný rozkladom organickej hmoty, sopečnou aktivitou a určitými baktériami. V poslednom období rastie jeho obsah aj z ľudských aktivít, ako je produkcia ropy a plynu, čistenie odpadových vôd a priemyselné procesy. Niektoré výskumy naznačujú, že zvýšené hladiny H₂S môžu súvisieť s vplyvom na zmenu podnebia, ako je okyslenie oceánov a topenie permafrostu, ktoré môžu uvoľňovať zachytené zásoby sulfánu. Problematické sú teda hlavne zdroje a miesta vzniku sulfánu, pretože je naviazaný na iné skleníkové plyny a potenciálne môže zosilňovať ich kumulatívny účinok. Preto poznanie o výskyte, vzniku a dynamike sulfánu nám môže bližšie objasniť procesy spojené so skleníkovými plynmi.

Cieľom práce bolo porovnať emisie sulfánu (H₂S) na trávnych ekosystémoch s rôznym spôsobom využívania v troch lokalitách na Slovensku a identifikovať vplyv manažmentu a vybraných klimatických faktorov na úroveň týchto emisií počas vegetačného obdobia.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Trávnaté ekosystémy zohrávajú zásadnú úlohu v regulácii klímy prostredníctvom ukladania uhlíka (C) v rastlinách a pôde. Hoci vplyv antropogénnych aktivít na čisté toky skleníkových plynov (GHG) v trávnatých ekosystémoch bol skúmaný na lokálnej až regionálnej úrovni, odhady čistej bilancie GHG na globálnej úrovni zostávajú neisté. Pomocou rámca dátového modelu integrujúceho empirické odhady emisií CH₄ z hospodárskych zvierat s odhadmi tokov CO₂, N₂O a CH₄ v pôde založenými na procesnom modelovaní skúmali Dangal et al. (2020) celkový potenciál globálneho otepľovania (GWP) trávnatých ekosystémov v rokoch 1961 – 2010. Následne kvantifikovali variácie špecifické pre trávnaté porasty a regionálne variácie, aby identifikovali významné miesta tokov GHG. Výsledky ukazujú, že v priebehu 100-ročného časového horizontu ekosystémy trávnatých porastov sekvestrovali kumulatívne celkovo 113,9 Pg CO₂-ekv. v rastlinách a pôde, ale potom uvoľnili do atmosféry 91,9 Pg CO₂-ekv., čím kompenzovali 81 % čistého zachytávania CO₂. Autori zistili aj veľké rozdiely v čistých tokoch skleníkových plynov špecifické pre trávnaté porasty, pričom pasienky pôsobili ako malý zdroj skleníkových plynov s objemom $1,52 \pm 143$ Tg CO₂ ekv. rok⁻¹ (priemer $\pm 1,0$ štandardná odchýlka) a ako silný zachytávač skleníkových plynov (-442 ± 266 Tg CO₂ ekv. rok⁻¹) v rokoch 1961 – 2010.

Z regionálneho hľadiska Európa pôsobila ako zdroj skleníkových plynov s objemom 23 ± 10 Tg CO₂ ekv. rok⁻¹, zatiaľ čo iné regióny (Afrika, južná Ázia) boli v rokoch 2001 – 2010 silnými zachytávačmi skleníkových plynov (Dangal et al., 2020). Emisie H₂S a SO₂ sa výrazne zvýšili v dôsledku zmeny využívania pôdy. Za narušených podmienok súvisiacich s vykopávaním a rozptyľovaním lesnej pôdy sa súčasne pozorovali vysoké emisie H₂S a SO₂ nad lesným porastom, ktoré dosiahli $5,78 \pm 0,16$ ppb a $1,60 \pm 0,87$ g S m⁻² rok⁻¹. To naznačuje, že zmena využívania pôdy v subtropických lesoch by mohla viesť k uvoľňovaniu dlhodobu viazanej síry z podložia do atmosféry vo forme H₂S a SO₂ (Ke et al., 2022).

Emisia H₂S z mokradového ekosystému, typickej lúčnej mokrade *Calamagrostis angustifolia* v nížine Sanjiang v severovýchodnej Číne do atmosféry bola 1,83 mgS/(m².a), zatiaľ čo karbonylsulfid (COS) z atmosféry bol absorbovaný v množstve 1,76 mgS/(m². a). Príjem síry zrážkami do ekosystému počas vegetačného obdobia bol 4,85 mgS/m². Rozdiel medzi zachytom a výstupom bol 4,78 mgS/m², čo naznačuje, že siera sa v ekosystéme akumulovala a

v budúcnosti môže spôsobiť okyslenie mokradí (Jingshuang a Xinhua, 2008). Tieto zistenia naznačujú, že mikrobiálny SO_4^{2-} by mohol pôsobiť pri rozpúšťaní a mineralizácii organominerálov viazaných na H_2S , čo by potenciálne viedlo k vzniku anorganického uhlíka v pôde (SIC) alebo DIC (rozpustného anorganického uhlíka), čo by spôsobilo buď ich následnú sekvestráciu ako uhličitánových minerálov, alebo ich export a emisie ako DIC a CO_2 .

Plynné emisie pre chov kráv s viazaným ustajnením stanovili Maasikmets et al. (2015) na hodnote $5,34 \pm 0,47 \text{ kg } [\text{NH}_3] \text{ r}^{-1} \text{ AU}^{-1}$ a $19,36 \pm 4,39 \text{ g } [\text{H}_2\text{S}] \text{ r}^{-1} \text{ AU}^{-1}$. Emisie pre chov kráv s voľným ustajnením $6,50 \pm 4,01 \text{ kg } [\text{NH}_3] \text{ r}^{-1} \text{ AU}^{-1}$, $51,34 \pm 30,34 \text{ g } [\text{H}_2\text{S}] \text{ r}^{-1} \text{ AU}^{-1}$. Následné využitie hmoty s obsahom síry ako je použitý kompost z húb (SMC), ktorý je vedľajší produkt hubárskeho priemyslu sa môže používať ako poľnohospodárske hnojivo. V Európe sa skladovanie a používanie SMC riadi smernicou EÚ o dusičnanoch 91/676/EHS na ochranu vodných ciest pred znečistením dusičnanmi. Velusami et al. (2013) monitorovali emisie H_2S na dvoch vonkajších a dvoch vnútorných pokusných miestach, kde sa uskladnený SMC aplikoval na pôdu. Na všetkých miestach bol zistený opakujúci sa vzorec maxima a minima emisií H_2S , pričom vrcholy zodpovedali obdobiam aktívneho narušenia SMC. Najvyššie koncentrácie H_2S (priemerné za 10 s) zistené na čelnej strane SMC boli 680 a 2083 ppm na vonkajších miestach a 687 a 89 ppm na vnútorných miestach. Zo staršieho SMC sa uvoľňovali vyššie koncentrácie H_2S v porovnaní s novším materiálom.

Parker a Walton (2023) zaznamenali vzájomnú koreláciu v produkcii CH_4 a H_2S v splaškových vodách a viacerí autori predpokladajú výskyt alebo ovplyvňovanie iných skleníkových plynov prostredníctvom sulfánu.

Materiál a metodika

Prvý experiment bol založený v horskej výrobnjej oblasti Slovenska, v katastri obce Liptovská Teplička, v nadmorskej výške 960 m n. m. Dlhodobý priemer zrážok za rok je 950 mm, počas vegetačného obdobia 525 mm. Dlhodobý priemer denných teplôt za rok $3,5^\circ\text{C}$, za vegetačné obdobie $9,5^\circ\text{C}$. Agroklmatická makrooblasť je chladná, agroklmatická oblasť mierne chladná. Výrobná oblasť horská, svahovitost' lokality $5,88^\circ$. Stanovište je na ornej pôde, piesočnatohlinitej. S pôdnym typom rendzina typická vyvinutá na karbonátových horninách. Experiment pozostával z troch d'atelinotravných miešaniek, pri pestovaní ktorých sa neaplikovala minerálna výživa (var. 1, 3, 5) a z ďalších troch d'atelinotravných miešaniek takého istého zloženia, ktorým sa minerálna výživa aplikovala (var. 2, 4, 6). Do experimentu boli zahrnuté aj porasty lucerny sietej s aplikovanou minerálnou výživou aj bez nej a kontrola - nehnojený prírodný trávny porast (65 % tráv, 8 % d'atelinovín, 27 % bylín). Výsevok d'atelinovínotravných miešaniek a pomer komponentov uvádza tabuľka 1. Pred sejbou sa na variantoch 2, 4, 6 do pôdy zapravili minerálne hnojivá v dávke 30 kg N.ha^{-1} , 30 kg P.ha^{-1} a 45 kg K.ha^{-1} . V úžitkových rokoch tieto varianty dusíkom hnojené neboli, ale každý rok na jar sa aplikovali 30 kg P.ha^{-1} a 45 kg K.ha^{-1} . Porasty sa počas roka využívali 3x kosbou, pričom meranie sulfánu sa uskutočnilo v termíne druhej (29.7.2024) a tretej kosby (24.9.2024).

Tabuľka č. 1. Výsevky a podiely komponentov d'atelinotravných miešaniek

Var.	Zloženie	Výsevok (kg.ha^{-1})
1.	Tráva/Ďatelina	15,6/10,4
2.	Tráva/Ďatelina	15,6/10,4
3.	Trávy/Ďatelina	15/13
4.	Trávy/Ďatelina	15/13
5.	Trávy/Ďateliny	20/16
6.	Trávy/Ďateliny	20/16

Druhý experiment bol založený na pasienkových plochách pre ovce RD Hron Slovenská Ľupča v Brusne a Ovčiarskeho družstva v Dolnej Lehote. V pokuse bol sledovaný pôvodný pasienkový porast (varianty 1.1, 1.2) a pasienkový porast s prísevom (varianty 2.1, 2.2) ďatelinotrávnej miešanky (trávy 28 kg.ha⁻¹, ďatelinoviny 7 kg.ha⁻¹). Porasty boli počas pasienkovej sezóny využívané v 4 - 6 pasienkových cykloch. Meranie emisií H₂S sa uskutočnilo v termíne štvrtého (25.7.2024), piateho (27.8.2024) a šiesteho (8.10.2024) pasienkového cyklu. Pri hodnotených variantoch trávnych porastov na všetkých lokalitách bola sledovaná teplota (°C), relatívna vlhkosť (%) a obsah sírovodíka (ppm) počas opakovaného 120 sekundového kontinuálneho merania prístrojom GA 5000 od firmy Geotech. Pre vyhodnotenie získaných výsledkov sa použila metóda korelačnej analýzy (Pearsonov korelačný koeficient), regresnej analýzy (lineárna regresia) a analýzy variancie ANOVA prostredníctvom Tukeyovho testu na hladine významnosti 0,05.

Potenciál globálneho otepľovania (GWP) je kľúčový koncept pri pochopení vplyvu skleníkových plynov na klimatické zmeny našej planéty. Koncept potenciálu globálneho otepľovania bol vyvinutý na porovnanie schopnosti skleníkových plynov zachytávať teplo vo vzťahu k iným plynom. GWP plynu predstavuje relatívnu mieru, pričom oxid uhličitý je referenčný plyn s GWP 1. Sírovodík nemá oficiálne stanovenú hodnotu GWP medzivládny panelom o zmene klímy (IPCC). Vo vedeckej práci bola publikovaná hodnota GWP pre sulfán 22,8 (Gwanggon, 2015).

Výsledky a diskusia

Síra analogicky ako aj dusík a fosfor podlieha asimilácii za vzniku organických síru obsahujúcich produktov, ktoré plnia významnú a nezastupiteľnú funkciu v rastlinnom organizme. Obsah síry v pôde je od 0,01 do 0,5 %, pričom organické zlúčeniny sú zastúpené 80 - 90 % podielom a na anorganické zlúčeniny soli síry s Ca, K, Mg a Na pripadá okolo 10 - 20 % z celkového obsahu síry. Obsah síry v rastlinách kolíše od 0,07 do 0,54 %, optimálny obsah je okolo 0,16 - 0,30 %. Rastliny prijímajú síru vo forme sulfátového iónu SO₄²⁻ z pôdy a čiastočne z atmosféry vo forme SO₂. Sulfán (H₂S) vzniká v pôde mikrobiologickou premenou síranov pri nedostatku kyslíka alebo rozkladom organického materiálu.

Pri meraní v prvom experimente 29.7.2024 (tabuľka 2) sa zaznamenal sírovodík vo všetkých šiestich hodnotených variantoch ďatelinotravných miešaniek, najvýraznejšie vo variante 1 s hodnotou 8 ppm. V lucernových (nekosený/kosený) variantoch sme zaznamenali zvýšené hodnoty H₂S na úrovni 4 ppm, vyššia hodnota sulfánu (5 ppm) bola zistená na prírodnej lúke. V druhom meraní uskutočnenom dňa 24.9.2024 (tabuľka 2) sme rovnako zaznamenali sírovodík vo všetkých šiestich hodnotených variantoch, najvýraznejšie v 6. variante ďatelinotrávnej miešanky s hodnotou 5 ppm. V lucernových variantoch sme rovnako zaznamenali hodnoty H₂S na úrovni 5 ppm. Najvyššiu hodnotu 6 ppm sme stanovili na prírodnej lúke. Vplyv parametrov teploty (r = 0,03⁻) ani vlhkosti vzduchu (r = - 0,07⁻) na hodnoty H₂S sa nepotvrdil.

Tabuľka č. 2. Hodnoty sledovaných parametrov v lokalite Liptovská Teplička

Dátum merania	Parameter	Variant						Lucerna		Prírodná lúka
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	nekosená	pokosená	
29.7.2024	teplota (°C)	24,0	24,8	25,5	26,8	26,7	26,5	29,3	29,1	29,3
	vlhkosť (%)	33,9	31,1	32,3	33,8	35,3	30,8	39,5	27,3	28,8
	H ₂ S (ppm)	8	1	1	2	3	3	4	4	5
24.9.2024	teplota (°C)	32,4	27,0	30,5	27,9	28,8	29,7	29,0	24,5	30,6
	vlhkosť (%)	24,9	24,9	28,1	24,6	26,0	27,0	29,2	24,7	22,5
	H ₂ S (ppm)	2	3	4	3	2	5	5	5	6

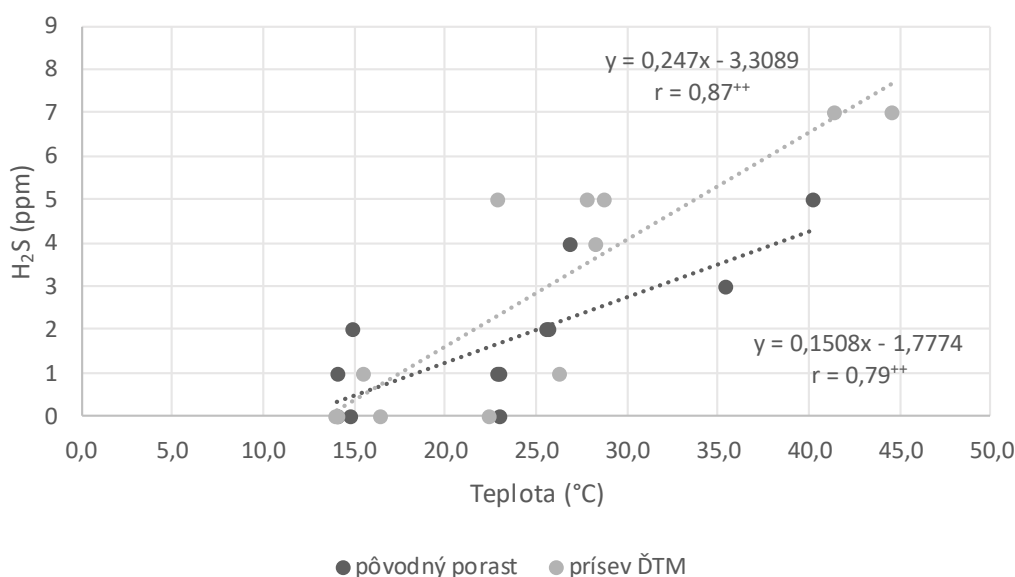
V druhom experimente na lokalite Brusno sme v termíne 25.7.2024 namerali sulfán vo všetkých variantoch. Na lokalite Dolná Lehota sme v prvom termíne merania zaznamenali nižšie hodnoty sulfánu na pôvodných aj prisievajúcich plochách oproti sledovaným porastom v Brusne. Vyššie hodnoty sme zaznamenali na ploche pasienka s prísevom (tabuľka 3). Pri druhom meraní (27.8.2024) boli zaznamenané zvýšené hodnoty sulfánu oproti prvému aj tretiemu meraniu vo všetkých variantoch na oboch lokalitách. Rovnako ako v termíne prvého merania sa vyššie hodnoty sulfánu zaznamenali vo variantoch s prísevom d'atelinotrávnej miešanky do pasienkového porastu. Pri treťom meraní (8.10.2024) sme zaznamenali výrazný pokles hodnôt sulfánu na oboch lokalitách vo variantoch s prísevom ($r = -0,65^{++}$), čo dávame do súvisu so zapojením porastu po narušení prísevom.

Tabuľka č. 3. Hodnoty sledovaných parametrov na spásaných porastoch

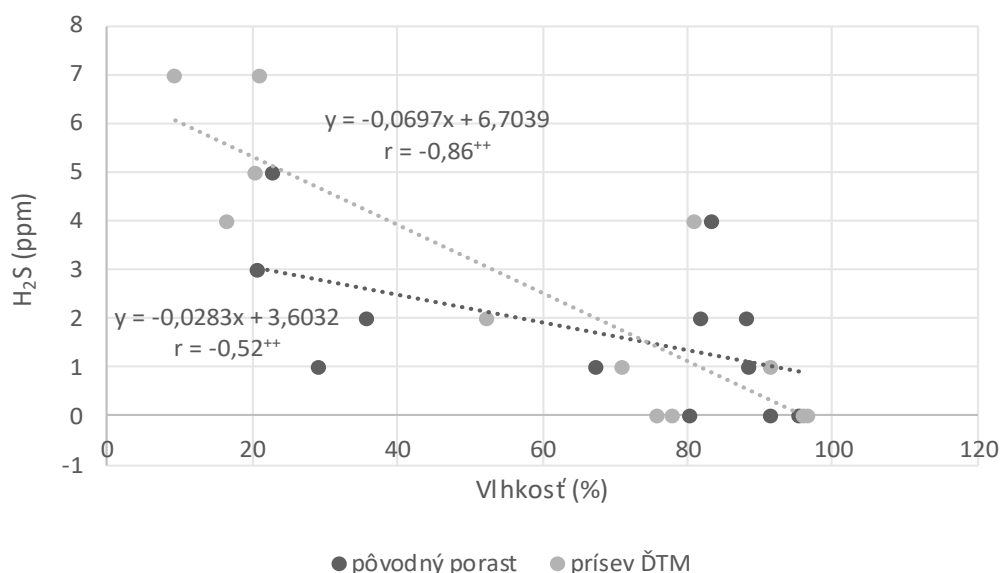
Dátum merania	Lokalita	Parameter	Variant			
			1.1	1.2	2.1	2.2
25.7.2024	Brusno	teplota (°C)	23,0	25,7	22,9	28,3
		vlhkosť (%)	29,1	35,8	20,5	16,5
		H ₂ S (ppm)	1	2	5	4
	Dolná Lehota	teplota (°C)	23,0	22,9	26,3	22,4
		vlhkosť (%)	80,3	67,4	77,9	71,0
		H ₂ S (ppm)	0	1	1	0
27.8.2024	Brusno	teplota (°C)	35,4	40,3	41,4	44,6
		vlhkosť (%)	20,8	22,8	21,1	9,3
		H ₂ S (ppm)	3	5	7	7
	Dolná Lehota	teplota (°C)	25,6	26,9	27,8	28,7
		vlhkosť (%)	81,8	83,2	52,4	81,0
		H ₂ S (ppm)	2	4	5	5
8.10.2024	Brusno	teplota (°C)	14,87	14,1	15,5	16,5
		vlhkosť (%)	88,2	88,6	91,6	75,7
		H ₂ S (ppm)	2	1	1	0
	Dolná Lehota	teplota (°C)	14,8	14,1	14,1	14,0
		vlhkosť (%)	91,5	95,5	96,6	96,0
		H ₂ S (ppm)	0	0	0	0

Oproti porastom v Liptovskej Tepličke sme na pasienkových porastoch v oboch sledovaných lokalitách (Brusno, Dolná Lehota) zaznamenali vplyv teploty prostredia (graf 1) a vlhkosti vzduchu (graf 2) na množstvo emisií sulfánu. Rozdiely medzi pôvodnými pasienkovými porastmi a porastmi zlepšenými prísevom d'atelinotrávnej miešanky neboli štatisticky významné. Vplyv obhospodarovania a využívania trávnych porastov sa potvrdil aj pri porovnaní manažmentu pasienka a kosenia trávnych porastov. Vyššími emisiami sulfánu ($r = 0,35^{++}$) sa charakterizovali siate porasty na ornej pôde využívané kosením, oproti spásaným trávnych porastom.

Graf 1. Vplyv teploty vzduchu a obhospodarovania na emisie H_2S z pasienkov



Graf 2. Vplyv vlhkosti vzduchu a obhospodarovania na emisie H_2S z pasienkov



Záver

Aj keď doteraz sa nevenovala primeraná pozornosť sledovaniu zdrojov vzniku, dynamike, obsahu a kolobehu sírovodíka v pôde, zaslúži si našu pozornosť. Výsledky realizovaného merania potvrdzujú vplyv spôsobu obhospodarovania a využívania trávnych porastov na úroveň emisií sulfánu (H_2S) v podmienkach Slovenska. Vyššie hodnoty emisií boli zaznamenané na siatych porastoch s kosným spôsobom využívania. Na lokalitách s extenzívnejším hospodárením boli emisie sulfánu nižšie. Pri pasienkoch s prísevom, boli v priebehu vegetačnej sezóny zaznamenané zvýšené hodnoty emisií, avšak v treťom termíne merania došlo k významnému poklesu ($r = -0,65^{++}$), pravdepodobne v dôsledku stabilizácie a zapojenia porastu po príseve. Zatiaľ čo na siatych porastoch (Liptovská Teplička) nebol zaznamenaný vplyv mikroklimatických podmienok, na pasienkových lokalitách Brusno a Dolná Lehota sa vplyv teploty vzduchu ($r = 0,82^{++}$) a relatívnej vlhkosti vzduchu ($r = -0,73^{++}$) na intenzitu emisií sulfánu zaznamenal. Tieto zistenia poukazujú na vyššiu citlivosť

ekosystémov pasienkových porastov na environmentálne podmienky v porovnaní so siatymi porastmi.

Z výsledkov vyplýva, že typ manažmentu trávnych porastov, a tiež aplikované agrotechnické zásahy majú vplyv na emisie sulfánu, a teda aj na možné ovplyvňovanie pôdneho prostredia, stability trávnych ekosystémov a kvality ovzdušia. Z tohto dôvodu je žiaduce tieto aspekty zohľadniť pri navrhovaní udržateľných foriem hospodárenia na trávnych porastoch v kontexte ochrany životného prostredia. Pri zohľadnení smerníc EÚ, ktorá kladie dôraz aj na klimatickú zmenu sú poznatky o kolobehu a podpore zvýšeného viazania rôznych skleníkových zlúčenín kľúčové.

Podakovanie

Tento príspevok bol spracovaný vďaka podpore ÚOP „Plnenie činností v oblasti sledovania a inventarizácie emisií z trvalých trávnych porastov a vzniknutých zmien v tvorbe a absorpcii emisií pri zmene využívania plôch trvalých trávnych porastov na základe požiadaviek MPRV SR“, financovanej z kontraktu 1131/2024/MPRVSR–930.

Literatúra

- Breymeyer, A., Melillo, J. M. 1991. The effects of climate change on production and decomposition in coniferous forests and grasslands Ecol. Appl.: a Publ. Ecol. Soc. Am., 1 (2) (1991), p. 111, 10.2307/1941804
- Brookshire, E., Weaver, T. 2015. Long-term decline in grassland productivity driven by increasing dryness. Nature Communications 6, 7148 DOI: 10.1038/ncomms8148.
- Dangal, S. R., Tian, H., Pan, S., Zhang, L., & Xu, R. 2020. Greenhouse gas balance in global pasturelands and rangelands. Environmental Research Letters, 15(10), 104006. DOI 10.1088/1748-9326/abaa79
- Gang, C., Wang, Z., Zhou, W., Chen, Y., Li, J., Chen, J., ... & Groisman, P. Y. (2016). Assessing the spatiotemporal dynamic of global grassland water use efficiency in response to climate change from 2000 to 2013. Journal of Agronomy and Crop Science, 202(5), 343-354.
- IPCC 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia I., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.), Published: IGES, Japan.
- Jingshuang, L. I. U., & Xinhua, L. 2008. Sulfur cycle in the typical meadow Calamagrostis angustifolia wetland ecosystem in the Sanjiang Plain, Northeast China. Journal of Environmental Sciences, 20(4), 470-475. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62081-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62081-1)
- Jo Gwanggon, Amin Kalantarifard, Jang Jihoon, Byeon Eunsong, Jang yuna, Yang Gosu. 2015. The effects of malodorous substances from Municipal Solid Waste (MSW) to Climate-Change as Greenhouse-Gas: Calculating GWP of Hydrogen Sulfide. *The 26th Annual Conference of JSMCWM*, 2015
- Ke, P., Yu, Q., Ge, X., Wu, W., Kang, R., Zhao, B., & Duan, L. (2022). Fluxes of H₂S and SO₂ above a subtropical forest under natural and disturbed conditions induced by temporal land-use change. Science of the Total Environment, 811, 152084. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152084>
- Maasikmets, M., Teinemaa, E., Kaasik, A., & Kimmel, V. 2015. Measurement and analysis of ammonia, hydrogen sulphide and odour emissions from the cattle farming in Estonia. Biosystems engineering, 139, 48-59.
- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/1999 z 11. decembra 2018 o riadení energetickej únie a opatrení v oblasti klímy. Dostupné na: ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2018/1999/oj>, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:32018R1999>
- Novák, J. *Trávne porasty po odlesnení a samozalesnení*. 1. vydanie. Brno: Tribun EU s.r.o., 2009, 165 s. ISBN: 978 - 80 - 7399 - 898 – 1. doi: 10.13031/jash.19.10351
- O'Mara, F. P. (2012). The role of grasslands in food security and climate change. Annals of botany, 110(6), 1263-1270. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.08.002>
- Parker, W. J., & Walton, J. R. (2023). “A literature-based comparison of embodied GHG emissions of forced main sewer additives with potential reductions in methane generation.” Water Practice & Technology, Vol 18 No 12, 3387.
- Vargová V., Kováčiková, Z. 2021. *Diferencovaná výživa trávnych porastov: Metodická príručka*, Banská Bystrica, 2021, ISBN 978-80-89800-18-6. 56 s.
- Velusami, B., Curran, T. P., & Grogan, H. M. 2013. Hydrogen sulfide gas emissions during disturbance and removal of stored spent mushroom compost. Journal of agricultural safety and health, 19(4), 261-275.
- Vozár, E., Kovár, P. 2015. dostupné online: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-vozar.pdf
- Xu, Z., Li, M. H., Zimmermann, N. E., Li, S. P., Li, H., Ren, H., ... & Jiang, L. (2018). Plant functional diversity modulates global environmental change effects on grassland productivity. Journal of Ecology, 106(5), 1941-1951.

Kontaktná adresa autorov:

RNDr. Štefan Pollák, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum - Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Banská Bystrica, Mládežnícka 36, Banská Bystrica, 974 32, e-mail: stefan.pollak@nppc.sk

Ing. Mariana Jančová, PhD., Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum - Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Banská Bystrica, Mládežnícka 36, Banská Bystrica, 974 32, e-mail: mariana.jancova@nppc.sk

Ing. Zuzana Dugátová, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum - Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Banská Bystrica, Mládežnícka 36, Banská Bystrica, 974 32, e-mail: zazana.dugatova@nppc.sk

VPLYV DIGESTÁTU NA PÔDNE VLASTNOSTI A PRODUKCIU FYTOMASY MIEŠANIEK

EFFECT OF DIGESTATE ON SOIL PROPERTIES AND PRODUCTION OF PHYTOMASS OF CLOVER-GRASS MIXTURES

Vladimíra Vargová

Abstract: The aim of the study was to assess the impact of digestate fertilization on soil properties and dry matter yield of clover-grass mixtures. The experiment, conducted in the Zvolenská basin, tested digestate at 45 and 90 kg N/ha. Digestate application significantly influenced soil organic carbon, phosphorus content, and the C:N ratio. The highest dry matter yield (7.50 t/ha) was recorded in a meadow mixture for humid conditions. The fertilization at the 90 kg N/ha dose increased dry matter production by an average of 25.1 %. The original unfertilized grass stand yielded the lowest production and soil quality indicators. The findings support digestate's role as an effective substitute for conventional organic fertilizers.

Keywords: fertilization, digestate, dry matter, clover-grass mixtures, soil reaction

Úvod

Trávne porasty primárne zabezpečujú krm, živiny. Ich sekundárna funkcia je biodiverzita rastlín a zvierat, ktorá je dôležitá pre udržanie kolobehu živín, vody, energie a funkčnosť ekosystému (Skládanka et al., 2014). V dôsledku zníženia stavov hospodárskych zvierat výrazne poklesla aj výroba organických hospodárskych hnojív. Do popredia vstupujú rôzne alternatívne formy využívania hospodárskych odpadov organického pôvodu, so zámerom riešiť deficit organickej hmoty v pôde a udržať tak pôdnu úrodnosť na požadovanej úrovni (Pospíšil, 2018). Vo výžive rastlín sa preto hľadajú cesty ako ekonomicky ale aj ekologicky zabezpečiť únosnú dávku živín rastlinám, tak aby sa vytvorili predpoklady pre požadovanú úrodu. Druh a výška vstupov do systému pôda – rastlina, má dopad buď okamžitý, odozvou je nárast biomasy rastlín, alebo je to formujúca sa pôdna úrodnosť, prejavujúca sa na rastlinách neskôr. Preto je pri obhospodarovaní na pôde nutné venovať pozornosť postupom, ktoré rešpektujú potrebu dosiahnuť výnos na strane jednej a na strane druhej súbor opatrení, ktorými udržujeme alebo posilňujeme pôdnu úrodnosť (Leština, 2011).

Jednou z takých možností, ktorá zároveň prispieva i k ochrane životného prostredia, je využitie digestátu. Je to najefektívnejší spôsob zhodnotenia biologicky rozložiteľných odpadov pri výrobe bioplynu v bioplynovej stanici. Bioplynové stanice pracujú na princípe anaeróbného rozkladu substrátov (surovín) s vysokým obsahom organického uhlíka (Gallovič, 2015). Vhodným substrátom sú rôzne druhy odpadov s vysokým obsahom organických látok, napr. odpady z poľnohospodárskej výroby, potravinárskeho priemyslu, bioodpady, hospodárske hnojivá alebo aj cielene pestované plodiny (Uvírová, 2015). Produktmi tohto anaeróbného rozkladu (fermentácia živočíšnych a rastlinných odpadov) sú potom bioplyn a zvyšok fermentačného procesu digestát (biokal, vyhnitý substrát) (Pančíková, 2016). Cieľom experimentu bolo zistiť vplyv hnojenia digestátom na pôdne vlastnosti a na produkciu fytomasy vybraných d'atelinotravných miešaniek.

Materiál a metodika

Pokus bol založený na poloprírodnom trávnom poraste v lokalite Zvolenská kotlina, kataster obce Zvolenská Slatina, v nadmorskej výške 320 m. Územie je zaradené do teplej

agroklimatickej oblasti, okrsku teplého, mierne vlhkého s chladnou zimou (T7). Dlhodobé priemerné zrážky za rok sú 610 mm s priemernou teplotou vzduchu za rok 7,8 °C. Pôdny typ je kambizem, pôdny druh hlinitý až hlinito piesočnatý. Pôdna reakcia pôvodného stanovišťa bola kyslá (pH 4,76), s obsahom celkového dusíka na úrovni 3,46 g.kg⁻¹. Zásoba fosforu v pôde bola nízka s hodnotou 10,54 mg.kg⁻¹, draslíka 114,35 mg.kg⁻¹, zásoba horčika bola veľmi vysoká (607,66 mg.kg⁻¹) a pomer C : N bol 7,13. Experiment bol založený metódou dlhých pásov a pozostával z pôvodného porastu (variant 1), z troch typov miešaniek pre lúčne využitie (varianty 2, 3, 4) a troch typov miešaniek pre silážne využitie (varianty 5, 6, 7). Zloženie jednotlivých miešaniek je uvedené v tabuľke 1. Plocha každého variantu bola rozdelená na tri časti, z nich jedna tretina zostala bez hnojenia a na zvyšné dve tretiny sa na jar za pomoci hadicového aplikátora aplikoval digestát v dávkach 45 kg N.ha⁻¹ č.ž. a 90 kg N.ha⁻¹ č.ž.

Tabuľka č.1. Zloženie miešaniek

Miešanka / variant	Druh	výsevok (kg.ha ⁻¹)
2. Lúčna miešanka do vlhka	kostravovité festulólíum (12 %), kostrava trst'ovníkovitá (21 %), mätonoh jednorokový (6 %), psiarka lúčna (10 %), timotejka lúčna (15 %), kostrava lúčna (10 %), lipnica lúčna (5 %), lipnica močiarna (5 %), ďatelina lúčna (13 %), ďatelina hybridná (3 %)	35
3. Lúčna miešanka do sucha	kostravovité festulólíum (20 %), kostrava trst'ovníkovitá (19 %), mätonoh jednorokový (5 %), ovsík vyvýšený (22 %), kostrava červená (8 %), lipnica lúčna (8 %), ďatelina lúčna (13 %), ďatelina plazivá (5 %)	35
4. Lúčna miešanka	kostravovité festulólíum (20 %), kostrava trst'ovníkovitá (30 %), mätonoh jednorokový (9 %), kostrava lúčna (10 %), kostrava červená (5 %), lipnica lúčna (9 %), ďatelina lúčna (14 %), ďatelina plazivá (3 %)	35
5. Dočasná intenzívna ďatelinotrávna	kostravovité festulólíum (28 %), mätonoh jednorokový (10 %), timotejka lúčna (10 %), kostrava lúčna (10 %), lipnica lúčna (6 %), ďatelina lúčna (30 %), ďatelina plazivá (6 %)	40
6. Dočasná silážna miešanka	kostrava trst'ovníkovitá (30 %), mätonohovité festulólíum (50 %), mätonoh jednorokový (16 %), ďatelina hybridná (4 %)	40
7. Silážna vytrvalá miešanka do vlhkých podmienok	kostravovité festulólíum (26 %), kostrava trst'ovníkovitá (13 %), mätonohové festulolium (10 %), psiarka lúčna (16 %), timotejka lúčna (15 %), kostrava lúčna (10 %), lipnica lúčna (5 %)	40

Prisievané porasty boli využívané tromi kosbami – prvá kosba na začiatku klasenia prevládajúcich druhov tráv, druhá kosba o 6 – 8 týždňov po prvej kosbe a tretia kosba o 10 týždňov po predchádzajúcej. V prvom roku sa realizovala odburiňovacia kosba. Pred každou kosbou sa odobrali priemerné vzorky zelenej fytohmoty (cca 500g) na stanovenie produkcie sušiny. Na jeseň sa odobrali pôdne vzorky (0 – 150 mm) na stanovenie pH/KCl, obsahu organického uhlíka, fosforu, draslíka a horčika. Rozbor pôd sa robil podľa Vyhlášky MPRV

SR Zz.č.151/2016. Získané výsledky boli spracované štatistickou metódou analýzy variancie ANOVA prostredníctvom Tukeyovho testu na hladine významnosti 0,05, programom STATGRAPHIC Centurion XVI.I.

Výsledky a diskusia

Vlastnosti pôdy sú odrazom vplyvu špecifického typu pôdotvorného procesu prebiehajúceho pod určitou vegetáciou pri určitom využívaní pôdy. Sú podmienkou a súčasťou procesov prebiehajúcich v pôde (Makovníková, 2020). Ovpływňované sú edafickými faktormi ako geologický podklad, pôdny druh a pôdny typ (Skládanka *et al.*, 2014). Dostupnosť živín v pôde sa mení pôsobením zrážok, teploty, vetra, pôdneho typu a pôdnej reakcie (Maathuis, 2009). Na nehnojených variantoch pôdna reakcia oscilovala od 4,57 do 5,19 (tab. 2). Pôvodný variant mal hodnotu pH 5,14. Najvyššia koncentrácia C_{ox} 24,18 g.kg⁻¹ sa zistila na variantoch s lúčnou miešankou do vlhka a s dočasnou intenzívnou d'atelinotravnou miešankou. Variant so silážnou vytrvalou miešankou do vlhkých podmienok mal najnižšiu koncentráciu C_{ox} . Obsah dusíka v pôde bol v najvyššom množstve na variante prisievanom silážnou vytrvalou miešankou do vlhkých podmienok (variant 7). Zásoba dusíka sa pohybovala od 5,53 – 7,60 g.kg⁻¹, fosforu od 0,97 – 2,08 mg.kg⁻¹ a draslíka od 100,75 – 134,33 mg.kg⁻¹. Pôvodný porast mal najnižšiu koncentráciu fosforu, draslíka a horčika. Varianty so silážnymi miešankami sa vyznačovali vyšším obsahom fosforu a draslíka v pôde ako varianty s lúčnymi miešankami. Obsah horčika bol vysoký, v rozsahu od 534,45 až do 910,49 mg.kg⁻¹. Evidovali sme pokles pomeru C : N na všetkých sledovaných variantoch. Na prisievanom poraste so silážnou vytrvalou miešankou do vlhkých podmienok bol najnižší, klesol na úroveň 2,61.

Tabuľka č.2. Agrochemické vlastnosti pôdy na nehnojených variantoch

Var.	pH/ KCl	Cox	Humus	N	P	K	Mg	C : N
		g.kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹			
1.	5,14	20,10	49,13	6,00	0,97	100,75	534,45	3,35
2.	4,98	24,18	54,82	6,64	1,06	100,75	614,14	3,64
3.	4,64	23,30	60,51	7,05	1,31	104,48	633,24	3,30
4.	4,72	21,56	51,72	6,94	1,15	104,48	692,93	3,11
5.	4,65	24,18	43,44	5,53	1,06	104,48	567,02	4,37
6.	4,57	23,60	65,68	6,52	2,08	134,33	709,20	3,62
7.	5,19	19,81	60,51	7,60	1,25	123,13	910,49	2,61

Na všetkých variantoch hnojených digestátom v dávke 45 kg N.ha⁻¹ stúpla pôdna reakcia pri porovnaní s nehnojenými variantami (tab. 3). Najvyššia hodnota pH (6,07) bola na variante s dočasne intenzívnou d'atelinotravnou miešankou. Obsah organického uhlíka poklesol v porovnaní s nehnojenými porastami, hodnoty sa pohybovali od 19,52 g.kg⁻¹ do 23,60 g.kg⁻¹. Pri hodnotení koncentrácie dusíka v pôde, sme taktiež zaznamenali jeho pokles takmer na všetkých variantoch, o 0,35 – 1,66 g.kg⁻¹. Zásoba fosforu v pôde sa vplyvom hnojenia digestátom zvýšila, pričom na variante s dočasne intenzívnou miešankou bol jeho najvyšší obsah (3,35 mg.kg⁻¹). Pri porovnaní s nehnojenými variantami nastal pokles v zásobe horčika v pôde, okrem pôvodného variantu a variantu s dočasnou intenzívnou miešankou (variant 5.1). Zistili sme zníženie pomeru C : N pri silážnych miešankách, oproti tomu sa hodnoty pomeru C : N pri lúčnych miešankách zvýšili.

Tabuľka č. 3. Agrochemické vlastnosti pôdy na hnojených dávkou 45 kg N.ha⁻¹

Var.	pH/ KCl	C _{ox}	Humus	N	P	K	Mg	C : N
		g.kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹			
1.1	5,05	19,52	33,65	5,73	2,63	100,75	571,57	3,41
2.1	4,92	20,39	35,15	5,52	2,47	108,21	539,18	3,69
3.1	5,18	23,60	40,68	5,62	2,35	104,48	552,90	4,20
4.1	5,39	23,30	40,18	6,22	2,03	100,75	515,79	3,75
5.1	6,07	23,01	39,67	6,91	3,35	108,21	746,19	3,33
6.1	5,56	22,72	39,17	6,69	2,69	111,94	622,27	3,40
7.1	5,03	19,52	33,65	5,81	1,60	97,01	428,83	3,36

Vyššie hodnoty pôdnej reakcie sa zaznamenali na variantoch s dávkou digestátu 90 kg N.ha⁻¹ pri porovnaní s nehnojenými variantami (tab. 4). Rovnako sa evidoval stúpajúci charakter pH aj pri porovnaní s variantami hnojenými nižšou dávkou dusíka. Výnimku predstavujú varianty so silážnymi miešankami. So zlepšovaním pôdnej reakcie a lepším využitím fosforu v pôde súhlasia aj výsledky Pospíšila (2015). Cigánek (2011) vo svojich výsledkoch uvádza zvýšenie pH o 0,5 – 0,6 po aplikácii digestátu. Vyšší obsah C_{ox} a dusíka bol takmer na všetkých variantoch pri porovnaní s variantami s dávkou dusíka 45 kg.ha⁻¹. Najvyšší obsah N (6,41 g.kg⁻¹) evidovali porasty s dočasnou intenzívnou a dočasnou silážnou miešankou (variant 5.2, 6.2). Koncentrácia fosforu, draslíka a horčíka v pôde bola nižšia ako na variantoch s dávkou digestátu 45 kg N.ha⁻¹. Pomer C : N pri tomto hnojení mal taktiež stúpajúcu tendenciu. Najvyšší pomer C : N s hodnotou 6,27 mal variant so silážnou vytrvalou miešankou do vlhka (variant 7.2).

Tabuľka č.4. Agrochemické vlastnosti pôdy na hnojených variantoch s dávkou 90 kg N.ha⁻¹

Var.	pH/ KCl	C _{ox}	Humus	N	P	K	Mg	C : N
		g.kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹			
1.2	5,44	28,50	34,65	5,87	0,65	82,09	273,46	4,86
2.2	5,08	31,80	41,68	6,34	0,73	85,82	418,78	5,02
3.2	6,08	35,10	40,18	5,88	2,06	82,09	415,17	5,97
4.2	5,25	30,00	37,16	6,29	0,69	97,01	368,21	4,77
5.2	5,21	25,20	41,68	6,41	1,59	93,28	402,81	3,93
6.2	5,33	38,10	40,68	6,41	0,77	85,82	263,82	5,94
7.2	4,86	35,10	34,15	5,60	0,86	97,01	361,36	6,27

Pôdna reakcia mala najvyššiu hodnotu na variantoch s dávkou digestátu 90 kg N.ha⁻¹, bez signifikantného rozdielu. Preukazný (P < 0,05) vplyv vyššej dávky bol zaznamenaný pri obsahu organického uhlíka, fosforu v pôde a pomere C : N. Opačnú tendenciu sme zaznamenali pri obsahu draslíka a horčíka. Pri štatistickom hodnotení variantov ako faktora, sa nepotvrdil významný vplyv zloženia miešaniek na pôdne vlastnosti (tab. 5).

Tabuľka č. 5. Vplyv variantov a hnojenia na pôdne vlastnosti

Faktory		pH/KCl	Cox g/kg	N g/kg	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	C : N
Variant	1	5,21 ^a	22,71 ^a	5,87 ^a	1,41 ^a	94,53 ^a	459,82 ^a	3,87 ^a
	2	5,02 ^a	25,46 ^a	6,17 ^a	1,42 ^a	98,26 ^a	524,03 ^a	4,11 ^a

Faktory		pH/KCl	Cox g/kg	N g/kg	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	C : N
	3	5,30 ^a	27,33 ^a	6,18 ^a	1,91 ^a	97,02 ^a	533,77 ^a	4,49 ^a
	4	5,12 ^a	24,95 ^a	6,48 ^a	1,29 ^a	100,75 ^a	525,64 ^a	3,87 ^a
	5	5,31 ^a	24,13 ^a	6,28 ^a	2,00 ^a	101,99 ^a	572,00 ^a	3,88 ^a
	6	5,15 ^a	28,14 ^a	6,54 ^a	1,84 ^a	110,69 ^a	531,76 ^a	4,32 ^a
	7	5,03 ^a	24,81 ^a	6,34 ^a	1,23 ^a	105,71 ^a	566,89 ^a	4,07 ^a
	<i>P-value</i>	0,9350	0,3447	0,8530	0,3003	0,3694	0,9136	0,8751
Hnojenie	0	4,84 ^a	21,72 ^a	6,61 ^a	4,84 ^a	110,34 ^b	665,92 ^b	3,42 ^a
	45	5,31 ^a	22,39 ^a	6,07 ^a	5,31 ^a	104,47 ^b	568,10 ^b	3,59 ^a
	90	5,32 ^a	31,97 ^b	6,11 ^a	5,32 ^b	89,02 ^a	357,66 ^a	5,25 ^b
	<i>P-value</i>	0,0748	0,0000 *	0,2174	0,0003*	0,0018*	0,0008*	0,0005*

Rozdielne indexy znamenajú štatisticky preukazné rozdiely medzi úrovňami faktorov (Tukey t-test, $P < 0,05$), * - signifikantné rozdiely na úrovni 95 %

Nehnojený pôvodný porast (variant 1) bol charakteristický najnižšou produkciou sušiny ($4,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Všetky silážne miešanky dosiahli produkciu sušiny nad $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Silážna vytrvalá miešanka do vlhkých podmienok zabezpečila maximálnu produkciu sušiny, $7,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 6). Varianty s lúčnymi miešankami mali produkciu sušiny na úrovni 4,8 až $5,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, pričom najlepšie sa prejavila lúčna miešanka so 17 %-ným podielom leguminóz (variant 4).

Hnojenie digestátom v dávke $45 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ malo pozitívny vplyv na zvýšenie produkcie sušiny na všetkých variantoch. Výrazné zvýšenie vplyvom aplikácie digestátu sa zaznamenalo predovšetkým pri lúčnych miešankách. Variabilita nárastu úrody pri stúpajúcich dávkach dusíka bola zaznamenaná aj v prácach Glaba a Kacorzykb (2011). Variant s lúčnou miešankou do vlhka (variant 2.1) dosiahol produkciu sušiny až $9,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ v priebehu roka. V porovnaní s jeho nehnojeným variantom, predstavuje zvýšenie až o $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Rozdiely v produkcii sušiny sa evidovali aj pri silážnych miešankách. Tieto miešanky zabezpečili úrodu sušiny od $5,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ do $6,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (dočasná intenzívna). Pri porovnaní s nehnojenými variantami bol zistený pokles produkcie sušiny na variantoch s dočasnou a vytrvalou silážnou miešankou (varianty 6.1 a 7.1) a minimálne zvýšenie bolo evidované len na variante 5.1. Pôvodný porast opäť dosiahol produkciu na úrovni $4,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, tak ako porast nehnojený.

Porasty hnojené digestátom v dávke $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ mali vyššiu produkciu sušiny, takmer na všetkých variantoch v porovnaní s nižšou dávkou. Na pôvodnom poraste bola produkcia sušiny opäť najnižšia ($4,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Lúčne miešanky zabezpečili skoro vyrovnanú produkciu (od $7,6$ do $7,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Pri porovnaní jednotlivých typov silážnych miešaniek možno konštatovať, že najvyššou produkciou sušiny sa prejavila dočasná intenzívna d'atelinotrávna miešanka ($8,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Aj na ostatných miešankách sa zistilo výrazné zvýšenie produkcie sušiny o $0,9 - 1,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, čo predstavuje zvýšenie o 17,4 – 27,0 %.

Tabuľka č. 6. Produkcia sušiny na porastoch (v t.ha⁻¹)

Kosba/ variant	Pôvodný porast	Lúčne miešanky			Silážne miešanky		
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Nehnojené varianty							
1.	2,4	2,5	3,5	3,7	4,8	4,6	5,4
2.	1,5	1,7	1,3	1,2	1,6	1,4	1,9
3.	0,1	0,6	0,4	0,7	0,2	0,2	0,5
Σ	4,0	4,8	5,2	5,6	6,6	6,2	7,8
Hnojené 45 kg N.ha ⁻¹							
variant	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1
1.	2,1	7,3	5,2	3,4	4,9	3,4	4,0
2.	1,4	2,2	1,6	1,8	1,7	1,9	1,7
3.	0,5	0,3	0,6	1,1	0,3	0,1	0,6
Σ	4,0	9,8	7,4	6,3	6,9	5,4	6,3
Hnojené 90 kg N.ha ⁻¹							
variant	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2
1.	3,3	4,7	4,8	4,2	4,3	3,6	5,0
2.	1,0	2,4	1,7	2,9	3,4	2,1	1,9
3.	0,2	0,8	1,1	0,7	0,4	0,6	1,1
Σ	4,5	7,9	7,6	7,8	8,1	6,3	8,0

Tabuľka č. 7. Vplyv variantov a hnojenia na produkciu sušiny (t.ha⁻¹)

Faktory		Produkcia (t.ha ⁻¹)	Variant	Produkci a (t.ha ⁻¹)	Hnojenie	Produkci a (t.ha ⁻¹)
Variant	1	4,16 ^a	5	7,20 ^{ab}	0	5,74 ^a
	2	7,50^b	6	5,97 ^{ab}	45	6,59 ^a
	3	6,73 ^{ab}	7	7,37 ^{ab}	90	7,17^b
	4	6,57 ^{ab}	<i>P-value</i>	0,0425*	<i>P-value</i>	0,0075*

Rozdielne indexy znamenajú štatisticky preukazné rozdiely medzi úrovňami faktorov (Tukey t-test, $P < 0,05$), * - signifikantné rozdiely na úrovni 95 %

Pôvodný trávny porast mal najnižšiu priemernú produkciu sušiny 4,16 t.ha⁻¹. Preukazne ($P < 0,05$) najvyššiu produkciu sušiny 7,50 t.ha⁻¹ mala lúčna miešanka do vlhka. Lúčne miešanky dosiahli priemernú úrodu fytomasy 6,57 – 7,50 t.ha⁻¹, čo predstavuje zvýšenie o 57,9 – 80,3 % oproti pôvodnému porastu. Silážne miešanky poskytli ešte vyššiu produkciu sušiny pri porovnaní s kontrolou (o 43,50 až 77,20 %), ale bez signifikantného rozdielu (tab. 7). Aplikácia digestátu v dávke 45 kg N.ha⁻¹ zvýšila úrodu fytomasy o 14,80 % (o 0,85 t.ha⁻¹). Významný ($P < 0,05$) vplyv mali vyššie dávky digestátu, nárast bol o 25,1 %. Výsledky potvrdzujú zistenia viacerých autorov (Neružil et al., (2008), Kováčiková et al., (2022), Rausa et al., (2012), Vargová et al., (2021)), že produkcia sušiny sa zvyšuje so zvyšujúcimi sa dávkami dusíka.

Záver

Príspevok prezentuje vplyv rôznych dávok digestátu na pôdne vlastnosti a na produkciu lúčnych a silážnych miešaniek. Signifikantne najvyššia produkcia sušiny sa zistila pri lúčnej miešanke do vlhka (7,50 t.ha⁻¹). Vyššia dávka digestátu (90 kg N.ha⁻¹) preukazne zvýšila úrodu sušiny ($P < 0,05$) a mala pozitívny vplyv aj na pôdne vlastnosti. Obsah organickej hmoty (31,97 g.kg⁻¹) a

fosforu v pôde ($5,32 \text{ g.kg}^{-1}$) sa štatisticky zvýšil. Vyššie dávky digestátu vplývali aj na pôdnu reakciu (5,32), ale bez preukazného rozdielu. Obsah draslíka a horčíka v pôde dosiahol štatisticky preukazne ($P < 0,05$) najvyššie hodnoty na nehojenom variante.

PodĎakovanie

Tento príspevok bol financovaný EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č.19R01-18-P01-00001.

Literatúra

- Braun, R. 2007. Anaerobic digestion: A multi-faceted process for energy, environmental management and rural development. In: Ranalli, P., ed. Improvement of crop plants for industrial end uses. Dordrecht: Springer, 2007, p. 335-416
- Cigánek, K. 2011. Ověření účinnosti odlišných digestátů v různých systémech organického hnojení: písomná práca k dizertačnej skúške. Brno: MU, 2011, 108 s.
- Gallovič, P. 2020. Výroba bioplynu. Dostupné na: <https://www.enviro.sk/33/vyroba-bioplynu-uniqueidmRRWSbk196FPkyDaLfWAAAnHoBoU9LRpfIR8s0I3uS0YG2SXIR7jg/>
- Glabá, T., Kacprzyk, P. 2011. Root distribution and herbage production under different management regimes of mountain grassland. Soil and Tillage Research, 113 (2), 2011, p. 99-104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.02.008>
- Leština, J. 2011. Některé aspekty pěstování plodin pro výrobu bioplynu. Dostupné na: <https://energie21.cz/nektere-aspekty-pestovani-plodin-pro-vyrobu-bioplynu/>
- Kováčiková, Z., Vargová, V. 2022. Utilization of digested substrate in permanent grassland nutrition. *Acta Agronomica Ovariensis*, 63, 2022, no. 1, s. 147 - 161. ISSN 2498 – 907X. Dostupné na: https://real.mtak.hu/193344/1/EPA03114_acta_agronomica_ovariensis_2022_1_147-161.pdf
- Maathuis, F. 2009. Physiological function of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12, (3), 250-258. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>
- Madej, T., Piroznikow, E., Dumanowski, J., Łuczaj, L. 2014: Juniper beer in Poland: The story of the revival of a traditional beverage. *J. Ethnobiol.* 34, (1), 84-103. DOI: <http://dx.doi.org/10.2993/0278-0771-34.1.84>
- Makovníková, J. 2020. Pôda a jej postavenie v agroekosystémových službách. In: Houšková, B., Makovníková, J., Bušo, R., Hraško, J. eds. Eliminovanie degradačných procesov v pôde obnovením biodiversity. Bratislava, 2020, NPPC – VUPOP, 26-32.
- Neružil P., Kohoutek A., Komárek P., Odstrčilová V. 2008. Effects of utilisation intensity and fertilization level on forage production and quality of permanent grassland on a fluvisoil. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 56 (5), 2008, p. 153-162.
- Pančíková, J. 2016. Digestáty a jejich využití v zemědělství. Dostupné na: https://eagri.cz/public/web/file/445128/Digestaty_a_jejich_vyuziti_v_praxi.pdf
- Pospíšil, R. 2009. The utilisation of decayed waste in growing field crops. Nitra: SPU, 2009, p.186.
- Pospíšil, R. 2015. Digestát po výrobe bioplynu, ako organické hnojivo k poľným plodinám. In *Agroporadenstvo.sk*. [online] 2015-09-07. Dostupné: <http://www.agroporadenstvo.sk/oze-biomasa?article=708>
- Pospíšil, R. 2018. Aké sú dnes možnosti využitia digestátu. In *Rolnícke noviny*, č.4 (24. 1. 2018), str. 14. ISSN 0231-6617.
- Raus, J., Knot, P., Hrabě, F. 2012. Effect of fertilization and harvest frequency on floristic composition and yields of meadow stand. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60 (5), 2012, p. 181-186.
- Skládanka, J. et al. 2014. Pícninářství. Brno: MU, 2014, 368 s.
- Uvírová, V. 2015. Digestát ako zdroj organickej hmoty a živín. 16.12.2015 Dostupné na: <https://rno.sk/digestat-ako-zdroj-organickej-hmoty-a-zivin/>
- Vargová, V., Kováčiková, Z., Kizeková, M. 2021. Yield and quality phytomass of alluvial meadow in interaction with temperature and rainfall. *Journal of Central European Agriculture*, 22 (1), 2021, p. 119-126. Dostupné na: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.1.2863>

Kontaktná adresa autora:

Ing. Vladimíra Vargová, PhD., - Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Banská Bystrica, Mládežnícka 36, Banská Bystrica 974 23, vladimira.vargova@nppc.sk

Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti
pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy
pri Slovenskej akadémii vied v Bratislave, 2025

Lesnícka sekcia



DIVERZITA KULTIVOVATEĽNÝCH DRUHOV HÚB Z *AILANTHUS ALTISSIMA* V LESNOM PORASTE

DIVERSITY OF CULTURABLE FUNGAL SPECIES OF *AILANTHUS ALTISSIMA* IN FOREST STAND

Katarína Adamčíková, Ivan Il'ko, Viera Peterková, Marcel Raček

Abstract: *Ailanthus altissima* Mill. (Swingle), one of the worst invasive tree species in the world, represents an ecological burden on native forested ecosystems. In its management, numerous general removal procedures (including mechanical, chemical and biological) can be applied. Biological is one of the recent control strategies and the fungal strains are the most promising organisms in this field. Culturable fungal species from two wilting *A. altissima* stands in Slovakia were examined. Eighteen fungal species were identified from 36 branch and 3 leaf samples from symptomatic trees within both stands. Within the fungal species, some were detected for the first time from *A. altissima* and furthermore five *Diaporthe* species were identified.

Keywords: tree-of-heaven, ITS region, *Verticillium dahliae*, *V. nonalfalfae*, *Diaporthe*, vascular wilt

Úvod

Invázne druhy predstavujú obrovskú ekologickú záťaž pre pôvodné lesné ekosystémy a kultúrne krajiny (Wickert a kol. 2017). *Ailanthus altissima*, pôvodom z juhovýchodnej Ázie, bol prvýkrát introdukovaný do Európy okolo roku 1750 (Swingle 1916). Táto drevina ohrozuje pôvodné ekosystémy v celom introdukovanom areáli (O'Neal a Davis 2015) a je zaradená do zoznamu inváznych nepôvodných druhov podľa nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 1143/2014.

Jednou z nedávnych, ale stále nedostatočne preskúmaných stratégií na potlačenie inváznych rastlín vrátane *A. altissima*, je biologická kontrola (Sheppard a kol. 2006; Tranier a kol. 2014). Ding a kol. (2006) potvrdili prítomnosť 43 článkonožcov, 16 druhov húb a jeden potyvírus na *A. altissima*, z ktorých niektoré spôsobujú vážne škody v Číne. Spomedzi húb *Fusarium osysporum* f. sp. *perniciosum* spôsobuje vädnutie dreviny v Severnej Amerike a môže mať potenciál kontrolovať *A. altissima*, ale jeho necielený účinok by sa mal dôkladne vyhodnotiť (Ding a kol. 2006). Farr a kol. (1989) z USA uviedli 44 húb, ktoré napádajú *A. altissima* a spôsobujú škvrnitosť listov, odumieranie konárov a vetvičiek, hnilobu, rakovinu a rozklad koreňov, ale tieto nemajú letálny účinok. Zheng a kol. (2004) zaznamenali druhy prepojené s *A. altissima* v Číne a zostavili zoznam prirodzených nepriateľov dreviny, pričom huby sa vo všeobecnosti javia ako najvhodnejšie organizmy na biologickú kontrolu. *Alternaria ailanthi* spôsobovala škvrnitosť listov *A. altissima* v Číne (Dai 1979; Zhuang 1990). V Číne a Južnej Amerike boli na rastline *A. altissima* objavené huby *Cercospora glandulosa* a *C. ailanthi* (Farr a kol. 1989; Wei 1979). druhy z rodu *Cercospora* spôsobujú škvrny, perforáciu listov a defoliáciu stromov (Li a Tao 1980) a používajú sa v biologickej kontrole rastlín (Julien a Griffiths 1998). Huba *Phyllactinia ailanthi* bola zaznamenaná v Číne, Japonsku a Kórei (Kobayashi 2007; Shin 2000; Zhuang 2005). *Uncinula picrasmae*, *U. delavayi*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Phyllosticta ailanthi*, *Pseudocercospora ailanthicola* a *Pseudocercospora qinlingensis* sú ďalšie huby, ktoré tiež infikujú *A. altissima* (Dai 1979; Jenkins 2004; Julien and Griffiths 1998).

Kozmopolitný rod *Verticillium* spôsobuje vädnutie viac ako 350 druhov bylín a drevín (Markell a kol. 2015; Agrios 2005). Potenciál infikovať, potlačiť a zničiť *A. altissima* majú dva druhy, *Verticillium nonalfalfae* a *V. dahliae* (Inderbitzin a kol. 2011; Barreto a kol. 2000; Mathur a Gehlot 2018; Kasson a kol. 2015). Druh *Verticillium* sa rozširuje v pletivách xylému, čo spôsobuje upchatie ciev zodpovedných za transport živín a vody do koruny, a následne vedie k vädnutiu, navyše sa rýchlo šíri aj koreňovým systémom (Schall 2008). Po odumretí stromu huba *Verticillium* spp. prežíva v pôde až 14 rokov (Wilhelm 1955; Klosterman a kol. 2009; Pegg a Brady 2002).

Úplne prvý záznam o úhyne *A. altissima* v Európe pochádza z konca 19. storočia z Paríža, patogén však nebol identifikovaný (Magin 1894). Rovnaké ohnisko podrobne skúmali o tri desaťročia neskôr Arnaud a Barthlet (1931), ktorí prípad odumierania pripísali hube *V. dahliae*. Ďalšia správa o napadnutí *A. altissima* hubou *Verticillium* v Európe pochádza z Talianska z roku 1935 (Goidànich 1935). Počas 90. rokov 20. storočia bolo *V. dahliae* zaznamenané na *A. altissima* v Grécku (Skarmoutsos a Skarmoutsou 1998). Výsledky prieskumov vo východnom Rakúsku naznačili rozsiahly výskyt *V. dahliae* a príležitostný prirodzený výskyt *V. nonalfalfae* v porastoch *A. altissima* (Maschek a Halmschlager 2017). Nedávno Longa a kol. (2019) opísali ochorenie *A. altissima* v severnom Taliansku a ako pôvodcu identifikovali *V. dahliae*. Podobné záznamy pochádzajú aj od Izsépiho a kol. (2018) z Maďarska a účinok *V. dahliae* na *A. altissima* bol nedávno pozorovaný a vyhodnotený aj vo Virgínii v USA (Brooks a kol. 2020) a Španielsku (Moragrega a kol. 2021). Prirodzený výskyt a rozšírenie *V. nonalfalfae*, progresia choroby a odumieranie *A. altissima* boli potvrdené iba v USA a Rakúsku (Kasson a kol. 2014, 2015; Maschek a Halmschlager 2016). Tieto záznamy z jednotlivých krajín preukazujú obrovský potenciál oboch druhov húb voči *A. altissima*.

Cieľom tejto štúdie bolo preskúmať diverzitu kultivovateľných druhov húb zo symptomatických porastov *A. altissima*, identifikovať huby spojené so symptomatickými stromami a posúdiť potenciál týchto identifikovaných druhov húb pre biologickú ochranu.

Materiál a metódy

Na experiment boli vybraté 2 porasty *A. altissima* v lokalite Vlčie Hrdlo (katastrálne územie Podunajské Biskupice). Odber vzoriek sa uskutočnil v júli 2023, spolu 36 vzoriek konárov s priemernou dĺžkou 10 cm a hrúbkou 2 – 5 cm. Okrem toho sa odobrali aj listy, celkovo 3 vzorky. Ihneď po odbere boli vzorky umiestnené do chladničky s teplotou 4 °C až do ďalšieho spracovania. Časti pletiva (listy, konáre) veľkosti 1 × 1 cm boli najprv povrchovo sterilizované ponorením do 70 % etanolu a následne do 2 % NaClO na 5 minút, opláchnuté v sterilnej H₂O a sušené na sterilnom filtračnom papieri 1 minútu. Následne boli prenesené do Petriho misiek s agarovým médiom so sladínovým extraktom (MEA) doplneným antibiotikom. Kultivácia prebiehala 10 – 14 dní pri teplote 20 °C v tme a pravidelne 2 – 3-krát týždenne sa sledoval rast mycélia. Vznikajúce jednotlivé mycéliá boli prenesené do nových Petriho misiek s MEA a inkubované 3 – 4 týždne. Počiatočná identifikácia húb bola založená na morfológii, ktorá zahŕňala farbu a štruktúru kolónie, prítomnosť stromatických štruktúr a spór. Reprezentatívne izoláty pre každý morfotyp a nesporelujúce izoláty boli použité na identifikáciu na základe DNA. Na extrakciu DNA bol použitý komerčný DNA kit a postupovalo sa podľa pokynov výrobcu. Na identifikáciu druhov bol amplifikovaný úsek ITS ribozomálnej DNA primermi ITS5 a ITS4 (White a kol. 1990). Pred sekvenovaním boli amplikóny purifikované pomocou ExoSap-IT. Identifikácia získaných sekvencií sa uskutočnila pomocou algoritmu BLASTn v databáze NCBI GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>; Altschul a kol. 1997). Na definovanie hraníc druhov boli použité sekvenčné zhody ≥ 98 % (Kowalski a Bilański 2022).

Výsledky a diskusia

Celkovo bolo získaných 50 kultúr, pričom na molekulárnu identifikáciu bolo vybratých 5 izolátov získaných z listov a 29 izolátov z konárov. Štyri izoláty, 2 izolované z listov a 2 z konárov, mali zhodu sekvencií menšiu ako 98 %, ktorá bola definovaná ako minimálna požadovaná zhoda na identifikáciu druhu, a preto neboli do hodnotenia zahrnuté. V rámci kultúr izolovaných z konárov bolo identifikovaných 16 druhov húb zo 12 rodov a z listov 3 druhy z 2 rodov (Tab. 1).

V kultúrach dominoval rod *Diaporthe*, spolu bolo identifikovaných 5 druhov. Z konárov boli identifikované 4 druhy, a to *D. eres* (7 izolátov), *D. rudis* (1 izolát), *D. unshiuensis* (1 izolát) a *D. rumicicola* (1 izolát). Druhy *Diaporthe* dominovali aj vo vzorkách listov, kde boli identifikované *D. oncostoma* a *D. eres*, pričom každý z nich bol reprezentovaný 1 izolátom. Druhy rodu *Diaporthe* sú endofytické, saprofytické alebo parazitické a sú rozšírené po celom svete, pričom boli zaznamenané na rôznych hostiteľských rastlinách (Hongsanan a kol. 2023; Norphanphoun a kol. 2022). Mnohé patogénne druhy rodu *Diaporthe* spôsobujú choroby rastlín a spôsobujú príznaky, ako je odumieranie, rakovina, hniloba a škvrnitosť listov (van Rensburg 2006).

Z konárov boli ďalej izolované 2 druhy z rodu *Verticillium*, *V. nonalfalfae* a *V. dahliae* (Tab.1). Na Slovensku zatiaľ neboli hlásené žiadne prípady verticíliového vädnutia stromov v lesoch alebo mestských porastoch. Súčasný prieskum však potvrdil výskyt vädnutia druhu *A. altissima* detekciou *V. nonalfalfae* a *V. dahliae*. Podľa Mascheka a Halmschlagera (2017) sú druhy *Verticillium* prirodzene rozšírené na *A. altissima* v Rakúsku, a to v celom geografickom areáli tejto inváznej dreviny. Oba druhy, *V. dahliae* a *V. nonalfalfae*, boli identifikované len niekoľko kilometrov od hraníc s Českou republikou, Slovenskom, Maďarskom a Slovinskom, čo naznačuje, že ochorenie by sa na *A. altissima* mohlo vyskytovať aj v iných stredoeurópskych krajinách (Maschek a Halmschlager 2017), čo neskôr potvrdila štúdia Izsépiho a kol. (2018) v Maďarsku a naša štúdia zo Slovenska (Raček a kol. 2024). Tento výsledok predstavuje prvý úspech v manažmente a biologickej kontrole *A. altissima*, vysoko invázneho druhu dreviny.

Tab. č. 1. Zoznam druhov húb izolovaných z *Ailanthus altissima* identifikovaných na základe ITS regiónu.

Druh	Rastlinné pletivo	Identita s uvedeným číslo sekvencie v Genbank
<i>Alternaria tenuissima</i>	konár	99.82% OP985986
<i>Aureobasidium subglaciale</i>	konár	99.28% OL653042
<i>Auricularia nigricans</i>	konár	99.67% MG732993
<i>Botryosphaeria stevensii</i>	konár	99.46% KF535902
<i>Cladosporium cladosporoides</i>	konár	99.62% MW497201
<i>Colletotrichum godetiae</i>	list	99.64% OK336100
<i>Diaporthe eres</i>	list	99.46% OQ316601
<i>Diaporthe eres</i>	konár	99.82% OQ316592; 99.10% MK352454; 99.46% OQ316601; 99.29% MK352454; 99.3% MZ078582; 98.92% MZ078582; 99.28% MK352454
<i>Diaporthe oncostoma</i>	list	99.46% OM286881
<i>Diaporthe rudis</i>	konár	99.13% MW546035
<i>Diaporthe rumicicola</i>	konár	99.47% MK066126
<i>Diaporthe unshiuensis</i>	konár	98.95% MT043839
<i>Epicoccum nigrum</i>	konár	100% MZ414195
<i>Fomes fomentarius</i>	konár	99.81% MW488371
<i>Fusarium ensiforme</i>	konár	98.92% LT746248; 98.56% LT746248; 99.26% LT746248
<i>Peroneutypa scoparia</i>	konár	99.65% KU320623; 99.66% KU320623; 99.65% KU320623

Druh	Rastlinné pletivo	Identita s uvedeným číslo sekvencie v Genbank
<i>Verticillium dahliae</i>	konár	100% KT970070
<i>Verticillium nonalfalfae</i>	konár	100% KT362917, PP156741
<i>Xylaria</i> sp.	konár	99.65% MG098292

Ďalšie rody, ktoré boli detegované kultiváciou z konárov sú *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fomes*, *Auricularia*, *Botryosphaeria*, *Fusarium*, *Peroneutypa*, *Xylaria*. Z listov bol ďalej detegovaný druh *Colletotrichum godetiae*.

Alternaria tenuissima je saprofytická huba, oportúnny rastlinný patogén a kozmopolitný druh, ktorý dokáže kolonizovať širokú škálu hostiteľských rastlín (Farr a kol. 1989; Simmons 2007). V prípade *Aureobasidium subglaciale*, *Auricularia nigricans* a *Epicoccum nigrum* neboli na *A. altissima* doteraz zaznamenané nielen tieto druhy, ale ani akékoľvek iné druhy z týchto rodov. Niektoré z nich (*A. subglaciale*, *E. nigrum*) majú antifungálny účinok, čo je predpokladom využitia v biologickej ochrane (Di Francesco a kol. 2020; Qian a kol. 2013), zatiaľ čo *A. nigricans* je drevokazný druh, ktorý sa typicky nachádza na odumretom alebo spadnutom dreve listnatých stromov (Looney a kol. 2013).

Botryosphaeria stevensii je rastlinný patogén, ktorý spôsobuje rakovinu na niekoľkých druhoch stromov, pričom pravdepodobne postihuje veľkú časť koruny stromu a v prípade silného napadnutia môže usmrtiť celé rastliny (Tisserat a kol. 1988). Rod *Cladosporium* je jednou z najbežnejších environmentálnych húb izolovaných na celom svete, z ktorých *Cladosporium cladosporioides* patrí medzi najbežnejšie saprofyty a pôvodcov sekundárnej infekcie na rozkladajúcich sa alebo nekrotických častiach rastlín (Bensch a kol. 2010). Druhy *Colletotrichum* sú známe ako patogény, pôvodcovia antraknózy a tiež ako endofyty alebo saprofyty (Bhunjun a kol. 2021). Huba *C. godetiae* bola pôvodne izolovaná zo semien klarkie (Damm a kol. 2012). Táto štúdia rozširuje spektrum jej hostiteľov, ktoré je v súčasnosti celosvetovo obrovské. Mycélium huby *F. fomentarius*, ktorá je patogénom spôsobujúci rozklad stoniek a hnilobu, preniká do dreva stromov cez poškodenú kôru alebo zlomené konáre, alebo dokonca priamo na kôru starších alebo odumretých stromov (Butin a kol. 1995; Schwarze a kol. 2000). Huba je tiež schopná prežiť celé roky ako saprofit na spadnutých alebo vyrúbaných stromoch (Schmidt 2006; Schwarze a kol. 2000) a je tiež známa ako endofyt, ktorý môže pretrvávať v strome bez viditeľných známkov infekcií a plodníc (Stamets 2005). Okrem tejto štúdie bola huba predtým identifikovaná z *A. altissima* v Arménsku (Simonyan 1981).

Druh *Peroneutypa scoparia* bol identifikovaný z odumretých konárov rôznych stromov (napr. brest, agát biely, jarabina) (Vasilyeva a Stephenson 2006), ku ktorým sme vďaka tejto práci zaradili aj ďalšieho hostiteľa *A. altissima*. Primárnou ekologickou funkciou druhu *P. scoparia* je endofyt, ale neskôr môže prejsť na saprotrofný rast (de Errasti a kol. 2014).

Druhy rodu *Fusarium* sú stotožňované s drevnatými pletivami, alebo spôsobujú rakovinu kmeňa (Chehri a kol. 2015). *Fusarium ensiforme*, identifikovaný v tejto štúdii, bol potvrdený v drevnatých pletivách *Fraxinus excelsior* postihnutými odumieraním jaseňa a hnilobou koreňového krčka (Lutz a kol. 2022), ako aj so suchou hnilobou koreňov pomarančovníkov (*Citrus sinensis*) (Sandoval-Denis a kol. 2018). Ďalšie druhy rodu *Fusarium* spojené s *A. altissima*, ale v tejto štúdii neboli identifikované, sú *Fusarium oligoseptatum* a *Fusarium lateritium* v USA (Anonymous 1960; Aoki a kol. 2018).

Záver

Táto štúdia potvrdila, že v populáciách *A. altissima* na Slovensku sú prítomné dva druhy rodu *Verticillium*: *V. dahliae* a *V. nonalfalfae*. Napriek nižšej virulencii druhu *V. dahliae* boli tomuto druhu pripísané záznamy odumierajúcich stromov *A. altissima* v severnom Taliansku (Longa a kol. 2019) a v Maďarsku (Izsépi a kol. 2018) priradené k tomuto druhu Verticillia. Zároveň je

V. dahliae jediným patogénom izolovaným z odumierajúcich *A. altissima* v stredomorskej oblasti (Pisuttu a kol. 2020) a zaslúži si pozornosť ako potenciálny prostriedok biologickej ochrany aj na juhu USA (Pierce 2024). Keďže *V. dahliae* má široké spektrum hostiteľov, pred aplikáciou je potrebné vykonať detailné štúdie spektra hostiteľov a náchylnosti, nielen hospodársky významných drevín, ale aj reakciu necieľových druhov. Na druhej strane, vysoká účinnosť *V. nonalfalfae* voči drevine *A. altissima* v Európe a žiadny alebo len veľmi limitovaný vplyv na testované necieľové a príbahlé druhy stromov a jej prirodzený výskyt v európskych krajinách (Maschek a Halmschlager 2017, Moragrega a kol. 2021) umožňuje považovať tento druh huby za pomerne hostiteľsky špecifický biologický prostriedok ochrany na potlačenie vysoko invázneho druhu stromu *A. altissima* v Európe (Lechner a kol. 2023, Maschek a Halmschlager 2018). Okrem toho boli počas tejto štúdie identifikované rôzne patogénne druhy húb, z ktorých niekoľko bolo prvýkrát detegovaných u *A. altissima*. Okrem toho sú niektoré z nich známe rastlinné patogény, ktoré by sa mohli potenciálne považovať za prostriedky biologickej ochrany, ale v takom prípade je potrebné najprv preskúmať a potvrdiť ich patogenitu voči *A. altissima* a ich necieľový účinok.

Podakovanie

Práca bola financovaná Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky v rámci Grantovej agentúry pre kultúru a vzdelávanie (KEGA) číslo 004SPU-4/2023 KR:EK:IN - Krajinná ekonomika pre inovatívne a udržateľné interdisciplinárne univerzitné vzdelávanie na Slovensku a grantom Pedagogickej fakulty Trnavskej univerzity v Trnave, č. B10/2022, ev. č. 584. Táto práca bola podporená aj programom MVTS COST 20132 - Urban Tree Guard - Ochrana európskych mestských stromov a lesov prostredníctvom zlepšenej biobezpečnosti (UB3Guard)>, podporovanej programom COST.

Literatúra

- Agrios G.N. 2005. Plant Pathology. 5th Edition. Elsevier Academic Press, Burlington, USA
- Anonymous 1960. Index of Plant Diseases in the United States. U.S.D.A. Agric.Handb. 165:1–531.
- Aoki T., Kasson M.T., Berger M.C., Freeman S., Geiser D.M., O'Donnell K. 2018. *Fusarium oligoseptatum* sp. nov., a mycosymbiont of the ambrosia beetle *Euwallacea validus* in the eastern U.S. and typification of *F. ambrosium*. Fungal Sys Evol 1:23–39. <https://doi.org/10.3114/fuse.2018.01.03>
- Arnaud G., Barthlet J. 1931. Recherches sur les dépérissements des arbres d'alignement [Research on the decline of avenue trees]. Annales des Epiphytes 17:249–323. [in French]
- Barreto R., Charudattan R., Pomella A., Hanada R. 2000. Biological control of neotropical aquatic weeds with fungi. Crop Protection 19(8-10): 697–703. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00093-4](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00093-4)
- Bensch K., Groenewald J.Z., Dijksterhuis J., Starink-Willemsse M., Andersen B., Summerell B.A., Shin H.-D., Dugan F.M., Schroers H.-J., Braun U., Crous P.W. 2010. Species and ecological diversity within the *Cladosporium cladosporioides* complex (Davidiellaceae, Capnodiales). Stud Mycol 67:1–94.
- Bhunjun C.S., Phukhamsakda C., Jayawardena R.S., Jeewon R., Promputtha I., Hyde K.D. 2021. Investigating species boundaries in *Colletotrichum*. Fungal Divers 107:107–127.
- Brooks R.K., Wickertb K.L., Baudoina A., Kassonb M.T., Salomec S. 2020. Field-inoculated *Ailanthus altissima* stands reveal the biological control potential of *Verticillium nonalfalfae* in the mid-Atlantic region of the United States. Biol Control 148: 104298
- Butin H., Strouts R.G., Lonsdale D. 1995. Tree Diseases and Disorders. Oxford University Press. pp 167–8.
- Chehri K., Salleh B., Zakaria L. 2015. Morphological and phylogenetic analysis of *Fusarium solani* species complex in Malaysia. Microb Ecol 69(3):457–471.
- Dai F. 1979. Sylloge Fungorum Sinicorum. Science Press, Beijing
- Damm U., Cannon P., Woudenberg J., Crous P. 2012. The *Colletotrichum acutatum* species complex. Stud Mycol 73:37–113. doi: 10.3114/sim0010
- de Errasti A., Novas M.V., Carmarán C.C. 2014. Plant-fungal association in trees: insights into changes in ecological strategies of *Peroneutypa scoparia* (Diatrypaceae). Flora 209:704–710. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2014.07.006>
- Di Francesco A., Zajc J., Gunde-Cimerman N., Aprea E., Gasperi F., Placi N., Caruso F., Baraldi E. 2020. Bioactivity of volatile organic compounds by *Aureobasidium species* against gray mold of tomato and table grape. World J Microbiol Biotechnol 36:171. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02947-7>
- Ding J., Wu Y., Zheng H., Fu W., Reardon R., Liu M. 2006. Assessing potential biological control of the invasive plant, tree-of-heaven, *Ailanthus altissima*. Biocontrol Sci Tech 16(6):547–566. <https://doi.org/10.1080/09583150500531909>

- Farr D.F., Bills G.F., Chamuris G.P., Rossman A.Y. 1989. Fungi on plants and plant products in the United States. The American Phytopathological Society, Minnesota
- Goidànich G. 1935. Nuovi casi di tracheomicosi da "Verticillium" in Italia [New cases of Verticillium wilt disease in Italy]. Bollettino della Stazione di Patologia Vegetale, Roma 15:548–554. [in Italian]
- Hongsanan S., Norphanphoun C., Senanayake I.C., Jayawardena R.S., Manawasinghe I.S., Abeywickrama P.D., Khuna S., Suwannarach N., Senwana C., Monkai J. et al 2023. Annotated notes on *Diaporthe* species. Mycosphere 14:918–1189. Doi 10.5943/mycosphere/14/1/12
- Inderbitzin P., Bostock R.M., Davis R.M., Usami T., Platt H.W., Subbarao K.V. 2011. Phylogenetics and taxonomy of the fungal vascular wilt pathogen *Verticillium*, with the description of five new species. PLoS One 6(12):e28341. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028341>
- Izsépi F., Varjas V., Tóth T., Koncz L., Tenorio-Baigorria I., Végh A. 2018. First report of Verticillium wilt of *Ailanthus altissima* in Hungary caused by *Verticillium dahliae*. Plant Dis 102:1454. doi: 10.1094/PDIS-12-17-1914-PDN
- Jenkins D. 2004. Virginia's big stink: controlling *Ailanthus*. <http://www.cnr.vt.edu/forestupdate/Articles/bigstink.htm>. Accessed 3 November 2004.
- Julien M.H., Griffiths M.W. 1998. Biological control of weeds: a world catalogue of agents and their target weeds. CAB International, Wallingford
- Kasson M.T., Short D.P.G., O'Neal E.S., Subbarao K.V., Davis D.D. 2014. Comparative pathogenicity, biocontrol efficacy, and multilocus sequence typing of *Verticillium nonalfalfae* from the invasive *Ailanthus altissima* and other hosts. Phytopathology 104(3):282–292. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-13-0148-R>
- Kasson M.T., O'Neal E.S., Davis D.D. 2015. Expanded host range testing for Verticillium nonalfalfae: potential biocontrol agent against the invasive *Ailanthus altissima*. Plant Dis 99:823–835. doi: 10.1094/PDIS-04-14-0391-RE
- Klosterman S.J., Atallah Z.K., Vallad G.E., Subbarao K.V. 2009. Diversity, pathogenicity, and management of *Verticillium* species. The Annu Rev Phytopathol 47:39–62. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081748>
- Kobayashi T. 2007. Index of fungi inhabiting woody plants in Japan. Host, Distribution and Literature. Zenkoku-Noson-Kyoiku Kyokai Publishing Co., Ltd.:1227.
- Kowalski T., Bilański P. 2022. Fungicolous fungi on pseudosclerotial plates and apothecia of *Hymenoscyphus fraxineus* and their biocontrol potential. Microorganisms 10(11):2250. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10112250>
- Li R.Z., Tao D.W. 1980. Tree of Heaven. Henan People's Publishing House, Henan, China
- Longa C.M.O., Pietrogiovanna M., Minerbi S., Andriolo A., Tolotti G., Maresi G. 2019. First observation of Verticillium wilt on *Ailanthus altissima* in the Eastern Italian Alps (Trentino-South Tyrol). J Plant Pathol 101:757. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-00217-y>
- Looney B., Birkebak J., Matheny P.B. 2013. Systematics of the genus *Auricularia* with an emphasis on species from the southeastern United States. North American Fungi 8:1–25.
- Lutz T., Japić E., Bien S., Jutta Langer G., Heinze C. 2022. Characterization of a novel altarnavirus infecting the fungal pathogen *Fusarium solani*. Virus Res 317:198817. doi: 10.1016/j.virusres.2022.198817.
- Magin L. 1894. Sur une maladie del Ailantes, dans les parcs et promenades de Paris [About an Ailanthus disease, in parks and walks of Paris]. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 129:658–661. [in French]
- Markell S.G., Harveson R.M., Block C.C., Gulya T.J. 2015. Sunflower diseases. In: Martínez-Force E, Dunford NT, Salas JJ (eds). Sunflower: Chemistry, Production, Processing and Utilization. AOCS Press; Urbana, IL, USA, pp 93–128.
- Maschek O., Halmschlager E. 2016. First report of Verticillium wilt on *Ailanthus altissima* in Europe caused by *Verticillium nonalfalfae*. Plant Dis 100:529. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-15-0733-PDN>
- Maschek O., Halmschlager E. 2017. Natural distribution of Verticillium wilt on invasive *Ailanthus altissima* in eastern Austria and its potential for biocontrol. For Pathol 47:e12356. <https://doi.org/10.1111/efp.12356>
- Maschek O., Halmschlager E. 2018. Effects of *Verticillium nonalfalfae* on *Ailanthus altissima* and associated indigenous and invasive tree species in eastern Austria. Eur J Forest Res 137:197–209. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1099-y>
- Moragrega C., Carol J., Bisbe E., Fabregas E., Llorente I. 2021 First report of Verticillium wilt and mortality of *Ailanthus altissima* caused by *Verticillium dahliae* and *V. albo-atrum* sensu lato in Spain. Plant Disease 105(11). <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-21-0463-PDN>
- Lechner Y., Maschek O., Kirisits T., Halmschlager E. 2023. Further pathogenicity testing of *Verticillium nonalfalfae*, a biocontrol agent against the invasive Tree of Heaven (*Ailanthus altissima*), on non-target tree species in Europe. Phytoparasitica 51:113–130. <https://doi.org/10.1007/s12600-022-01032-z>
- Mathur M., Gehlot P. 2018. Recruit the Plant Pathogen for Weed Management: Bioherbicide – A Sustainable Strategy. In Gehlot P., Singh J. (eds) Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives. Springer, Singapore, pp 159–181. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0393-7_10

- Norphanhoun C., Gentekaki E., Hongsan S., Jayawardena R., Senanayake I.C., Manawasinghe I.S., Abeywickrama P.D., Bhunjun C.S., Hyde K.D. 2022. *Diaporthe*: Formalizing the species-group concept. *Mycosphere* 13:752–819. Doi 10.5943/mycosphere/13/1/9
- O’Neal E.S., Davis D.D. 2015. Intraspecific root grafts and clonal growth within *Ailanthus altissima* stands influence *Verticillium nonalfalfae* transmission. *Plant Dis* 99(8):1070–1077. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-14-0722-RE>
- Pegg G.F., Brady B.L. 2002. *Verticillium* wilts. CABI Publishing, Wallingford, UK. [online] URL: <http://books.google.com/books?id=Ks4tbrkiR8cC>
- Pierce K.H. 2024. Investigation of the ecological interactions and host specificity of *Verticillium nonalfalfae*, a proposed biological control agent against the invasive tree-of-heaven (*Ailanthus altissima*). West Virginia University ProQuest Dissertations & Theses, 31629753. DOI:10.33915/etd.12603
- Pisutttu C., Marchica A., Bernardi R., Calzone A., Cotozzi L., Nali C., Pellegrini E., Lorenzini G. 2020. *Verticillium* wilt of *Ailanthus altissima* in Italy caused by *V. dahliae*: new outbreaks from Tuscany. *iForest* 13:238–245. <https://doi.org/10.3832/for3238-013>
- Raček M., Adamčíková K., Peterková V., Il’ko I. 2025. Culturable fungal species in a *Verticillium nonalfalfae* treated and nontreated *Ailanthus altissima* stand in Slovakia. *Journal of Plant Pathology*, 107:1171–1182. <https://doi.org/10.1007/s42161-025-01893-3>
- Qian Y., Yu H., He D., Yang H., Wang W., Wan X., Wang L. 2013. Biosynthesis of silver nanoparticles by the endophytic fungus *Epicoccum nigrum* and their activity against pathogenic fungi. *Bioprocess Biosyst Eng* 36(11):1613–1619. <https://doi.org/10.1007/s00449-013-0937-z>
- Sandoval-Denis M., Guarnaccia V., Polizzi G., Crous P.W. 2018. Symptomatic Citrus trees reveal a new pathogenic lineage in *Fusarium* and two new *Neocosmospora* species. *Persoonia* 40:1–25. DOI: 10.3767/persoonia.2018.40.01
- Schall M.J. 2008. *Verticillium* wilt of *Ailanthus altissima*. Dissertation, Pennsylvania State University
- Schmidt O. 2006. *Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use*. Springer, Berlin Heidelberg
- Schwarze F.W.M.R., Engels J., Mattheck C. 2000. *Fungal Strategies of Wood Decay in Trees*. Springer, Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-57302-6>
- Sheppard A.W., Shaw R.H., Sforza R. 2006. Top 20 environmental weed for classical biological control in Europe: a review of opportunities, regulations and other barriers to adoption. *Weed Res* 46:93–117. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2006.00497.x>
- Shin H.D. 2000. *Erysiphaceae of Korea*. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea: 320.
- Simmons E.G. 2007. *Alternaria: An Identification Manual: fully illustrated and with catalogue raisonné 1796-2007*. CBS Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, The Netherlands, pp 500–502
- Simonyan S.A. 1981. [Mycoflora of Botanical gardens and arboretums of the Armenian S.S.R.] (Translated from Russian). Publ. House Acad. Sci. Yerevan
- Skarmoutsos G., Skarmoutsou H. 1998. Occurrence of wilt disease caused by *Verticillium dahliae* on *Ailanthus glandulosa* in Greece. *Plant Dis* 82:129. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1998.82.1.129B>
- Stamets P. 2005. *Mycelium Running*. Ten Speed Press, Berkeley
- Swingle W.T. 1916. The early European history and the botanical name of the Tree of Heaven, *Ailanthus altissima*. *J Wash Acad Sci* 6:490–498. <http://www.jstor.org/stable/24521283>
- Tisserat N.A., Rossman A.Y., Nus A. 1988. A canker disease of Rocky Mountain Juniper caused by *Botryosphaeria stevensii*. *Plant Dis* 72:699–701. DOI: 10.1094/PD-72-0699.
- Tranier M.S., Pognant-Gros J., Quiroz R.D.L.C., González C.N.A., Mateille T., Roussos S. 2014. Commercial biological control agents targeted against plant-parasitic root- knot nematodes. *Braz Arch Biol Technol* 57(6):831–841. <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201402540>
- van Rensburg J.C.J., Lamprecht S.C., Groenewald J.Z., Castlebury L.A., Crous P.W. 2006. Characterisation of *Phomopsis* spp. associated with dieback of rooibos (*Aspalathus linearis*) in South Africa. *Stud. Mycol* 55: 65–74.
- Vasilyeva L.N., Stephenson S.L. 2006. Pyrenomycetes of the Great Smoky Mountains National Park. III. *Cryptosphaeria*, *Eutypa* and *Eutypella* (Diatrypaceae). *Fungal Divers* 22:243–254.
- Wei J.C. 1979. *Identification of fungus handbook*. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai
- White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis M.A., Gelfand D.H., Sninsky J.J., White T.J. (eds) *PCR Protocols: A Sequencing Guide to Methods and Applications*. Academic Press, San Diego, pp. 315–322
- Wickert K., O’Neal E., Davis D.D., Kasson M.T. 2017. Seed production, viability, and reproductive limits of the invasive *Ailanthus altissima* (tree- of-heaven) within invaded environments. *Forests* 8:226. <https://doi.org/10.3390/f8070226>
- Wilhelm S. 1955. Longevity of the *Verticillium* wilt fungus in the laboratory and field. *Phytopathology* 45:180–181.

Zheng H., Wu Y., Ding J., Binion D., Fu W., Reardon R. 2004. Invasive plants of Asian origin established in the United States and their natural enemies. Vol. 2. Chinese Academy of Agricultural Sciences, USDA Forest Service.
Zhuang J. 1990. Addition to Aecidium from China. Acta Mycologica Sinica 9:191–195 (in Chinese)
Zhuang W.-Y. 2005. Fungi of northwestern China. Mycotaxon, Ltd., Ithaca, NY

Kontaktné adresy autorov:

Katarína Adamčíková, Ústav ekológie lesa SAV v.v.i., Akademická 2, SK-94901 Nitra, SR

Ivan Il'ko, Viera Peterková, Pedagogická fakulta Trnavskej univerzity v Trnave, Priemyselná 4, SK-91843 Trnava, SR

Marcel Raček, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tulipánová 7, SK-94976 Nitra, SR

VARIABILITA OBSAHU ZN VO VRSTVÁCH PÔD ZNEČISTENÝCH EMISIAMI MAGNEZITOVÉHO ZÁVODU V LUBENÍKU

VARIABILITY OF ZN CONTENT IN SOIL LAYERS POLLUTED BY EMISSIONS OF THE MAGNESITE PLANT IN LUBENÍK

Margita Kuklová, Ján Kukla, Katarína Sládeková, Ivan Mihál

Abstract: In this work, we evaluated the variability of Zn content in the organic horizon and in the 0–30 cm layer of soils in pollution zones A to D (control) affected by emissions from the magnesite plant in Lubeník. In pollution zones A, C and D, the Zn content significantly increased from the organic horizon to the 0–5 cm layer of soil and subsequently decreased to the lower soil layers, while in zone B it decreased linearly with increasing soil depth. PCA showed that C and N contents and pH_{H_2O} values with factor loadings > 0.80 had a significant relationship to the PC1 axis, while Zn content had a relationship to the PC2 axis. Zn content significantly positively correlated with the 0–5 cm layer of soils in pollution zones C and D (111 and 115 mg Zn kg⁻¹) and with the Ol subhorizon in zone B (93 mg Zn kg⁻¹), which are significantly the highest values in terms of the ability to accumulate Zn.

Keywords: magnesite immissions, plant species, manganese, cadmium, Central Slovakia

Úvod

Zn sa v prírode vyskytuje spontánne a tvorí asi 0,004 % zemskej kôry s rozsahom koncentrácií medzi 10 a 300 mg kg⁻¹ (Malle 1992). Celkový obsah Zn v nekontaminovaných pôdach môže nadobúdať hodnoty od 10 do 100 mg kg⁻¹ (Mertens a Smolders 2013). Najnižšie hodnoty Zn boli zistené v piesočnatých pôdach a najvyššie vo vápenatých a organických pôdach. Kabata-Pendias a Pendias (2001) uvádzajú pre pôdy sveta priemerný obsah 64 mg Zn kg⁻¹, kým Adriano (2001) uvádza 60 mg kg⁻¹. Celkový obsah Zn vo vrchných vrstvách pôd Slovenska sa pohybuje od 3 do 14 925 mg kg⁻¹, s charakteristickým intervalom 52–86 mg Zn kg⁻¹ a mediánom 66,3 mg Zn kg⁻¹ (Čurlík a Šefčík 2012). Medzi antropogénne zdroje zinku kontaminujúce pôdu patria najmä emisie z priemyslu, aplikácie kalov a agrochemikálií.

Zinok je esenciálny rastlinný mikroelement, ktorý pôsobí pri vyšších koncentráciách negatívne na metabolické procesy a môže spôsobiť pokles produkcie biomasy a poškodenie orgánov rastlín (Makovníková a kol. 2006). Humus a jeho kvalita sú dôležité pre distribúciu zinku v pôde, jeho uvoľňovanie a prijateľnosť rastlinami. Podľa Barančíkovej (1998) zinok pri hodnote pH nižšej ako 5,5, disponuje maximálnou mobilitou v pôdnom prostredí. V pôde zostáva hlavne v povrchových vrstvách, pričom až 70 % zinku sa koncentruje v horných 4 cm pôdy.

V práci sme sa zamerali na posúdenie obsahu Zn vo vrstvách pôd ovplyvňovaných v pásmach A, B, C a D emisiami znečisťujúcich látok z magnezitového závodu v Lubeníku.

Materiál a metódy

Výskum bol realizovaný v imisných zónach A až D magnezitového závodu v Lubeníku v rokoch 2021–2023. Vzorky pôd klasifikovaných podľa IUSS Working Group WRB (2022) boli odobraté na náhodne vybraných plochách zo subhorizontov organického horizontu (Ol, Of) a z pôdných vrstiev 0–5, 10–20 a 20–30 cm (celkom 15 vzoriek) v troch vyhotoveniach. Celkový obsah Zn v pôdných vrstvách sa stanovil po mineralizácii vzoriek v koncentrovanej HNO₃ metódou FAAS s použitím prístroja SensAA (Braeside, Austrália).

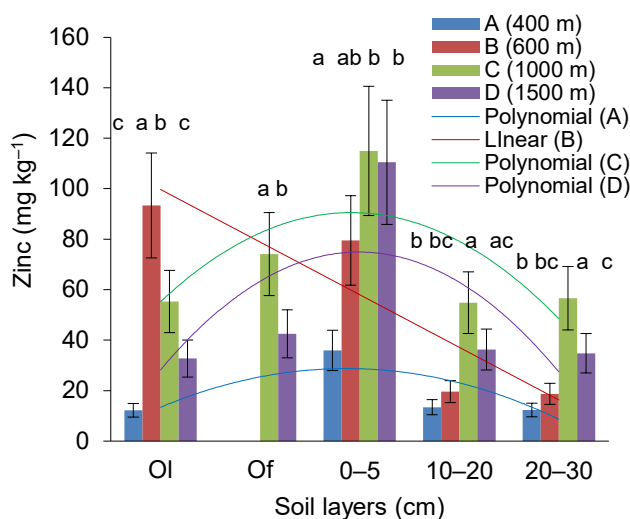
Údaje boli interpretované pomocou programu Statistica, verzia 9.0, StatSoft (Tulsa, USA). Principal Component Analysis (PCA) sa uskutočnila v programe PAST (verzia 4.03). Variabilita Zn v pôdných vrstvách bola hodnotená na základe výsledkov ANOVA ($p \leq 0,05$),

po ktorej nasledoval post-hoc Tukey test. PCA bola použitá na vyhodnotenie vzťahov medzi hodnotami parametrov $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, C, N a Zn pôd zistenými v rôznych vzdialenostiach (zónach znečistenia) od emisného zdroja. Vlastné hodnoty (eigenvalues) < 1 sa nepovažovali za významné. Klastrová analýza sa použila na rozklad obsahu Zn v pôdnych vrstvách v zónach znečistenia A–D na niekoľko relatívne rovnorodých podmnožín (zhlukov) tak, aby objekty patriace do rovnakého zhľuku si boli čo najviac podobné. Na výpočet vzdialeností sme použili euklidovskú vzdialenosť.

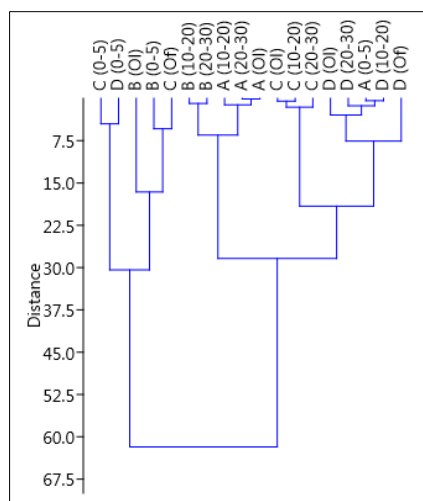
Výsledky a diskusia

Obsah Zn v subhorizontoch Ol a Of organického horizontu sa pohyboval od $12,2 \text{ mg kg}^{-1}$ (zóna A) do $93,4 \text{ mg kg}^{-1}$ (zóna B), kým v minerálnych vrstvách od $12,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (zóna A) do 115 mg kg^{-1} (zóna C), (obr. 1). Výsledky klastrovej analýzy sú na obr. 2. Prvý klaster s najvyšším obsahom Zn tvorili 0–5 cm pôdne vrstvy v zónach znečistenia C a D ($111\text{--}115 \text{ mg kg}^{-1}$), druhý klaster tvoril horizont Ol a 0–5 cm vrstva v zóne B a v C zóne spolu s Of horizontom ($74,1\text{--}93,4 \text{ mg kg}^{-1}$). Tretiu skupinu predstavoval horizont Ol spolu s 10–20 cm a 20–30 cm vrstvami v C zóne ($54,8\text{--}56,6 \text{ mg kg}^{-1}$). Štvrtá skupina patrila organickým horizontom Ol a Of, spolu s 10–20 cm a 20–30 cm vrstvami v D zóne a v A zóne spolu s 0–5 cm vrstvou ($32,7\text{--}42,5 \text{ mg kg}^{-1}$). Poslednú piatu skupinu tvorili 10–20 cm a 20–30 cm vrstvy v B zóne a Ol subhorizont spolu s 10–20 cm a 20–30 cm vrstvami v A zóne ($12,2\text{--}19,6 \text{ mg kg}^{-1}$).

V zónach A, C a D boli zistené mierne negatívne polynomicke trendy obsahu Zn v pôdnych vrstvách, kým v zóne B bol zistený silný negatívny lineárny trend (obr. 1). V zónach A, C a D sa obsah Zn výrazne zvyšoval od organického horizontu k 0–5 cm pôdnym vrstvám a následne klesal k nižším vrstvám pôdy, zatiaľ čo v zóne B klesal lineárne s hĺbkou pôdy. Obsahy Zn vo vrstvách pôd 0–30 cm v zónach C a D boli v porovnaní so zónami A a B významne vyššie. V porovnaní s ostatnými zónami bol obsah Zn v subhorizonte Ol významne vyšší v zóne B, zatiaľ čo v subhorizonte Of bol obsah Zn významne vyšší v zóne C.



Obr. 1. Obsah Zn v subhorizontoch organického horizontu a v pôdnych vrstvách 0–5, 10–20 a 20–30 cm v zónach znečistenia A–D (Zn: A: $R^2 = -0.605$, $p < 0.05$; B: $R^2 = -0.824$, $p < 0.01$; C: $R^2 = -0.500$, $p < 0.05$; D: $R^2 = -0.439$, $p < 0.05$). Významne odlišné hodnoty (Tukey HSD test, $p < 0.05$) sú označené rôznymi písmenami (a,b,c).



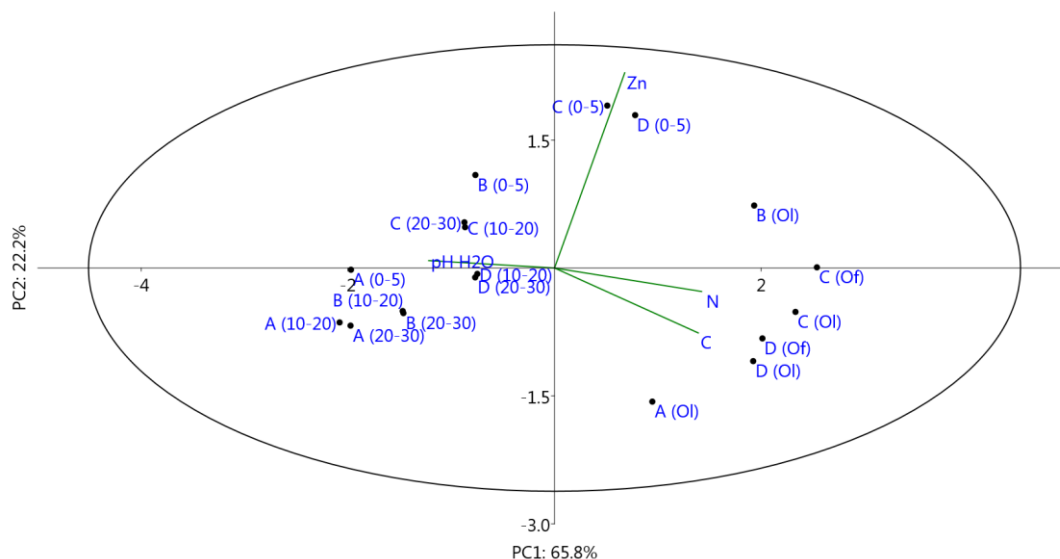
Obr. 2. Dendrogram obsahu pôdného Zn v zónach znečistenia A–D.

V okolí magnezitového závodu v Lubeníku klesali hodnoty pH_{H_2O} organického horizontu (6,67–5,45) a minerálnych vrstiev (8,92–6,04) pôd od zóny znečistenia A k zóne D. Obsahy C a N v pôdach vo všetkých zónach významne klesali od organických horizontov s maximom v zóne C (C: 49,5%; N: 2,2%) smerom k minerálnym horizontom s minimom v zóne A (C: 0,2%; N: 0,008%). Korelácia pôdných premenných s osami hlavných komponentov je uvedená v tabuľke 1. PC1 os vysvetlila 65,84% variability pôvodných údajov, PC2 os 22,18%, PC3 os 11,37 % a os PC4 iba 0,61% variability. Korelačný koeficient $> 0,75$ naznačuje, že existuje významná pozitívna alebo negatívna korelácia pôdnej premennej s osami hlavných komponentov. Obsahy C a N významne pozitívne korelovali s osou PC1, zatiaľ čo hodnoty pH_{H_2O} významne negatívne korelovali s osou PC1. Na druhej strane, korelácia Zn k osi PC2 bola významne pozitívna (0,887).

Tab. 1. Korelačná tesnosť pôdných premenných k osiam hlavných komponentov (PC).

Pôdne premenné	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
pH_{H_2O}	–0,813	0,034	0,581	0,011
Uhlík	0,929	–0,295	0,195	0,109
Dusík	0,950	–0,107	0,271	–0,108
Zinok	0,454	0,887	0,075	0,023
Eigenvalue	2,633	0,887	0,455	0,024
Variabilita (%)	65,836	22,183	11,373	0,609

Každá premenná v množine údajov je vykreslená ako vektor (šípky), (obr. 3). Obsahy C a N najtesnejšie korelovali s Ol a Of subhorizontmi organického horizontu, zatiaľ čo obsahy Zn korelovali s 0–5 cm pôdnymi vrstvami v zónach C a D, ale aj Ol horizontom v B zóne, čo naznačuje významné hodnoty, pokiaľ ide o schopnosť akumulovať Zn. Hodnoty pH_{H_2O} najtesnejšie korelovali s 10–30 cm vrstvou pôdy v zóne znečistenia C, ako aj s 0–5 cm vrstvou v zóne B. Premenná hodnota pH_{H_2O} negatívne korelovala s obsahmi C a N.



Obr. 3. PCA analýza variability obsahu Zn, Corg, N a pH_{H2O} hodnôt v subhorizontoch organického horizontu a v pôdnych vrstvách 0–5, 10–20 a 20–30 cm v zónach znečistenia A–D.

Zvýšené obsahy Zn v pôdach Slovenska (viac ako 86 mg kg⁻¹) sa vyskytujú najmä v oblastiach výskytu a spracovania polymetalických rúd (Čurlík a Šefčík 2012). Podľa Zhang a kol. (2019) v typickej krasovej zóne ovplyvnenej atmosférickým ukladaním ťažkých kovov na juhozápade Číny vykazovala pri rôznych typoch využitia pôdy PC2 os vysoko pozitívne faktorové zaťaženie pre Zn. Autori uvádzajú vyššie obsahy Zn vo vrchnej vrstve (65–90 mg kg⁻¹) ako v hlbších vrstvách pôdy (55–80 mg kg⁻¹). Aj v oblasti magnezitového závodu v Lubeníku korelácia Zn k osi PC2 bola významne pozitívna. Významne vyšší obsah Zn sa zistil v 0–5 cm vrstvách pôd v zónach C a D, ako aj v Ol horizonte v B zóne, čo naznačuje významne vyššiu schopnosť akumulovať Zn. Podobne hodnoty vertikálnej distribúcie Zn v nenarušených pôdnych profiloch v blízkosti oceliarní v provincii Jiangsu (Čína) ukázali, že v hornej vrstve profilov dochádza k obohacovaniu Zn (120–160 mg kg⁻¹) z cudzích zdrojov, keďže koncentrácia Zn v profile 20–100 cm rýchlo klesala (k 80 mg kg⁻¹), (Ruan a kol. 2008). Na základe klastrovej analýzy skupinu s najnižším obsahom Zn v pôdach predstavovali minerálne pôdne vrstvy (10–30 cm) v B zóne, ako aj 10–30 cm vrstvy v A zóne. Noulas a kol. (2018) uvádza, že nedostatok zinku je bežný najmä na vápenatých, erodovaných a planírovaných pôdach s vysokým pH.

Záver

Výsledky ukázali, že vertikálna distribúcia Zn v pôdnych profiloch je výsledkom jeho akumulácie a migrácie pri kombinovanom vplyve edafických faktorov a podmienok prostredia. Významne vyššie obsahy Zn boli hlavne v povrchovej 0–5 cm vrstve pôd v zónach C a D, ako aj v Ol subhorizonte v B zóne. Analýza obsahu Zn odhalila jeho nedostatok v spodných 10–30 cm vrstvách pôd v zóne B, ako aj v Ol subhorizonte a v 10–30 cm vrstvách pôd v zóne A.

Literatúra

- Adriano D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. 2nd Edition, Springer, New York, 867. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5>.
- Barančíková G. 1998. Návrh účelovej kategorizácie pôd SR z hľadiska citlivosti k znečisteniu ťažkými kovmi. Rostlinná výroba, 44, 3: 117–122.
- Čurlík J., Šefčík P. 2012. Geochemical Atlas of the Slovak Republic, part V: Soils. State Geological Institute of Dionýz Štúr, Bratislava, 2012. Available online: <http://apl.geology.sk/atlaspody> (accessed 10 May 2021).

IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, 4th edn. International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna, Austria.

Kabata-Pendias A., H. Pendias. 2001. Trace Elements in Soils and Plants, third ed., CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida, USA, 2001.

Makovníková J., Barančíková G., Dlapa P., Dercová K. 2006. Anorganické kontaminanty v pôdnom ekosystéme. Chemické listy, 100: 424–432.

Malle K.G. 1992. Zink in der Umwelt. Acta Hydrochim. Hydrobiol. 20: 196–204.

Mertens J., Smolders E. 2013. Zinc. In: B.J. Alloway (Ed.), Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability, Springer, Dordrecht, Netherlands, 465–493.

Noulas C., Tziouvalekas M., Karyotis T. 2018. Zinc in soils, water and food crops. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 49, 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>.

Ruan X-L., Zhang G-L., NI L-J., HE Y. 2008. Distribution and Migration of Heavy Metals in Undisturbed Forest Soils: A High Resolution Sampling Method. Pedosphere, 18, 3, 386-393, [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(08\)60029-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(08)60029-6).

Zhang, Q., Han, G., Liu, M. et al. 2019. Spatial distribution and controlling factors of heavy metals in soils from Puding Karst Critical Zone Observatory, southwest China. Environ Earth Sci 78:279. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8280-6>.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory výskumného projektu VEGA 2/0001/25 a 2/0045/22.

Kontaktné adresy autorov:

Ing. Margita Kuklová, CSc., Ústav ekológie lesa v.v.i. SAV, Ľ. Štúra 2, 960 01 Zvolen, e-mail: kuklova@ife.sk
 Ing. Ján Kukla, CSc., Ústav ekológie lesa v.v.i. SAV, Ľ. Štúra 2, 960 01 Zvolen, e-mail: jn.kukla@gmail.com
 RNDr. Ivan Mihál, CSc., Ústav ekológie lesa v.v.i. SAV, Ľ. Štúra 2, 960 01 Zvolen, e-mail: mihal@ife.sk
 Ing. Katarína Sládeková, Ústav ekológie lesa v.v.i. SAV, Ľ. Štúra 2, 960 01 Zvolen, e-mail: sladekova@ife.sk

NIEKTORÉ ASPEKTY VPLYVU IMISNÉHO ZNEČISTENIA NA MYKOBIOTU V OKOLÍ HLINIKÁRNE V ŽIARI NAD HRONOM (STREDNÉ SLOVENSKO)

SOME ASPECTS OF THE IMPACT OF AIR POLLUTION ON MYCOBIOTA IN THE VICINITY OF THE ALUMINIUM SMELTER IN ŽIAR NAD HRONOM (CENTRAL SLOVAKIA)

Ivan Mihál, Margita Kuklová, Ján Kukla

Abstract: Mycobiota in general is very sensitive to air pollution, therefore the aim of our research of forest ecosystems in the vicinity of the aluminium plant in Žiar nad Hronom was to quantify significant changes in macromycete communities in this region. We also assessed the mycorrhizal potential of ectomycorrhizal mycobiota. We found a low occurrence of the bioindicator fungus *Ascodichaena rugosa* at the Žiar nad Hronom site, compared to the Jalná and Kováčová sites. Similarly, beech bark necrotization indices had the highest values at the Žiar nad Hronom site, which was also confirmed in the total abundance of the species spectrum of ectomycorrhizal fungi, and also in the low values of mycorrhizal potential at the Žiar nad Hronom site most affected by air pollution.

Keywords: air pollution, mycobiota, macromycetes, aluminium smelter, central Slovakia

Úvod

Makromycéty, ako súčasť mykobioty, rastúce v bukových lesných porastoch, predstavujú zložitý ekologický systém spojený s prostredím, ktoré buk vytvára. Jedným z ukazovateľov zdravotného stavu lesných porastov sú aj mykologické pomery, pretože huby ako bioindikátory reagujú pomerne rýchlo na zmeny, ktoré nastávajú v imisne zasiahnutých lesných ekosystémoch. Človekom produkované emisie môžu byť vzdušnými prúdmi transportované ďaleko od miesta svojho pôvodu a ukladať sa na povrch ihlíc a listov stromov, ale aj na povrch pôdy (Michopoulos 2021; Novotný a kol. 2021).

Makromycéty majú schopnosť viazať polutanty adsorpciou na koloidné častice, alebo do nerozpustných či málo rozpustných zlúčenín (Novotný a kol. 2021). Územie Žiarskej kotliny je v rôznej miere zasiahnuté imisným znečistením tzv. fluórového typu, čo má výrazný vplyv na flóru, mykobiotu a dreviny v takýchto lesných porastoch. Treba pripomenúť, že okolie hlinikárne v žiarskom regióne je jedným z najviac kontaminovaných regiónov Slovenska (Maňkovská a Steinnes 1995). Primárnou príčinou ekologických problémov tohto regiónu bolo spustenie priemyselnej výroby hliníka v roku 1953. Začiatkom 90. rokov 20. storočia v Žiarskej kotline poklesol potenciál odolnosti bukových porastov a druhová diverzita ektomykorizných húb bola veľmi nízka (Štefančík a Mihál 1993; Pavlík 1997).

Keďže mykobiota všeobecne je veľmi citlivá na imisné znečistenie, cieľom našich výskumov lesných ekosystémov v okolí hlinikárne v Žiari nad Hronom bolo kvantifikovať výrazné zmeny v spoločenstvách makromycét v tomto regióne. Niektoré aspekty vplyvu imisného znečistenia na mykobiotu v bukových lesných ekosystémoch Žiarskej kotliny uvádzame v tomto príspevku.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Problematicou vplyvu imisného znečistenia na mykobiotu lesných porastov v okolí hlinikárne v Žiari nad Hronom sa už v minulosti zaoberalo viacero autorov, napr. Cicák a Mihál (1996), Pavlík (1997), Štefančík a Mihál (1993) a Štefančík a kol. (1996). Najnovšie výsledky výskumu

z tejto oblasti uvádzajú Cicák a Mihál (2005), Jamnická a kol. (2007), Mihál a Bučinová (2005), Mihál a kol. (2019), Mihál a Barna (2022), Barna a Mihál (2024).

V zahraničí sa podobnej problematike venovali viacerí autori, napr. Evdokimova a kol. (1997) a Evdokimova a Korniyenkova (2010) v oblasti hliníkového závodu v severozápadnom Rusku hodnotili úroveň znečistenia pôdy a rastlín fluórom a ťažkými kovmi a stav pôdnej mikroflóry. V tej istej oblasti skúmali Redkina a kol. (2020) vplyv fluórového znečistenia pôdy na pôdne mikromycéty, riasy a cyanobaktérie, pričom zistili zníženie druhovej diverzity v porovnaní s kontrolnými lokalitami. Nepriaznivý vplyv hliníka v pôde na aktinomycéty a iné pôdne huby skúmali aj Evdokimova a kol. (2013) a Szostek a kol. (2015). Na druhej strane, Bojórquez-Quinta a kol. (2017) poukazuje na možné využitie solí s obsahom Al^{3+} na kontrolu chorôb spôsobených hubami u poľnohospodárskych plodín. Zaujímavé údaje uvádza Egerton-Warburton (2015), ktorý študoval možnosti využitia imisne tolerantných kmeňov ektomykoríznych húb rodu *Pisolithus* Alb. & Schwein. proti vysokým intoxikáciám pôdy Al^{3+} iónmi v symbióze s drevinami rodu *Eucalyptus* sp. Podobne Gerlitz (1996) analyzoval vplyv hliníkových iónov v pôde na ektomykorízny druh *Suillus bovinus* (L.) Roussel. Ahonen-Jonnarth a kol. (2003) zistili, že v sadenicových kultúrach *Pinus sylvestris* L. mykORIZOVANÝCH druhom *Hebeloma* cf. *longicaudatum* (Pers.) P. Kumm. mali hliníkové ióny negatívny vplyv na túto hubu. Negatívny vplyv hliníkových iónov na ektomykorízne makromycéty uvádzajú aj Žel akol. (1993), ktorí zistili, že zvýšené koncentrácie hliníkových iónov v pôdach v okolí hlinikárni evidentne poškodzujú membrány buniek mycélia symbiotických húb, čím sa sťažuje, až úplne zastavuje medzibunkový transport iných, napr. biogénnych prvkov. Vplyv kyslých imisií z hlinikárne na asimilačný aparát drevín skúmali Wannaz a kol. (2012), ktorí konštatovali vysoký nárast depozícií hliníka a síry v listoch *Eucalyptus rostrata* Schldt., *Populus × hybridus* a *Pinus* sp. v okolí hlinikárne v južnej Argentíne. Tiež bol potvrdený negatívny vplyv hliníka na rast mladých výhonkov *Phoenix dactylifera* (Al-Mayahi 2019).

Materiál a metódy

Monitoring makromycét (zápis druhového spektra a abundancie plodníc) sme uskutočňovali počas vegetačnej doby v rokoch 1990 až 2021 v nepravidelných intervaloch na troch trvalých výskumných lokalitách: Žiar nad Hronom, Jalná a Kováčová, ktorých lesné porasty boli situované v rôznej vzdialenosti od imisného zdroja – hlinikárne v Žiari nad Hronom, t.j. imisnému vplyvu boli vystavené v rôznej intenzite (lokalita Žiar – 2 km od imisného zdroja, lokalita Jalná – 7 km, lokalita Kováčová – 18 km od zdroja).

Inventarizáciu makromycét na výskumných plochách s rozlohou 50×40 m sme uskutočnili metódou pochôdzky po vrstevnici v rámci výmery každej výskumnej plochy. Exkurzie boli vykonávané v mesačných intervaloch v rokoch 1990–1992, 1994–1996, 2003–2005, ale v rokoch 2019–2021 iba v jesenných mesiacoch. Systematické zaradenie jednotlivých druhov makromycét sa vykonalo na základe makroskopických a v sporných prípadoch i na základe mikroskopických determináčnych znakov, pomocou dostupných mykologických atlasov a determináčnych kľúčov.

Nakoľko sme na uvedených lokalitách hodnotili aj stav nekrotického ochorenia kôry buka, ako negatívneho prejavu imisnej záťaže bukových porastov, postupovali sme na základe metódik hodnotenia stupňa nekrotického poškodenia bukov (formou indexov nekrotizácie) vypracovaných autormi Cicák a Mihál (1998) a Cicák a kol. (2007).

Taktiež sme na týchto lokalitách hodnotili aj tzv. mykorízny potenciál, ktorého hodnoty boli vypočítané ako podiel ektomykoríznych (EKM) druhov k druhovému spektru terestrických saprotrofných (TS) druhov makromycét (podľa Gáper a Mihál, 2008):

$$\text{MP} = \text{EKM} / \text{TS},$$

kde MP = mykorízny potenciál, EKM = početnosť ektomykoríznych druhov, TS = početnosť terestrických saprotrofných druhov makromycét.

Výsledky a diskusia

Treba zdôrazniť, že v uvedených imisných bukových porastoch sa počas doby výskumu vyskytovalo rôzne druhové spektrum makromycét v rôznych abundančných pomeroch, pričom vždy bol prítomný trend nárastu hodnotených ukazovateľov od najviac imisne ovplyvnenej lokality Žiar po relatívne najmenej imisne postihnutú lokalitu Kováčová (Štefančík a Mihál, 1993; Cicák a Mihál, 2005; Mihál et al., 2019; Mihál a Barna, 2022; Barna a Mihál, 2024). Už na začiatku výskumu konštatovali Štefančík a Mihál (1993), že mykocenóza na lokalite Žiar sa vyznačuje nízkou kvantitou druhového spektra makromycét, nízkym zastúpením EKM húb, nevýraznou diferenciáciou dominantnej skupiny húb a časovo úzko ohraničenou a nestálou sezónnosťou výskytu makromycét.

Tento stav je do veľkej miery podporený aj výsledkami autorov Evdokimova a kol. (1997), Evdokimova a Korniyenkova (2010), ktorí v okolí hlinikárne v severozápadnom Rusku zistili, že v blízkosti hlinikárne je úroveň znečistenia až 8-krát vyššia ako obsah pozadia a 4 až 5-krát vyššia ako maximálna povolená koncentrácia (MPC). Zároveň autori zistili, že znečistenie má výrazný vplyv na taxonomické zloženie a zmenu dominancie v mykobiote skúmaného územia. Taktiež zistili, že emisie zlúčenín hliníka znížili počet a rozmanitosť húb a spôsobili nárast patogénnej druhovej diverzity húb. Pôdna biomasa húb sa v organickom horizonte maximálne znečistenej pôdy znížila z 5,4 na 3,6 mg.g⁻¹ pôdy (Evdokimova a Korniyenkova 2010).

Priamo v poraste lokality Žiar nad Hronom Jamnická a kol. (2007) zistili vysoké koncentrácie ťažkých kovov v bylinách a vybraných makromycétoch, napr. u druhu *Hygrophorus eburneus* (Bull.) Fr. namerali koncentrácie kadmia 1,25 mg.kg⁻¹, zinku 121,45, meď 17,07 a olova 3,15 mg.kg⁻¹, pričom ektomykorizna huba *H. eburneus* sa vždy počas nášho výskumu vyskytovala ako eudominantný druh (Barna a Mihál, 2024). Podobne, Jones a Muehlchen (1994) zistili, že ektomykorizne huby sa líšia v reakcii na koncentrácie ťažkých kovov. Napr. druh *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke sa ukázal ako citlivý na meď a hliník, keď koncentrácia dosiahla iba 10 ppm, ale bol tolerantný k zinku pri 10 ppm. Naproti tomu druh *Suillus variegatus* (Sw.) Richon & Roze sa ukázal ako najtolerantnejší voči hliníku najmenej až do koncentrácie 100 ppm. Počas nášho výskumu sme na lokalite Žiar druh *L. laccata* zaznamenávali iba sporadicky, podobne ako príbuzný druh *Laccaria amethystina* Cooke (Barna a Mihál, 2024). Výskyt druhu *S. variegatus* naopak, nebol nikdy zaznamenaný.

Tab. 1. Výskyt *Ascodichaena rugosa* v bukových porastoch na lokalitách v okolí hlinikárne v Žiari nad Hronom.

Lokalita	Vzdialenosť od hlinikárne (km)	Stálosť výskytu	Počet stromov
Žiar	2	84	6
Jalná	7	244	17
Kováčová	18	322	23

Medzi makromycéty, ktoré sú citlivé na imisné znečistenie a majú významné bioindikačné schopnosti, nepochybne patrí aj lignikolný epifyt *Ascodichaena rugosa* (L.) Butin, ktorý na kôre bukov vytvára čierne a husté kolónie plodníc, na dotyk pripomínajúcich drsné povlaky lišajníkov. Plodnice *A. rugosa* pomocou parazitických haustórií odoberajú živiny z korkovej vrstvy v kôre živých alebo odumierajúcich bukov (Mihál a Luptáková, 2017). Zaujímalo nás, či *A. rugosa* ako hubový epifyt rastúci na kôre bukov môže byť citlivý voči imisnému znečisteniu. Zároveň je zaujímavé, že huba *A. rugosa*, ktorá sa z hľadiska početnosti záznamov výskytu javí skôr ako prehliadaný, resp. nepoznaný druh, sa u nás vyskytuje prakticky všade a vo všetkých porastoch s výskytom buka v podhorských a horských lesoch. Napr. Mihál a Bučinová (2005) skúmali rozšírenie *A. rugosa* v bukových porastoch s rôznym stupňom imisného znečistenia v okolí hlinikárne v Žiari nad Hronom (tab. 1). Na lokalite Žiar mala huba

A. rugosa za dva roky výskumu počas 14. exkurzií hodnotu stálosti výskytu = 84, t.j. celkovo 6 stromov ($6 \times 14 = 84$) bolo permanentne pozitívnych na výskyt kolónií *A. rugosa*. Na lokalite Jalná mala *A. rugosa* za tých istých podmienok výskumu hodnotu stálosti = 244, t.j. celkovo 17 stromov bolo permanentne pozitívnych na výskyt kolónií. Na lokalite Kováčová bola hodnota = 322, t.j. celkovo 23 stromov bolo pozitívnych na výskyt *A. rugosa*, čo môže potvrdzovať citlivosť tejto huby voči imisnému znečisteniu.

V súčasnosti je už všeobecne známe, že tzv. „nekrotické ochorenie kôry buka – Beech Bark Disease – BBD“ má úzky súvis aj s imisným znečistením bukových porastov (napr. Cicák a Mihál, 1998, 2005; Cicák a kol., 2007; Mihál a kol., 2015, 2019). Z našich doterajších výsledkov vyplýva, že čím viac sú bukové porasty vystavené silnému imisnému tlaku, tým viac podliehajú ochoreniu BBD. Od roku 2004 (2007) do roku 2014 všetky lokality vykazovali rozdielne hodnoty indexov nekrotizácie pre kmene, koruny a celé stromy, s výnimkou malého nárastu I_{CS} v prípade Jalnej (tab. 2). Hodnoty indexov pre kmene, koruny a celé stromy však boli v Žiari nad Hronom vždy vyššie v porovnaní s lokalitami Jalná a Kováčová, čo môžeme pripísať aj negatívnemu vplyvu imisného znečistenia z hlinikárne v Žiari nad Hronom.

Tab. 2. Indexy nekrotizácie kmeňov bukov (I_{NKm} - 2004 a 2014), korún (I_{NKo} - 2007 a 2014), a celých stromov na študovaných lokalitách (I_{CS} - 2014).

Index nekrotizácie	Žiar		Jalná		Kováčová	
	2004 (2007*)	2014	2004 (2007*)	2014	2004 (2007*)	2014
I_{NKm}	2,13	1,60	1,45	0,77	1,13	0,53
I_{NKo}^*	1,73	1,33	1,61	1,38	0,93	0,87
I_{CS}	-	1,8	-	1,15	-	0,66

* I_{NKo} – 2007

Treba zdôrazniť, že negatívny imisný vplyv hlinikárne v Žiari nad Hronom sa výrazne podieľa na nízkom výskyte, resp. prežívaní významnej skupiny ektomykoríznych (EKM) makromycét, ktoré majú veľmi priaznivý vplyv na výživu a vitalitu lesných drevín, ako svojich symbiotických partnerov (napr. Egerton-Warburton, 2015; Mihál a Barna, 2022; Žel a kol., 1993). Toto dokumentujeme v tab. 3, v ktorej uvádzame početnosť EKM makromycét na lokalitách v okolí hlinikárne v Žiari nad Hronom v časovom intervale od roku 1990 do 2020. Z tabuľky vyplýva, že počas celého obdobia výskumu bola početnosť EKM makromycét v Žiari vždy nižšia ako na lokalitách Jalná a Kováčová, čo úzko súvisí s najvyšším imisným vplyvom na lokalite Žiar.

Tab. 3. Početnosť ektomykoríznych druhov makromycét na výskumných lokalitách v jednotlivých obdobiach výskumu.

Lokalita	1990-1992	1994-1996	2003-2005	2019-2020
Žiar	6	6	14	13
Jalná	10	16	17	26
Kováčová	18	21	29	33

Hodnoty MP (tab. 4) majú podobný trend, ako v prípade početnosti EKM druhov (tab. 3). Počas celej doby výskumu boli hodnoty mykorízneho potenciálu na lokalite Žiar vždy nižšie ako na ostatných dvoch lokalitách, čo hovorí o slabom potenciáli EKM druhov vytvárať symbiotické väzby s koreňmi stromov ako dôležitého ukazovateľa ekotrofickej stability tejto mykocenózy v nadväznosti na symbiotické vzťahy huba – drevina.

Tab. 4. Hodnoty ektomykorízneho potenciálu makromycét na výskumných lokalitách v jednotlivých obdobiach výskumu.

Lokalita	1990-1995	2003-2005	2019-2020
Žiar	0,42	0,74	0,62
Jalná	0,69	0,94	1,85
Kováčová	1,57	1,45	1,97

Záver

Územie Žiarskej kotliny je v rôznej miere zasiahnuté imisným znečistením tzv. fluórového typu, čo má výrazný vplyv na flóru, mykobiotu a dreviny v takýchto lesných porastoch. Monitoring makromycét (zápis druhového spektra a abundancie plodníc) sme uskutočňovali počas vegetačnej doby v rokoch 1990 až 2021 v nepravidelných intervaloch na troch trvalých výskumných lokalitách: Žiar nad Hronom, Jalná a Kováčová, ktorých lesné porasty boli situované v rôznej vzdialenosti od imisného zdroja – hlinikárne v Žiari nad Hronom, t.j. imisnému vplyvu boli vystavené v rôznej intenzite (lokalita Žiar – 2 km od imisného zdroja, lokalita Jalná – 7 km, lokalita Kováčová – 18 km od zdroja). Na uvedených lokalitách sme hodnotili aj stav nekrotického ochorenia kôry buka, ako negatívneho prejavu imisnej záťaže bukových porastov. Hodnotili sme aj mykorízny potenciál ektomykoríznej mykobioty. U bioindikačného druhu huby *Ascodichaena rugosa* sme zistili nízky výskyt na lokalite Žiar nad Hronom, v porovnaní s lokalitami Jalná a Kováčová (tab. 1). Podobne, indexy nekrotizácie kôry buka mali najvyššie hodnoty na lokalite Žiar nad Hronom (tab. 2), pričom nízke hodnoty boli zistené v celkovej početnosti druhového spektra ektomykoríznych húb (tab. 3), čo sa potvrdilo aj v nízkych hodnotách mykorízneho potenciálu (tab. 4) na imisne najviac postihnutej lokalite Žiar nad Hronom.

Literatúra

- AHONEN-JONNARTH U., GÖRANSSON A., FINLAY R.D., 2003: Growth and nutrient uptake of ectomycorrhizal *Pinus sylvestris* seedlings in a natural substrate treated with elevated Al concentrations. *Tree Physiology*, 23: 157-167.
- AL-MAYAH A.M.W., 2019: Effect of aluminium on the growth of the in vitro culture tissues of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Um-Adelhin. *Folia Oecologica*, 46: 164-169.
- BARNA M., MIHÁL I., 2024: Indicators of restoration in beech stands after air pollution: trees and macromycetes. *Folia Oecologica*, 51: 185-195.
- BOJÓRQUEZ-QUINTA E., ESCALANZTE-MAGANA C., ECHEVERRÍA-MACHADO I., MARTÍNEZ-ESTÉVEZ M., 2017: Aluminium, a friend or foe of higher plants in acid soils. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1767.
- CICÁK A., MIHÁL I., 1996: Zdravotný stav a mykoflóra nezmiešanej bučiny v oblastiach s odlišným imisným zaťažením. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 42: 145-152.
- CICÁK A., MIHÁL I., 1998: Index nekrotizácie kôry kmeňov buka. *Lesnictví – Forestry*, 44: 474-477.
- CICÁK A., MIHÁL I., 2005: Development of beech necrotic disease in the growing phase of maturing stand under influence of immission impact. *Journal of Forest Science*, 51: 101-107.
- CICÁK A., MIHÁL I., TSAKOV H., PETKOV P., 2007: Methods of complex evaluation of the necrotic disease of beech. *Journal of Forest Science*, 53: 462-466.642.
- EGERTON-WARBURTON L., 2015: Aluminium-tolerant *Pisolithus* ectomycorrhizas confer increased growth, mineral nutrition, and metal tolerance to *Eucalyptus* in acidic mine spoil. *Applied and Environmental Soil Science*, Article ID 203821. DOI:10.1155/2015/803821
- EVDOKIMOVA G.A., MOZGOVA N.P., SHTINA E.A., 1997: Soil pollution by fluoride and evaluation of the soil microflora status in the area of influence of an aluminum plant. *European Journal of Soil Science*, 30: 796-803.
- EVDOKIMOVA G.A., KORNEYKOVA M.V., 2010: Microfungal communities in soil polluted with fluoride. *Natural Sciences*, 2: 1023-1029.
- EVDOKIMOVA G.A., KORNEYKOVA M.V., MYAZIN V.A., 2013: Dynamics of gas condensate removal from an Al-Fe humus podzol and its effect on the complexes of soil fungi. *Eurasian Soil Science*, 46: 310-316.
- GÁPER J., MIHÁL I., 2008: Ektomykorízny potenciál a hniloby v kultúrnych smrečinách. *Acta Facultatis Ecologiae, Zvolen*, 18: 2-26.

- GERLITZ T.G.M., 1996: Effects of aluminium on polyphosphate mobilization of the ectomycorrhizal fungus *Suillus bovinus*. Plant and Soil, 178: 133-140.
- JAMNICKÁ G., BUČINOVÁ K., HAVRANOVÁ I., URBAN A., 2007: Current state of mineral nutrition and risk elements in a beech ecosystem situated near the aluminium smelter in Žiar nad Hronom, Central Slovakia. Forest Ecology and Management, 248: 26-35.
- JONES D., MUEHLCHEN A., 1994: Effects of the potentially toxic metals, aluminium, zinc and copper on ectomycorrhizal fungi. Journal of Environmental Science and Health. Part A. Environmental Science and Engineering, 29: 949-966.
- MAŇKOVSKÁ B., STEINNES E., 1995: Effects of pollutants from an aluminium reduction plant on forest ecosystems. Science of the Total Environment, 163: 11-23.
- MIHÁL I., BARNA M., 2022: Imisie fluórového typu z hliníkárne ako významný stresor pre mykobiotu. Zprávy lesnického výzkumu, 67: 129-137.
- MIHÁL I., BUČINOVÁ K., 2005: Species diversity, abundance and dominance of macromycetes in beech forest stands. Journal of Forest Science, 51: 187-194.
- MIHÁL I., CICÁK A., TSAKOV H., 2015: Beech (*Fagus sylvatica* L.) bark necrotic damage as a serious phytopathological problem in Central and South-eastern Europe. Journal of Forest Science, 61: 7-17.
- MIHÁL I., LUPTÁKOVÁ, E., 2017: Niekoľko poznámok k bionómii huby *Ascodichaena rugosa* (Ascomycota) na Slovensku. Spravodajca slovenských mykológov, 46: 12.
- MIHÁL, I., MARUŠÁK, R., BARNA, M., 2019: Dynamics of *Fagus sylvatica* L. necrotization under different pollutant load conditions. Polish Journal of Environmental Studies, 28, 4: 2755-2763.
- MICHOPOULOS P., 2021: Arsenic in forests – a short review. Folia Oecologica, 48: 35-41.
- NOVOTNÝ R., PECINA V., ČERNÝ J., VALTERA M., JUŘIČKA D., 2021: Vliv smrku ztepilého a buku lesního na obsah Cd, Cu, Pb a Zn v povrchových horizontech lesních půd v oblasti Jeseníků. Zprávy lesnického výzkumu, 66: 86-94.
- PAVLÍK P., 1997: Druhové spektrum makromycetov ako odraz imisnej záťaže bukových porastov. In: KRIŽOVÁ E., KODRÍK J. (eds.): Les–drevo–životné prostredie '97. Zborník, TU Zvolen, s. 253-260.
- REDKINA V.V., SHALYGINA R.R., KORNEYTKOVA M.V., 2020: Microfungi, algae and cyanobacteria in soils polluted with fluorine (Kola Peninsula, Russia). Czech Polar Reports, 10: 94-109.
- SZOSTEK R., CIECKO Z., WALCZAK M., SWIONTEK-BRZEZINSKA M., 2015: Microbiological and enzymatic activity of soil after pollution with fluorine. Polish Journal of Environmental Studies, 24: 2641-2646.
- ŠTEFANČÍK I., MIHÁL I., 1993: Vplyv imisií na lesné porasty Žiarskej kotliny. Čistota ovzdušia, 23: 7-15.
- ŠTEFANČÍK I., CICÁK A., MIHÁL I., 1996: Výskum zdravotného stavu a mykoflóry nezmiešanej bučiny v oblasti s miernym imisným vplyvom. Lesnictví-Forestry, 42: 77-91.
- WANNAZ E.D., RODRIGUEZ J.H., WOLFSBERGER T., CARRERAS H.A., PIGNATA M.L., FRANGMEIER A., FRANZRING J., 2012: Accumulation of aluminium and physiological status of tree foliage in the vicinity of a large aluminium smelter. The Scientific World Journal, 212: Article ID 865927. DOI: 10.1100/2021/865927
- ŽEL J., SCHARA M., SVETEK J., NEMEC M., GOGALA N., 1993: Influence of aluminium on the membranes of mycorrhizal fungi. Water, Air and Pollution, 71: 101-109.

PodĎakovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory výskumného projektu VEGA 2/0001/25 a 2/0045/22.

Kontaktné adresy autorov:

RNDr. Ivan Mihál, CSc., Ústav ekológie lesa v.v.i. SAV, Ľ. Štúra 2, 960 01 Zvolen, e-mail: mihal@ife.sk
 Ing. Margita Kuklová, CSc., Ústav ekológie lesa v.v.i. SAV, Ľ. Štúra 2, 960 01 Zvolen, e-mail: kuklova@ife.sk
 Ing. Ján Kukla, CSc., Ústav ekológie lesa v.v.i. SAV, Ľ. Štúra 2, 960 01 Zvolen, e-mail: jn.kukla@gmail.com

Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti
pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy
pri Slovenskej akadémii vied v Bratislave, 2025

Potravinárska sekcia



SENZORICKÁ KVALITA BEZGLUTÉNOVÝCH VÝROBKOV OBOHATENÝCH PRÍDAVKOM MÚČNYCH ČERVOV (*TENEBRIO MOLITOR*)

SENSORY QUALITY OF GLUTEN-FREE PRODUCTS ENRICHED WITH MEALWORMS (*TENEBRIO MOLITOR*)

*Martina Fikselová, Radoslav Židek, Jana Odrášková, Stanislava Lukáčová, Lucia
Zeľňáková*

Abstract: The work was aimed to the preparation of gluten-free crispbreads with 5 and 10% addition of mealworms and various fruit and vegetable juices. Developed products were evaluated at parameters such as texturometric and sensory properties of the products (panel of seniors and students). The addition of mealworms changed the texture of crispbreads, the higher the addition of mealworms, the lower the force required for compression was determined. At the sensory evaluation, the samples with 10% addition of mealworms were evaluated to be the best by both panels, with the best acceptance of the beetroot and apple-cinnamon juices.

Keywords: *Tenebrio molitor*, edible insects, gluten - free products, knäckebröts

Úvod

V súčasnosti sa v mnohých krajinách rozvíjajú farmy na chov hmyzu kvôli rastúcemu záujmu o rôzne druhy jedlého hmyzu, ako alternatívneho zdroja potravy bohatého nielen na bielkoviny (Ojha et al., 2021). Chov múčiara obyčajného je nenáročný na chovný substrát, založený napr. na otrubách, kukuričnom škrobe, kvasniciach, múke, zelenine, ovocí atď. Komerčne sa múčne červy (*Tenebrio molitor*) krmia hlavne obilnými otrubami alebo múkou (pšenica, ovos a kukurica), ovocie a zelenina zvyčajne dopĺňajú krmnu dávku (Hong et al., 2020).

Larvy žltých múčných červov obsahujú 40,2 % – 63,3 % bielkovín v sušine v závislosti od typov chovných substrátov. Napríklad larvy kŕmené pšeničnými otrubami mali vyšší obsah bielkovín v porovnaní s jačmenným šrotom, čo by mohlo súvisieť s vyšším obsahom bielkovín v substráte pšeničných otrúb. Zmeny v obsahu proteínov môžu byť tiež spojené s podmienkami prostredia používanými na produkciu lariev. Múčne červy chované pri teplote 25 °C mali o 8 % vyšší obsah bielkovín ako chované pri 15 °C (Syahrulawal et al., 2023).

Popularita hmyzu sa zvyšuje nielen vďaka hľadaniu udržateľných zdrojov bielkovín. Obohatenie múky jedlým hmyzom je aktuálne nielen pre bezlepkové cestá, ale aj pre bežné pšeničné cestá. Pridávanie prášku z rôznych jedlých druhov hmyzu, môže zlepšiť nutričné vlastnosti produktu, ako je zvýšenie obsahu lyzínu v pšeničných cestách. Dôležitý je aj vplyv na textúrne a senzorické vlastnosti pekárenských výrobkov. V prípade bezlepkových múk možno pridaním jedlého hmyzu dosiahnuť, podobne ako v prípade pšeničných ciest, nutričné obohatenie, ale aj prijateľné technologické vlastnosti, prípadne zlepšenie niektorých vlastností finálneho produktu, ako je konzistencia (Adamek et al., 2023).

Bezgluténové múky, ako sú ryžová, kukuričná alebo škroby, majú vo všeobecnosti nižší obsah bielkovín a vlákniny v porovnaní so pšeničnou múkou, čo môže viesť k nižšej sýtosti a horšej nutričnej hodnote týchto produktov. Preto je dôležité hľadať vhodné alternatívy a doplnkové suroviny, ktoré zvýšia ich výživovú hodnotu (Melini a Melini, 2019).

Cieľom tejto práce bola príprava bezgluténových pekárenských produktov (knäckebrotov) so zacielením prioritne na špeciálne skupiny obyvateľov, ako sú celiatici resp. ľudia odkázaní

na bezgluténovú diétu a skupina seniorov. Vyvinuté bezgluténové výrobky s max. 10 % prídavkom hmyzieho prášku z múčnych červov porovnať s kontrolnou vzorkou v parametroch ich textúrnych a senzorických vlastností, ktoré sú z hľadiska konzumenta najdôležitejšie.

Materiál a metódy

Prášok z múčnych červov (*Tenebrio molitor*)

Jedlé múčne červy – larvy, boli zakúpené ako sušené z internetového obchodu, ktorý je predajcom jedlého hmyzu. Následne boli zomleté na prášok.

Bezgluténové pekárske výrobky s prídavkom múčnych červov

Predmetom práce bola príprava bezgluténových knäckebratov s prídavkom múčnych červov s množstvom 5 % a 10 %. Ako základ bola použitá kukuričná múka. Do zmesi na výrobu cesta boli ďalej použité slnečnicové, ľanové a sezamové semená, 100 % ovocné a zeleninové šťavy, slnečnicový olej a soľ.

Pri príprave knäckebratov bola navážaná kukuričná múka, semienka a soľ. Hmyzí prášok z múčnych červov bol použitý do všetkých vzoriek okrem kontrolnej, s prídavkom 5 % a 10 %. Po premiešaní suchých surovín, bol pridaný olej a horúca ovocná/zeleninová šťava zohriata na teplotu 50 °C. Cesto bolo premiešané, aby sa spojili všetky suroviny. Následne bolo rozvaľkané na hrúbku 1,5 - 2 mm a vykrojené boli štvorce s veľkosťou 4 x 4 cm. Knäckebraty boli pečené pri teplote 160 °C, cca 20 minút. Celkovo bolo vytvorených 11 vzoriek, z toho 5 vzoriek – 5 príchutí s 5 % prídavkom hmyzieho prášku z múčnych červov a 5 vzoriek – 5 príchutí s 10 % prídavkom hmyzieho prášku z múčnych červov. Kontrolná vzorka bola bez prídania hmyzieho prášku a bez príchute, s pridaním vody (tab. 1).

Tab. č.1. Zoznam vzoriek a použitých druhov štiav

Vzorky		Prídavok <i>T. molitor</i>	Použité druhy štiav
Vzorka 1	kontrolná vzorka	bez prídavku	voda
Vzorka 2	mango-jablko 5 %	5 % <i>T. m.</i>	mangová dreň 25 % + jablková šťava 75 %
Vzorka 3	pomaranč 5 %	5 % <i>T. m.</i>	pomarančová šťava 100 %
Vzorka 4	mrkva 5 %	5 % <i>T. m.</i>	mrkvová šťava 100 % + zázvor (0,35 g zázvoru na 180 g cesta)
Vzorka 5	cvikla 5 %	5 % <i>T. m.</i>	cviklová šťava 100 %
Vzorka 6	jablko 5 %	5 % <i>T. m.</i>	jablková šťava 100 % + škorica (0,35 g škorice na 180 g cesta)
Vzorka 7	mango-jablko 10 %	10 % <i>T. m.</i>	mangová dreň 25 % + jablková šťava 75 %
Vzorka 8	pomaranč 10 %	10 % <i>T. m.</i>	pomarančová šťava 100 %
Vzorka 9	mrkva 10 %	10 % <i>T. m.</i>	mrkvová šťava 100 % + zázvor (0,35 g zázvoru na 180 g cesta)
Vzorka 10	cvikla 10 %	10 % <i>T. m.</i>	cviklová šťava 100 %
Vzorka 11	jablko 10 %	10 % <i>T. m.</i>	jablková šťava 100 % + škorica (0,35 g škorice na 180 g cesta)

Stanovenie texturometrických vlastností knäckebratov

Textúra výrobkov bola hodnotená na analyzátore textúry TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Veľká Británia). Textúra knäckebratov bola hodnotená s použitím 5-lopatkovej Kramerovej

sondy (HDP/KS5) pomocou 30 kg silomeru, meraním sily v kompresii (N/sec), vyjadrenej ako lámavosť pripravenej vzorky.

Senzorické hodnotenie knäckebratov

Senzorické hodnotenie vzoriek bolo vykonané hodnotiteľmi dvoch senzorických panelov, ktoré pozostávali zo zaškolených hodnotiteľov: jeden panel tvorili študenti vo veku 21 - 27 rokov v celkom počte 12. Druhý panel tvorili seniori vo veku nad 65 rokov, v celkom počte 12.

Hodnotiteľom bola anonymne ponúknutá kontrolná vzorka a následne vzorky s pridaním 5 % hmyzieho prášku s príchuťou jablko – škorica, mango, cvikla, mrkva – zázvor, pomaranč a vzorky s pridaním 10 % hmyzieho prášku z múčnych červov s príchuťou jablko – škorica, mango, cvikla, mrkva – zázvor a pomaranč. Počas celého hodnotenia mali k dispozícii čistú vodu.

Pri každej vzorke bolo hodnotených päť základných parametrov: celkový vzhľad, štruktúra a povrch, krehkosť a lámavosť, vôňa a chuť. Každému parametru bolo pridelené hodnotenie od 1 do 5 podľa senzorických vlastností jednotlivých vzoriek. Stupne hodnotenia: 1. nedostačujúce, 2. dostačujúce, 3. dobré, 4. veľmi dobré, 5. vynikajúce.

Výsledky a diskusia

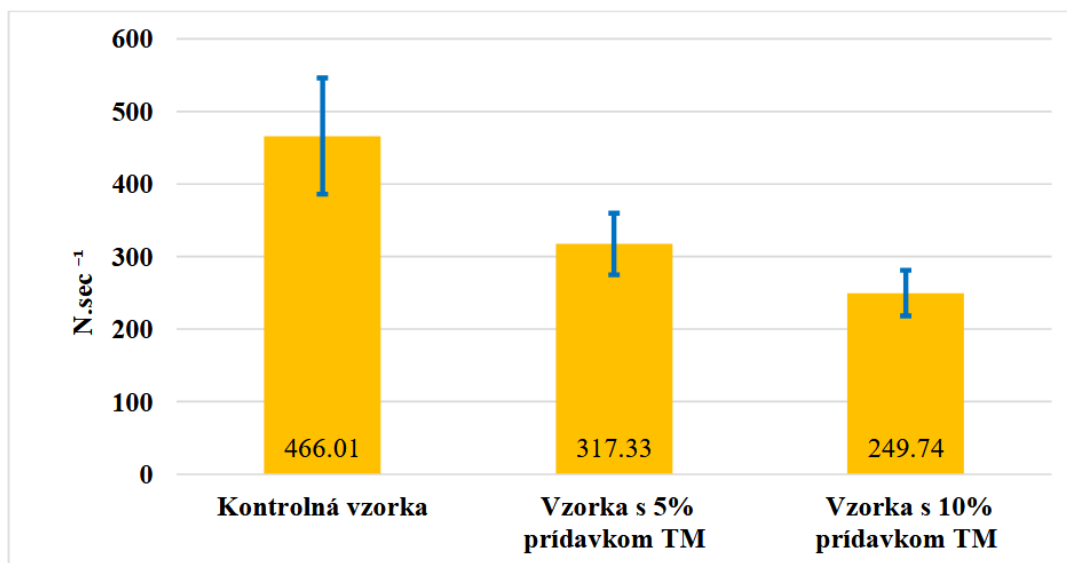
Obohatenie základných potravín na báze obilnín o hmyz zvyšuje podiel bielkovín a tukov a je vhodné na prevenciu nutričných nedostatkov v populáciách, ktoré majú ťažký prístup k potravinám bohatým na bielkoviny (Acosta-Estrada et al., 2021).

V posledných rokoch rastie záujem o využívanie hmyzu ako udržateľného a výživného zdroja potravy. Pri vývoji potravinárskych výrobkov na báze hmyzu je však dôležité zohľadniť vplyv na chuť, textúru a potenciálne alergénne vlastnosti (Okaiyeto et al., 2024).

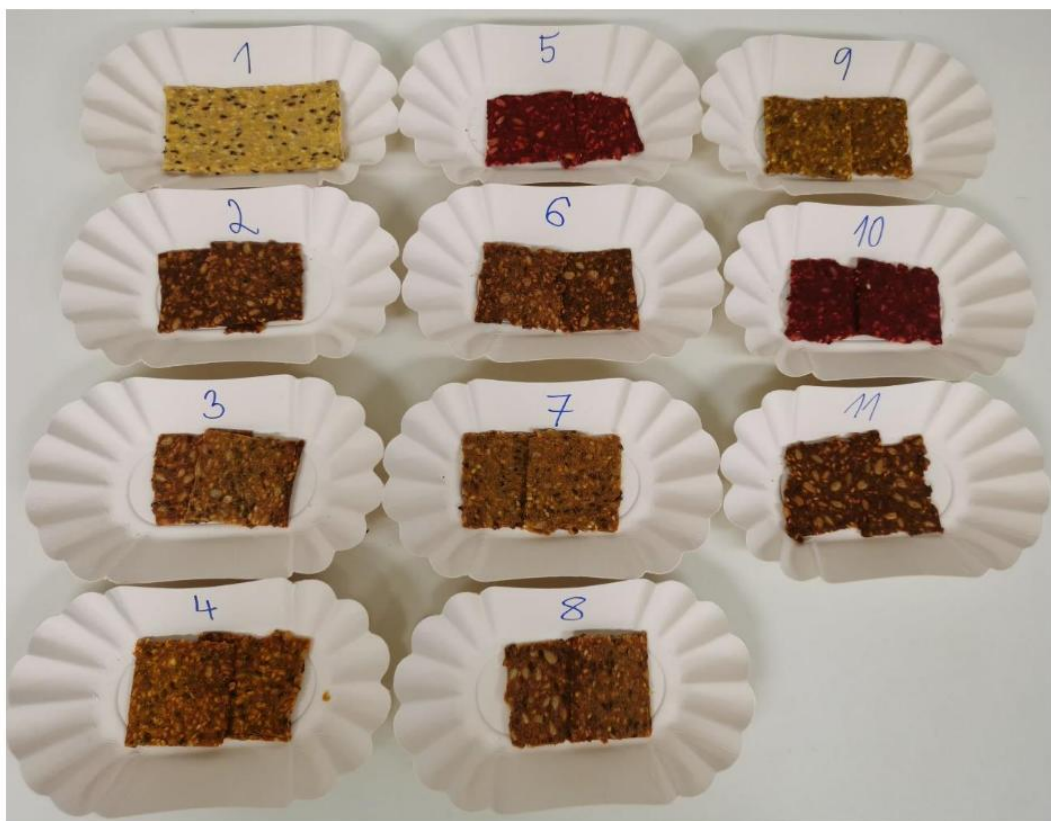
Texturometrickým vyhodnotením vyvinutých knäckebratov môžeme konštatovať, že najväčšiu silu potrebnú na kompresiu výrobkov, potrebovala kontrolná vzorka bez prídavku múčnych červov, a to 466,01 N.sec⁻¹. Pridaním 5 % prášku z múčnych červov nastalo zníženie kompresie na 317,33 N.sec⁻¹. Najnižšia sila potrebná na kompresiu bola zistená pri vzorke s 10 % prídavkom múčnych červov, a to 249,74 N.sec⁻¹ (graf 1), čo hodnotíme pozitívne.

Čím bol prídavok múčnych červov vyšší, tým bola sila potrebná na kompresiu nižšia, tzn. so zvyšujúcim sa prídavkom múčnych červov sa lámavosť vzorky znižovala. Mohlo to byť spôsobené zvýšeným obsahom tuku v larvách múčnych červov, ktoré obsahujú v priemere 27 % tuku (Kotsou et al., 2023). Roncolini et al. (2019) testovali prídanie prášku z múčnych červov (*Tenebrio molitor*) do cesta pri 5 a 10 % náhrade múky z mäkkej pšenice. Pridanie červov spôsobilo zvýšenie špecifického objemu a mäkkosť chleba v porovnaní s kontrolnými chlebmi. Tieto zistenia možno pripísať tukovej frakcii pridaného prášku z múčnych červov. Ako uvádza Pareyt (2011) pridané tuky cesto zmäčujú.

Panel seniorov pri celkovom vzhľade výrobkov, najlepšie vyhodnotil vzorku s 10 % prídavkom múčnych červov a to príchuť pomaranč, nasledovala vzorka s príchuťou cvikla s 5 % prídavkom múčnych červov a vzorka s príchuťou jablko – škorica s 10 % prídavkom múčnych červov. Nasledovali vzorky s príchuťou cvikla (10 %), mrkva – zázvor (10 %), mango (10 %), mrkva – zázvor (5 %), pomaranč (5 %) a kontrolná vzorka. Najmenej akceptované boli vzorky s príchuťou mango (3,42) a jablko – škorica (3,42) s 5 % prídavkom múčnych červov.



Graf 1. Výsledky texturometrického stanovenia knäckebrotov – meranie sily v kompresii (N.sec⁻¹)



Obrázok 1. Vzorky vyvinutých bezgluténových knäckebrotov

V hodnotení celkového vzhľadu panelom študentov boli najlepšie vyhodnotené vzorky s príchuťou cvikla s 5 a 10 % prídavkom múčnych červov. Nasledovala vzorka s 10 % prídavkom múčnych červov s príchuťou mrkva – zázvor, kontrolná vzorka, pomaranč (10 %), mrkva – zázvor (5 %), mango (10 %) a jablko – škorica (5 %). Najnižší priemerný počet bodov

za celkový vzhľad obdržali vzorky mango (3,58) a pomaranč (3,58) s 5 % prídavkom múčnych červov a príchut' jablko – škorica (3,50) s 10 % prídavkom múčnych červov.

V oboch paneloch hodnotiteľov boli pri celkovom vzhľade ako najlepšie hodnotené vzorky s 10 % prídavkom múčnych červov, avšak s rozdielnou príchut'ou.

Pri senzorickom hodnotení je veľmi dôležitý vzhľad výrobkov, keďže jeme aj „očami“. Naše knäckebraty boli ochutené 100 % šťavami, ktoré ovplyvnili farbu výrobkov a tým aj celkový vzhľad, čo hodnotitelia vnímali veľmi pozitívne. V paneli študentov dominovali vzorky s príchut'ou cvikla, ktoré boli zafarbené do červena. V skupine seniorov bola táto vzorka hodnotená ako druhá najlepšia.

Pri hodnotení štruktúry a povrchu výrobkov v paneli seniorov získali najlepšie hodnotenie vzorky s príchut'ou pomaranč a jablko – škorica s 10 % prídavkom múčnych červov a príchut' cvikla s 5 % prídavkom múčnych červov. Nasledovala príchut' mango (5 %), jablko – škorica (5 %), mrkva – zázvor (10 %), mrkva – zázvor (5 %), cvikla (10 %). Ako najmenej atraktívne boli vyhodnotené vzorky s príchut'ou mango (10 %), pomaranč (5 %) a kontrolná vzorka.

Panel seniorov vyhodnotil vzorky s prídavkom múčnych červov a rôznych príchutí lepšie ako kontrolnú vzorku, ktorá skončila s najnižším priemerným počtom bodov (3,33).

V paneli študentov v rámci hodnotení štruktúry a povrchu výrobkov boli najlepšie vyhodnotené obe vzorky s príchut'ou cvikla (4,42), nasledovala vzorka s príchut'ou pomaranč s 10 % prídavkom múčnych červov, jablko – škorica (5 %), mrkva – zázvor (10 %), jablko – škorica (10 %), mango (5 %), mango (10 %) a pomaranč (5 %). Najmenej bodov získali vzorky s príchut'ou mrkva – zázvor (3,5) s 5 % prídavkom múčnych červov a kontrolná vzorka (3,5).

V celkovom vyhodnotení štruktúry a povrchu výrobkov, boli ako najlepšie hodnotené vzorky s 10 % prídavkom múčnych červov. Kontrolná vzorka získala v oboch skupinách najnižší bodov.

Pri hodnotení krehkosti a lámavosti výrobkov v paneli seniorov bola najlepšie hodnotená vzorka s príchut'ou jablko – škorica (4,5) s 10 % prídavkom múčnych červov. Nasledovala vzorka s príchut'ou cvikla (4,25) 5 % a pomaranč (4) s 10 % prídavkom múčnych červov, vzorka s príchut'ou mango (10 %), mango (5 %), cvikla (10 %), jablko – škorica (5 %) a pomaranč (5 %). Najmenej bodov získali vzorky mrkva – zázvor s 5 % prídavkom múčnych červov, kontrolná vzorka a vzorka s príchut'ou mrkva – zázvor s 10 % prídavkom múčnych červov.

V paneli študentov najvyšší priemerný počet bodov (4,33) za krehkosť a lámavosť, získali vzorky s 10 % prídavkom múčnych červov a to príchute jablko - škorica a cvikla. Nasledovala vzorka s príchut'ou cvikla s 5 % prídavkom múčnych červov, kontrolná vzorka, mrkva – zázvor (5 %), pomaranč (5 %), pomaranč (10 %) a jablko – škorica (5 %). Najnižší priemerný počet bodov obdržala vzorka s príchut'ou mrkva – zázvor (2,75) s 10 % prídavkom múčnych červov.

V celkovom hodnotení krehkosti a lámavosti bola v oboch paneloch ako najlepšie vyhodnotená vzorka s príchut'ou jablko – škorica s 10 % prídavkom múčnych červov.

Pri hodnotení vône, panel seniorov najlepšie vyhodnotil vzorku s príchut'ou jablko – škorica s 10 % prídavkom múčnych červov, nasledovala príchut' mango (5 %), pomaranč (10 %), jablko – škorica (5 %), cvikla (10 %), mrkva – zázvor (5 %), kontrolná vzorka a cvikla (5 %). Najnižší priemerný počet bodov obdržali vzorky s príchut'ou mrkva – zázvor (10 %), mango (10 %) a pomaranč (5 %).

Vzorky s rovnakou príchut'ou, ale s rozdielnym prídavkom múčnych červov sa neprejavili ako rovnako voňavé.

Panel študentov v rámci vône vyhodnotil ako najlepšie vzorky s príchut'ou jablko – škorica s 10 % prídavkom múčnych červov, následne s 5 % prídavkom múčnych červov, nasledovala kontrolná vzorka, mrkva – zázvor (5 %), cvikla (10 %), mango (5 %), pomaranč

(10 %) a cvikla (5 %). Najmenej bodov získali príchute mrkva – zázvor (10 %), pomaranč (5 %) a mango (10 %).

Celkovo zhodne, seniori aj študenti, vyhodnotili ako najlepšiu vzorku pri parametri vôňa príchut' jablko – škorica s 10 % prídavkom múčnych červov. Ako najmenej atraktívne v rámci vône boli v oboch skupinách vzorky mango (10 %) a pomaranč (5 %).

Panel seniorov vyhodnotil pri parametri chuť výrobkov ako najlepšie vzorky jablko – škorica s 10 % prídavkom múčnych červov, nasledovala príchut' cvikla (5 %), pomaranč (10 %), jablko – škorica (5 %), kontrolná vzorka, cvikla (5 %), mrkva – zázvor (5 %), pomaranč (5 %). Ako najmenej chutné hodnotili vzorky s príchut'ou mango (5 %), mango (10 %) a mrkva – zázvor (10 %).

Vzorky, ktoré seniori uviedli ako najchutnejšie sa zhodujú so vzorkami, ktoré uviedli ako najvoňavejšie. Zároveň vzorky, ktoré boli pre nich najmenej voňavé, boli aj najmenej chutné.

V skupine študentov boli najlepšie vyhodnotené vzorky s príchut'ou jablko – škorica s 10 % prídavkom múčnych červov, nasledovala vzorka jablko – škorica (5 %) a cvikla (10 %). Ako najmenej chutné boli vyhodnotené vzorky s príchut'ou pomaranč (5 %), kontrolná vzorka a príchut' mango (5 %).

Celkovo oba panely vyhodnotili ako najchutnejšiu vzorku s príchut'ou jablko – škorica s 10 % prídavkom múčnych červov. Táto vzorka bola vyhodnotená ako najvoňavejšia a zároveň aj najchutnejšia.

Senzorické hodnotenie slaných krekov obsahujúcich 6 % a 15 % prídavok *Tenebrio molitor* preukázalo, že pri hodnotení farby, vzhľadu a vône získal výrobok so 6 % prídavkom *Tenebrio molitor* najvyššie skóre (farba - 3,27, vzhľad - 2,66, vôňa - 3,30, kde 3 = príjemné). 70 % účastníkov by bolo ochotných kúpiť si kreky so 6 % prídavkom *Tenebrio molitor* (Djouadi et al., 2022).

Záver

Prídavkom hmyzu sa zmenila textúra vyvinutých knäckebratov. Čím bol prídavok múčnych červov vyšší, tým bola sila potrebná na kompresiu nižšia, tzn. so zvyšujúcim sa prídavkom múčnych červov sa tvrdosť vzorky znižovala, čo hodnotíme pozitívne, špeciálne v prípade vhodnosti výrobkov pre seniorov. Zároveň bol 10 % prídavok múčnych červov pozitívne hodnotený aj v rámci senzorického hodnotenia.

Prínosom tejto práce je navrhnutie obohatených výrobkov pre osobitú kategóriu ľudí. Vďaka nutričnej hodnote, nízkemu vplyvu na životné prostredie a kulinárskej všestrannosti má jedlý hmyz potenciál prispieť k obohateniu potravinovej ponuky. Udržateľnosť, nutričná hodnota, či nízky vplyv na životné prostredie z neho robí voľbu na riešenie globálnych výziev v oblasti potravinovej bezpečnosti a udržateľnosti. Prijatie jedlého hmyzu ako zdroja potravy nemá úplne nahradiť tradičné zdroje bielkovín, ponúka možnosť na doplnenie existujúcich systémov výroby potravín.

Podakovanie

Práca vznikla s finančnou podporou projektu KEGA č. 013SPU-4/2023.

Literatúra

ACOSTA – ESTRADA, B. A. – REYES, A. – ROSELL, C. M. – RODRIGO, D. 2021. Benefits and Challenges in the Incorporation of Insects in Food Products. *Nutritional Epidemiology*. Online. Vol. 8. Dostupné na: <<https://doi.org/10.3389/fnut.2021.687712>>
ADAMEK, M. – ZVONKOVÁ, M. – BUREŠOVÁ, I. – BURAN, M. – ŠEVČÍKOVÁ, V. – ŠEBESTÍKOVÁ, R. – ADÁMKOVÁ, A. – SKOWRONKOVÁ, N. – MLČEK, J. 2023. Use of a Thermodynamic Sensor in Monitoring Fermentation Processes in Gluten-Free Dough Proofing. *Sensors*. Online. Vol. 23, no. 1, s. 534. Dostupné na: <<https://doi.org/10.3390/s23010534>>

DJOUADI, A. – SALES, J. R. – CARVALHO, M. O. – RAYMUNDO, A. 2022. Development of Healthy Protein-Rich Crackers Using *Tenebrio molitor* Flour. *Foods*. Online. Vol. 11, no. 5. Dostupné na: <<https://doi.org/10.3390/foods11050702>>

HONG, J. – HAN, T. – KIM, Y. Y. 2020. Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an Alternative Protein Source for Monogastric Animal: A Review. *Animals*. Online. Vol. 10, no. 11, s. 2068. Dostupné na: <<https://doi.org/10.3390/ani10112068>> [

KOTSOU, K. – CHATZIMITAKOS, T. – ATHANASIADIS, V. – BOZINOU, E. – ATHANASSIOU, C. G. – LALAS, S. I. 2023. Innovative Applications of *Tenebrio molitor* Larvae in Food Product Development: A Comprehensive Review. *Foods*. Online. Vol. 12, no. 23. Dostupné na: <<https://doi.org/10.3390/foods12234223>>

MELINI, V. – MELINI, F. 2019. Gluten-Free Diet: Gaps and Needs for a Healthier Diet. *Nutrients*. Online. Vol. 11, no. 1, s. 170. Dostupné na: <<https://doi.org/10.3390/nu11010170>>

OJHA, S. – BEKHIT, A. E-D. – GRUNE, T. – SCHLUTER, O. K. 2021. Bioavailability of nutrients from edible insects. *Current Opinion in Food Science*. Online. Vol. 41, s. 240-248. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.08.003>>

OKAIYETO, S. A. et al. 2024. How to enhance the acceptability of insects food—A review. *Food Frontiers*. Online. Vol. 5, no. 2, s. 311-328. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1002/fft2.349>>

PARREY, B. – FINNIE, S. M. – PUTSEYS, J. A. – DELCOUR, J. A. 2011. Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*. Online. Vol. 54, no. 3. Dostupné na: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521011001512>>

RONCOLINI, A. – MILANOVIČ, V. – CARDINALI, F. – OSIMANI, A. et al. 2019. Protein fortification with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. *PLOS ONE*. Online. Vol. 14, no. 2. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211747>>

SYAHRULAWAL, L. – TORSKE, M.O. – SAPTOTA, R. et al. Improving the nutritional values of yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae as an animal feed ingredient: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. Online. Vol. 14, no. 146. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1186/s40104-023-00945-x>>

Kontaktná adresa: Martina Fikselová Doc. Ing. PhD., Katedra hygieny a bezpečnosti potravín, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku, 949 01 Nitra, e-mail: martina.fikselova@uniag.sk

VYBRANÉ ALTERNATÍVNE PRÍSTUPY V BOJI S PÔVODCAMI BAKTERIÁLNYCH INFEKCIÍ

SELECTED ALTERNATIVE APPROACHES IN THE FIGHT AGAINST BACTERIAL INFECTION AGENTS

Jozef Golian, Peter Minárik, Daniela Mináriková

Abstract: The aim of this review thesis is to clearly present alternative strategies in the fight against antimicrobial resistance. The focus of the thesis is the possibility of using bacteriophages as natural rivals of bacteria. Among other topics, the structure and replication mechanisms of bacteriophages, as well as historical aspects associated with their discovery, are discussed in the thesis. Attention is also given to phage therapy, which appears to be a very promising alternative to antibiotic treatment, which still dominates as the primary strategy in treating bacterial infections.

Keywords: alternative strategies, antimicrobial resistance, antibiotic,

Úvod

Rezistenciu na antibiotiká možno opísať ako schopnosť baktérií brániť vniknutiu farmaka do ich vnútra či schopnosť inaktivácie tohto liečivá pomocou rôznych mechanizmov. V súčasnej dobe antibiotická rezistencia predstavuje jednu z najzávažnejších hrozieb dnešnej medicíny. Baktérie, ktoré si vyvinuli odolnosť voči bežne používaným antibiotikám, významne komplikujú liečbu infekcií a zvyšujú tak morbiditu aj mortalitu pacientov. Podľa Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO, World Health Organization) ide o rastúci globálny problém, ktorý ohrozuje efektivitu modernej medicíny, bezpečnosť potravín a vyžaduje naliehavé riešenia. Medzi najproblematickejšie agens v tomto ohľade patrí takzvané ESKAPE patogény. Ide o skupinu zahŕňajúcu druhy *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Klebsiella pneumoniae* (*K. pneumoniae*), *Acinetobacter baumannii* (*A. baumannii*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) a druhy rodu *Enterobacter*. Práve tieto baktérie sú zodpovedné za širokú škálu nozokomiálnych infekcií a vďaka svojej schopnosti unikať pôsobeniu väčšiny dostupných antibiotík predstavujú obrovskú výzvu pre zdravotnícky systém.

Nové molekuly s antiinfekčným potenciálom

Tradičné stratégie objavovania liekov majú za cieľ identifikovať úplne nové chemické molekulárne entity, ktoré vykazujú potenciál liečiť či zmierniť dané ochorenie, prípadne chrániť dotyčného pred výskytom choroby. Pri každej takej zlúčenine je jej cesta na trh veľmi nákladná, zdĺhavá a mnohokrát tiež neistá. Presun nového lieku z jeho predklinických skúšok na trh vyžaduje spravidla 10 až 12 rokov a potrebné finančné zdroje presahujúce 2 miliardy amerických dolárov. Z celkového počtu 10 000 kandidátnych molekúl iba jedna až dve zlúčeniny úspešne prejdú všetkými fázami vývoja a môžu byť následne uvedené na trh. Žiaľ sa často stáva aj to, že sa antibakteriálna rezistencia na kandidátnu molekulu s antimikrobiálnym účinkom vyvinie už počas jej predklinického testovania. Nízka rentabilita a neisté ekonomické zázemie sú teda hlavnými dôvodmi, prečo farmaceutické firmy od tejto možnosti postupne viac upúšťajú. Vždy tu totiž existuje riziko toho, že liek bude musieť byť z trhu stiahnutý skôr, ako sa firme budú môcť vrátiť náklady, ktoré boli vynaložené na výskum a vývoj novej molekuly.

Kombinovaná terapia

Ako pomerne účinná forma boja proti multirezistencii baktérií sa ponúka takzvaná kombinovaná terapia. Je možné rozlíšiť formu antibiotickej kombinovanej terapie, ktorej princíp spočíva v kombinácii dvoch alebo viacerých antibiotických látok. Prípadne možno využiť druhý variant kombinačnej terapie, v rámci ktorej sa do kombinácie k antibiotickej látke využíva adjuvantná molekula, ktorej úlohou je umocniť vlastnosti použitého antibiotika a zvýšiť tak jeho účinok. V dôsledku zosilnenia antibiotického účinku adjuvantnou molekulou je možné znížiť dávku použitého antibiotika, čo so sebou prináša aj nižšiu toxicitu danej látky. Kombinácia dvoch alebo viacerých antibiotík môže poskytnúť širšie spektrum pôsobenia a v určitých prípadoch skutočne aj zníženie pravdepodobnosti vzniku rezistencie (León-Buitimea et al., 202). Ďalším prínosom antibiotickej kombinovanej liečby môže byť aj synergistické pôsobenie. Niektoré antibiotiká majú totiž schopnosť zosilňovať vzájomne svoj účinok, čo prirodzene vedie k zvýšeniu účinnosti antimikrobiálnej liečby (Lehár et al., 2009).

Okrem už spomínaného synergizmu možno však aj pri kombinácii antibiotík očakávať aditívne alebo antagonistické pôsobenie (Sullivan et al., 2020). Väčšina klinicky využívaných kombinovaných terapií funguje práve na princípe synergie, kedy je výsledný protimikróbny účinok silnejší ako pri monoterapii (Torella et al., 2010). Konkrétnymi a často využívanými synergistickými kombináciami sú napríklad beta-laktámy s aminoglykozidmi, či sulfónamidy s trimetoprimom. Objavili sa však isté dôkazy, že synergistické pôsobenie antibiotík môže naopak prispievať k rozvoju rezistencie (Michel et al. 2008). Preto niektoré kombinované terapie začali využívať kombináciu liečiv s antagonistickým účinkom práve za účelom zníženia rizika vzniku rezistencie. U kombinácií liečiv s antagonistickým efektom je síce infekcia potláčaná pomalšie, ale na druhej strane môže byť redukovaná selektívna výhoda pre bakteriálne kmene, ktoré získali rezistenciu genetickou mutáciou (Chat et al., 2007).

Ďalšou možnosťou je kombinácia antibiotika s takzvanou adjuvantnou molekulou. Úlohou tejto molekuly je inhibovať mechanizmy už vzniknutej rezistencie a zvýšiť tak účinok použitej antibakteriálnej látky. Pre takúto kombinovanú terapiu existuje mnoho možností, pričom najrozšírenejšou kombináciou antibiotika s adjuvantnou látkou sa stal liek Augmentin. Ide o kombináciu β -laktámového antibiotika ampicilínu a inhibítora β -laktamázy kyseliny klavulanovej (Finlay, 2003).

Prvým ochorením, pri ktorom sa začala kombinovaná terapia využívať, bola tuberkulóza. Tuberkulóza je závažné ochorenie spôsobené baktériou *Mycobacterium tuberculosis*. Štandardná liečba tohto ochorenia obnáša kombináciu štyroch rôznych liečiv. Konkrétne sa jedná o izoniazid, rifampicín, ethambutol a pyrazinamid. Avšak *Mycobacterium tuberculosis* je patogén, ktorého schopnosť vyvinúť si bakteriálnu rezistenciu je skutočne vysoká. Preto sa aj dnes možno stretnúť s takzvanou multirezistentnou formou tuberkulózy, ktorá je definovaná ako necitlivosť kmeňa minimálne voči dvom základným liekom prvej voľby, izoniazidu a rifampicínu. V takom prípade sa na terapiu infekcie užíva pozmenená terapia podľa citlivosti pôvodcu, do ktorej spadá už spomínaný pyrazinamid, doplnený o fluorchinolón, kapreomycín, etionamid a prípadne aj o kyselinu p-aminosalicylovú. Takto pozmenenú terapiu je však potrebné užívať dlhšie, spravidla 20 a viac mesiacov (Alzon et al., 2011).

Ďalším príkladom antibiotickej kombinačnej terapie môže byť liečba infekcií, ktoré bývajú spôsobené pomerne častým patogénom, baktériou *P. aeruginosa* (A REPORT FROM THE NNIS SYSTEM, 2003). Táto infekcia môže byť obzvlášť nebezpečná pre imunosupresívnych pacientov, pacientov na pľúcnom ventilátore alebo pacientov trpiacich cystickou fibrózou. Nanešťastie aj tento patogén často vykazuje rezistenciu voči pôsobeniu antibiotických látok, pričom na jej vybudovanie využíva hneď niekoľko systémov.

CDC organizácia (Centers for Disease Control and Prevention, Centrá pre kontrolu a prevenciu chorôb) označila okrem iného aj rezistentné kmene *P. aeruginosa* za vážnu celosvetovú hrozbu (Zhang et al. 2023). V tomto prípade je multirezistencia definovaná ako necitlivosť na aspoň

jedno antibiotikum v minimálne troch antibiotických triedach, u ktorých sa citlivosť *P. aeruginosa* očakáva. Medzi tieto triedy patria penicilíny, cefalosporíny, fluorochinolóny, aminoglykozidy a karbapenémy. Vzhľadom na možnú závažnosť infekcie vyvolanej baktériou *P. aeruginosa* sa u ohrozených osôb všeobecne odporúča kombinovaná terapia s antibiotikami z rôznych tried liečiv. Najčastejšie sa volí kombinácia β -laktámového antibiotika spolu s aminoglykozidom (Tamma et al., 2021).

Avšak rezistencia rýchlo narastá aj voči týmto konvenčným antibiotikám (Tamma et al., 2021). Predovšetkým kvôli týmto prípadom je kladený veľký dôraz na vývoj nových antibiotík či objavenie rôznych alternatívnych terapeutických stratégií. V posledných rokoch boli skúmané nové kandidátne antibiotiká s novými spôsobmi účinku, ich odolnosť voči modifikácii bakteriálnymi enzýmami a tiež nové cesty podávania. Niektoré z týchto novších kandidátnych antibiotík vykazujú vynikajúcu *in vitro* antibakteriálnu aktivitu proti *P. aeruginosa* aj nižšiu minimálnu inhibičnú koncentráciu (MIC, *minimal inhibitory concentration*) v porovnaní s konvenčnými antibiotikami (Cigana et al., 2016).

Okrem toho sa v recentných štúdiách uvádza niekoľko nových neantibiotických terapeutických prístupov, ktoré sú vysoko účinné pri eliminácii rezistentných kmeňov *P. aeruginosa*. Tieto prístupy napríklad zahŕňajú inhibíciu regulačného systému génovej expresie zvanej quorum sensing (QS), využitie antimikrobiálnych vlastností lektínov, fágovú terapiu či využitie nanočastíc a antimikrobiálnych peptidov. Spomínané stratégie možno použiť buď ako alternatívu, alebo v kombinácii s konvenčnou antibiotickou liečbou (Chatterjee et al., 2016).

Fotosenzitizéry a ich využitie v antimikrobiálnej terapii

Ako ďalšia alternatíva v boji s infekčným ochorením vyvolaným citlivými aj rezistentnými mikrobiálnymi kmeňmi sa ponúka fotodynamická terapia alebo skráteno PDT (Photodynamic Therapy). Ide o minimálne invazívny terapeutický postup, ktorý využíva fotosenzitívne látky, tiež známe ako fotosenzitizéry, v kombinácii so žiarením o určitej vlnovej dĺžke (Dabrowski, Arnaut, 2019).

Kvôli vysokej selektivitě a účinnosti fotosenzitizérov na malígne ložiská sa PDT začala využívať primárne v oblasti onkologických ochorení a to pri ich liečbe aj diagnostike. Avšak so vzrastajúcim problémom antibiotickej rezistencie sa začalo na túto stratégiu pozeráť ako na jednu z možných antibiotických alternatív. Baktericídny účinok kombinácie fotosenzitívnej látky a svetla bol následne potvrdený v niekoľkých *in vitro* a *in vivo* štúdiách (Wainwright et al., 1998, Wilson, Yianni, 1995, Teichert et al., 2002). Na rozdiel od onkológie, kde sa fotosenzitizér pacientovi aplikuje intravenózne, je v týchto situáciách podávaný lokálne. Najčastejšie sa jedná o podanie topické alebo podanie v podobe aerosólu (Hamblin, Hasan, 2004). Na PDT je veľmi pôsobivé to, že okrem týchto využití nachádza svoje uplatnenie aj v liečbe infekcií, ktoré sú vyvolané fugálnymi agens. Prebehlo množstvo experimentov, počas ktorých bol preukázaný cídny účinok fotodynamickej terapie na dermatomycety a kvasinky (Donnelly et al., 2008).

Podstatou tejto terapie je vystavenie fotosenzitizéra viditeľnému alebo ultrafialovému žiareniu, ktoré fotosenzitívna látka absorbuje. Počas fotoaktívácie sa fotosenzitizér dostáva do excitovaného stavu, ktorý je nestabilný. Z toho dôvodu dochádza k následnému uvoľneniu prebytočnej energie alebo fluorescencii. Okrem toho sa fotosenzitívna molekula môže pomocou takzvaného medzi systémového križenia tiež dostať do tripletového stavu. Ten prispieva k vzniku cytotoxických látok. Konkrétne sa jedná o reaktívne formy kyslíka, ktoré vznikajú dvoma rôznymi cestami – reakciou typu I a typu II. Reakcia typu II je o niečo jednoduchšia a spočíva v prenose prebytočnej energie z tripletu na molekulárny kyslík, čím dochádza k vzniku singletového kyslíka. Fotochemická reakcia typu I obnáša vznik superoxidového aniónu, peroxidu vodíka a hydroxylového radikálu. K ich vzniku dochádza prenosom elektrónu medzi excitovaným tripletovým stavom a substrátom. Ako substrát môžu

slúžiť napríklad lipidy, proteíny alebo DNA. Tieto novo vzniknuté častice sú následne zodpovedné za poškodzovanie bakteriálnych makromolekúl. (Dabrowski, Arnaut, 2019, Garcia.Diaz et al., 2016)

V rámci užívania PDT ako antibiotickej alternatívy sa okrem iného zistilo, že gramnegatívne (G-) a grampozitívne baktérie (G+) voči tejto terapii vykazujú odlišnú mieru citlivosti. V prípade použitia neutrálnych či anionických fotosenzitívnych látok možno pozorovať deštruktívny efekt voči G+ baktériám, avšak u G- zástupcov k takému poškodeniu nedochádza. Príčina spočíva v tom, že bunková stena G-baktérií je oveľa menej priepustná, než je tomu u G+ jedincov (George et al., 2009).

Zvýšenú odolnosť G-baktérií je možné narušiť za pomoci kationických fotosenzitizérov. Mechanizmus účinku spočíva v tom, že kationický fotosenzitizér naruší usporiadanú štruktúru vonkajšej membrány baktérie a umožní tak prestup ďalších fotosenzitívnych molekúl do jej vnútra. Následne dochádza ku kumulácii fotosenzitizérov vo vnútri, prípadne na povrchu cytoplazmatickej membrány, kde tieto molekuly spôsobujú fotopoškodenie membránových proteínov. To potom vedie k spusteniu kritických procesov, ktoré vyústia do inaktívácie baktérii. (Vaara, Vaara, 193)

V súčasnej dobe sa fotosenzitizéry v rámci antibakteriálnej fotodynamickej terapie bežne využívajú na liečbu lokalizovaných infekcií, ako sú infekcie v ranách či popáleninách. Tie sú často spôsobené práve multirezistentnými baktériami, medzi ktoré patrí napríklad *S. aureus*. Veľmi priaznivou vlastnosťou PDT je jej potenciál pre inaktíváciu faktorov virulencie, kam patrí aj formovanie biofilmu. V nedávnej štúdii sa zistilo, že PDT je u *S. aureus* schopná rast biofilmu blokovat' (Mahmoudi et al., 2019)

Sú to práve biofilmy, ktoré často znižujú antimikrobiálne pôsobenie fotosenzitizérov. Avšak prienik fotosenzitívnych látok či samotného svetla do cieľového tkaniva môže byť obmedzený napríklad aj len tým, že ide o hlboko lokalizovanú infekciu. Na zvýšenie účinnosti PDT sa uskutočnili rôzne štúdie, v ktorých bola PDT kombinovaná s nízkofrekvenčným ultrazvukom. Bolo preukázané, že kavitačný efekt ultrazvukového žiarenia v kombinácii s PDT skutočne vedie k vyššej antimikrobiálnej účinnosti (Wang et al., 2022)

Stratégia spočívajúca v identifikácii nových liečebných indikácií u existujúcich liečiv

Ďalšou a pomerne inovatívnou alternatívou k antibiotickej terapii je takzvaná „drug repurpose“ stratégia. Tento prístup spočíva v identifikácii novej liečebnej indikácie u už existujúcich liečiv. Výhodou tohto postupu je to, že dané lieky boli už schválené na iné použitie a preto je ich bezpečnosť a farmakokinetika dobre známa. To umožňuje rýchlejšie uvedenie látky na trh a taktiež to obnáša nižšie investičné náklady v porovnaní s tradičnými metódami objavovania antiinfekčných liekov (Sleigh, Barton 2010).

Prvým krokom v „drug repurpose“ procese (niekedy tiež nazývanom „drug repositioning“, „reprofiling“ či „re-tasking“) je skríning knižníc už schválených liečiv na dané ochorenie. Stratégia na opätovné použitie lieku zvyčajne zahŕňa tri kľúčové kroky, ktoré predchádza jeho ďalšiemu vývoju. Prvým krokom je určenie vhodnej molekuly pre danú indikáciu. Nasleduje testovanie účinku zvoleného lieku v predklinických modeloch a nakoniec vyhodnotenie účinnosti v klinických štúdiách fázy II. K tým možno pristúpiť iba vtedy, ak už existujú dostatočné informácie o bezpečnosti lieku z predchádzajúcich štúdií fázy I, ktoré prebiehali v rámci pôvodnej indikácie. Všeobecne je tieto prístupy možné rozdeliť na výpočtové a experimentálne, pričom sa stále častejšie používajú v kombinácii. Ako konkrétny príklad výpočtovej stratégie je možné uviesť takzvaný molekulárny docking. Ide o dôležitý a veľmi užitočný nástroj v predklinickom výskume farmak, ktorý umožňuje simulovať interakcie medzi potenciálnym liečivom a jeho cieľovou molekulou (napr. proteínom) (Pushpakon et al., 2016) Napriek tomu, že dané liečivá neboli pôvodne vyvinuté ako antibiotiká, tak môžu ovplyvňovať mikrobiálne bunky rôznymi nepriamymi mechanizmami. Všeobecne možno povedať, že sa na

„repurpose“ často využívajú látky, ktoré nepreukázali účinnosť v ich pôvodnej indikácii počas klinických testov, látky z projektov, ktoré museli byť ukončené z komerčných dôvodov, látky s končiacou platnosťou patentu, prípadne môžu byť využité generiká uvedené na trhu (Sligh, Barton 2010).

Konkrétne by sa tu mohli zaradiť fenotiazidové neuroleptiká (Amaral et al., 1996), lokálne anestetiká (Pospíšilová et al., 2020), inhibitory protónovej pumpy (Ni et al., 2014), nesteroidné antiflogistiká (Hendrix et al., 2016) a mnoho ďalších skupín. Spomínané molekuly zahŕňajú rozličné mechanizmy pôsobenia, napríklad: interakcie s bunkovými stenami a membránami, zásah do proteosyntézy či iných metabolických dráh, narušenie syntézy nukleových kyselín, interakcie na úrovni tvorby biofilmu av neposlednom rade zásah do procesu komunikácie zvaného quorum sensing (Mahlapuu et al., 2020). Quorum sensing je typ komunikačného mechanizmu, ktorý využívajú baktérie na koordináciu svojho správania pri dosiahnutí vyššej hustoty svojej populácie. Tento proces zahŕňa produkciu, uvoľňovanie a detekciu chemických molekúl, ktorým sa hovorí autoinduktory. Ak tieto molekuly dosiahnu určité množstvo, baktérie reagujú zmenou správania (Fischeti et al. 2017).

Pri „repurpose“ stratégii je rovnako ako pri „de novo“ dizajne lieku dôležitý index selektivity, čo znamená, že koncentrácia, pri ktorej je zlúčenina toxická pre zdravé ľudské bunky, by mala byť čo najďalej od terapeutickkej koncentrácie. Je preto dôležité, aby sa počas „repurpose“ procesu dosiahla významná antimikrobiálna aktivita pri oveľa nižšej koncentrácii, než je toxický účinok lieku v pôvodnej indikácii. Z hľadiska kombinácie selektivity, špecifickosti a skutočnej použiteľnosti bohužiaľ mnoho zlúčenín v tomto smere zlyháva (Bouyahya et al. 2017).

Stratégia vedúca k potlačeniu virulentného potenciálu baktérií

Antivirulentný prístup je pomerne novou, ale rýchlo rastúcou oblasťou výskumu, ktorá sa zameriava na potlačenie bakteriálnej virulencie. Virulenciu možno definovať ako relatívnu schopnosť mikróba spôsobiť poškodenie v hostiteľovi (Fischeti et al. 1998), relatívnu kapacitu pre vstup a množenie v danom hostiteľovi alebo ako stupeň patogenity (Youmans, Sommers, 1975). Antivirulentný prístup je svojím spôsobom jedinečný, pretože sa nezameriava na usmrtenie baktérie, ale jeho hlavným cieľom je narušenie špecifických mechanizmov, ktoré súvisia práve s virulenciou patogénu (Theuretzbacher, Piddock 2019). To v porovnaní s tradičnými antibiotikami poskytuje veľkú výhodu. Tá spočíva v tom, že vzhľadom na to, že antivirulentné látky nepôsobia priamo na životné funkcie baktérií, existuje menšia pravdepodobnosť, že patogény budú vplyvom tohto prístupu vyvíjať rezistenciu. Je však nutné brať tiež do úvahy skutočnosť, že potlačením virulencie dôjde k zmierneniu prebiehajúcej infekcie (Stoitsova et al., 2022). Medzi hlavné virulentné faktory patrí napríklad tvorba toxínov, uvoľňovanie enzýmov, expresia adhezívnych molekúl, tvorba biofilmov alebo schopnosť unikáť imunitnému systému (Heras et al., 2015). Tieto faktory sú často druhovo alebo kmeňovo špecifické (Theuretzbacher, Piddock 2019) a ich expresia môže byť okrem iného regulovaná mechanizmom zvaným quorum sensing (Bouyahya et al., 2017).

Vzhľadom na to, že QS hrá takto významnú úlohu v riadení virulencie patogénov, stal sa v rámci antivirulentného prístupu primárnym cieľom. Zlúčeniny inhibujúce QS by mohli predstavovať novú generáciu antimikrobiálnych látok s aplikáciami v mnohých oblastiach, vrátane humánnej i veterinárnej medicíny (Hentzer, Givskov, 2003). Prístupy k inhibícii QS sú rôzne. Zahŕňajú inhibíciu tvorby signálu, jeho prenosu alebo jeho príjmu. K tomu možno využiť syntetické aj prírodné látky, ako je napríklad med, liečivé rastliny či iné mikroorganizmy (Bouyahya et al., 2017).

Ako bolo spomenuté vyššie, táto stratégia má oproti bežnému prístupu v liečbe antibiotikami isté výhody, avšak sú tu aj úskalia. Napríklad boli testované kmene baktérií, u ktorých sa zistilo, že sú schopné inhibítory QS vylúčiť pomocou nadprodukcie efluxných púmp. Okrem toho sa

ponúka aj niekoľko otázok spojených so zavedením antivirulentnej stratégie, napríklad to, akou cestou tieto antivirulentné zlúčeniny podávať a či bude spôsob aplikácie zohrávať úlohu v antimikrobiálnej účinnosti (Proctor et al., 2020). Treba teda povedať, že aj napriek sľubným laboratórnym výsledkom má pred sebou antivirulentné stratégie pre klinickú oblasť ešte relatívne náročnú cestu. S istotou však možno povedať, že aj napriek výzvam, ktoré antivirulentná terapia obnáša, predstavuje kľúčový krok smerom k riešeniu globálneho problému v podobe bakteriálnej rezistencie.

Stratégia založená na využití antimikrobiálnych peptidov

Ďalšiu veľmi nádejnú alternatívu v boji s bakteriálnou rezistenciou ponúka antimikrobiálne peptidy (AMP). Konkrétne sa jedná o proteínové molekuly, obvykle zložené z 10 až 50 aminokyselín. Sú produkované ako prvá obranná línia proti patogénom všetkými mnohobunkovými organizmami – od hmyzu či rastlín, až po ľudí. AMP sú schopné disponovať širokou aktivitou na priame zabíjanie baktérií, kvasiniek, plesní, vírusov a dokonca aj rakovinových buniek (Zhang, Gallo, 2016)

Väčšina antimikrobiálnych peptidov má kladný náboj, amfifilný charakter a štruktúru α -helixu. Práve vďaka kladnému náboju môžu tieto peptidy interagovať so záporne nabitou bunkovou stenou baktérií. Výsledkom tejto elektrostatickej interakcie býva tvorba pórov, ktoré narušujú celkovú integritu baktérie a prispievajú k jej smrti. Toto však nie je jediný mechanizmus účinku, ktorým antimikrobiálne peptidy môžu disponovať. Sú tiež schopné narušiť bunkovú stenu baktérie pomocou enzymatického trávenia a niektorí zástupcovia dokonca prechádzajú cez lipidovú dvojvrstvu baktérie a zameriavajú sa na inhibíciu intracelulárnych funkcií.

Konkrétne môže ísť o inhibíciu syntézy bakteriálnych proteínov, nukleových kyselín alebo o blokáciu enzymatickej aktivity. (Zhang, Gallo, 2016, Lei et al., 2019).

Okrem priamej antimikrobiálnej aktivity sa AMP môžu tiež podieľať na modulácii imunitného systému svojho hostiteľa. Konkrétne môže ísť o zvýšenú produkciu prozápalových cytokínov či zvýšenú chemotaxiu neutrofilov, makrofágov a dendritických buniek. Ďalšou možnosťou je tiež stimulácia adaptívnej imunity, ktorá napríklad zahŕňa aktiváciu T-lymfocytov. Zároveň môžu AMP prispievať k hojeniu rán a tiež znižovať riziko sepsy tým, že znižujú toxické pôsobenie bakteriálnych endotoxínov, ako je napríklad lipopolysacharid (LPS) (Mahlapu et al., 2020, Girdhar et al., 2024).

Skutočnosť, že AMP môžu zacieliť na niekoľko štruktúr zároveň, bráni baktériám v jednoduchom budovaní rezistencie, čo je jedna z primárnych výhod tejto stratégie. Za ďalšiu výhodu je považovaná aj ich schopnosť prechádzať biofilmom, či dokonca brániť jeho vzniku (Lei et al., 2019). Naopak nevýhodou je ich samotná štruktúra. Vzhľadom na to, že ide o peptidy, je pre nich typický krátky biologický polčas. Bolo zistené, že proteolytické enzýmy znižujú biologickú dostupnosť pri orálnom, intravenóznom a dokonca aj topickom podaní, čo je prekážka, ktorá významne obmedzuje klinickú aplikáciu. V súčasnosti odborníci hľadajú riešenie tohto nedostatku v podobe rôznych úprav peptidovej štruktúry či využitia nosičov. Nemenej závažným problémom antimikrobiálnych peptidov je, že okrem bunkovej steny baktérií môžu tiež zacieliť na membránu eukaryotických buniek, konkrétne erytrocytov, čo môže viesť k hemolytickej reakcii. Toto je tiež veľmi významná komplikácia, na ktorej je potrebné ešte pracovať (Mahlapu et al., 2020).

Navzdory rozmanitému antimikrobiálnemu pôsobeniu antibakteriálnych peptidov baktérie už boli schopné vyvinúť niekoľko mechanizmov, pomocou ktorých týmto látkam odolávajú. Tieto mechanizmy zahŕňajú samotnú degradáciu peptidov, používanie efluxných púmp či bránenie peptidom v nadviazaní sa na bakteriálnu bunkovú stenu. Toto baktérie dosiahnu pomocou modifikácie jej štruktúry. Často dochádza k začleneniu D-alanínu do lipoteichových kyselín, čo vyústi do zníženia negatívneho náboja steny a obmedzeniu elektrostatickej interakcie s AMP (Anderson et al., 2016). Túto stratégiu využíva napríklad *S. aureus* či *Streptococcus pyogenes*

(Moravej et al., 2018). Je teda dôležité brať na vedomie aj tieto skutočnosti a v pokračujúcom vývoji antimikrobiálnych peptidov postupovať obozretne.

Záver

Neustále narastajúca hrozba v podobe antimikrobiálnej rezistencie voči tradičným antibiotikám si žiada zavádzanie nových a účinných postupov. Terapia predstavuje inovatívny a veľmi efektívny prístup v liečbe infekcií spôsobených multirezistentnými agens. Vďaka svojej špecifickej účinnosti a možnosti cielene napádať iba patogénne baktérie sa stáva lukratívne a veľmi sľubnou alternatívou k súčasnej antibiotickej liečbe. Významným prínosom je okrem iného aj skutočnosť, že liečba založená na špecifických bakteriofázach významne obmedzuje negatívny dopad na prospešný ľudský mikróbiom. Existujú isté prekážky, akými sú napríklad právna regulácia, štandardizácia produkcia vedúca k príprave fágových koktailov či potenciálne riziko rezistencie, pokračujúci výskum a prebiehajúce klinické štúdie prinášajú nové poznatky, ktoré s určitosťou napomôžu k progresívnym krokom vo vývoji fágových prípravkov. Budúcnosť fágovej terapie spočíva nielen v liečbe ťažkých infekcií, ale je tiež významným nástrojom pre detekciu patogénov v potravinárstve a môže pomôcť elimináciu patogénnych baktérií v oblasti akvakultúry a starostlivosti o vodné ekosystémy. Je teda namieste uviesť, že tento prístup predstavuje významný prísľub nielen v oblasti humánnej medicíny.

Literatúra

A REPORT FROM THE NNIS SYSTEM. National Nosocomial Infections Surveillance (NNIS) System Report, data summary from January 1992 through June 2003, issued August 2003. Online. American Journal of Infection Control. 2003, roč. 31, č. 8, s. 481-498. ISSN 01966553. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2003.09.002>

Alzon, D.; Jaramillo, E.; Schunemann, H. J., et al. WHO guidelines for the programmatic management of drug-resistant tuberculosis: 2011 update. Online. European Respiratory Journal. 2011, roč. 38, č. 3, s. 516-528. ISSN 0903-1936. Dostupné z: <https://doi.org/10.1183/09031936.00073611>

Amaral, L.; Kristiansen, J. E.; Abebe, L. S., et al. Inhibition of the respiration of multi drug resistant clinical isolates of Mycobacterium tuberculosis by thioridazine: potential use for initial therapy of freshly diagnosed tuberculosis. Online. Journal of Antimicrobial Chemotherapy. 1996, roč. 38, č. 6, s. 1049-1053. ISSN 0305-7453. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/jac/38.6.1049>

Andersson, D.I.; Hughes, D. A Kubicek-Sutherland, J.Z. Mechanisms and consequences of bacterial resistance to antimicrobial peptides. Online. Drug Resistance Updates. 2016, roč. 26, s. 43-57. ISSN 13687646. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.drug.2016.04.002>

Bouyahya, Abdelhakim; Dakka, Nadia; Et-Touys, Abdeslam, et al. Medicinal plant products targeting quorum sensing for combating bacterial infections. Online. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine. 2017, roč. 10, č. 8, s. 729-743. ISSN 19957645. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.07.021>

Bouyahya, Abdelhakim; Dakka, Nadia; Et-Touys, Abdeslam, et al. Medicinal plant products targeting quorum sensing for combating bacterial infections. Online. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine. 2017, roč. 10, č. 8, s. 729-743. ISSN 19957645. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.07.021>

Chait, Remy; Craney, Allison A Kishony, Roy. Antibiotic interactions that select against resistance. Online. Nature. 2007, roč. 446, č. 7136, s. 668-671. ISSN 0028-0836. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nature05685>

Chatterjee, Maitrayee; Anju, C.P.; Biswas, Lalitha, et al. Antibiotic resistance in Pseudomonas aeruginosa and alternative therapeutic options. Online. International Journal of Medical Microbiology. 2016, roč. 306, č. 1, s. 48-58. ISSN 14384221. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2015.11.004>

Cigana, Cristina; Bernardini, Francesca; Facchini, Marcella, et al. Efficacy of the Novel Antibiotic POL7001 in Preclinical Models of Pseudomonas aeruginosa Pneumonia. Online. Antimicrobial Agents and Chemotherapy. 2016, roč. 60, č. 8, s. 4991-5000. ISSN 0066 4804. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/AAC.00390-16>

Dabrowski, Janusz M. A Arnaut, Luis G. Photodynamic therapy (PDT) of cancer: from local to systemic treatment. Online. Photochemical & Photobiological Sciences. 2015, roč. 14, č. 10, s. 1765-1780. ISSN 1474-905X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/c5pp00132c>. 2024-08-22].

Donnelly, Ryan F.; Mccarron, Paul A. A Tunney, Michael M. Antifungal photodynamic therapy. Online. Microbiological Research. 2008, roč. 163, č. 1, s. 1-12. ISSN 09445013. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2007.08.001>

Finlay, J. A review of the antimicrobial activity of clavulanate. Online. Journal of Antimicrobial Chemotherapy. 2003, roč. 52, č. 1, s. 18-23. ISSN 1460-2091. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/jac/dkg286>

Fischetti, V. A.; Casadevall, Arturo a PIROFSKI, Liise-anne. Host-Pathogen Interactions: Redefining the Basic Concepts of Virulence and Pathogenicity. Online. *Infection and Immunity*. 1999, roč. 67, č. 8, s. 3703-3713. ISSN 0019-9567. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/IAI.67.8.3703-3713.1999>.

Fischetti, V. A.; Casadevall, Arturo A Pirofski, Liise-anne. Host-Pathogen Interactions: Redefining the Basic Concepts of Virulence and Pathogenicity. Online. *Infection and Immunity*. 1999, roč. 67, č. 8, s. 3703-3713. ISSN 0019-9567. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/IAI.67.8.3703-3713.1999>.

Garcia-Diaz, Maria; Huang, Ying-Ying A Hamblin, Michael R. Use of fluorescent probes for ROS to tease apart Type I and Type II photochemical pathways in photodynamic therapy. Online. *Methods*. 2016, roč. 109, s. 158-166. ISSN 10462023. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2016.06.025>.

George, Saji; Hamblin, Michael R. A Kishen, Anil. Uptake pathways of anionic and cationic photosensitizers into bacteria. Online. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2009, roč. 8, č. 6, s. 788-795. ISSN 1474-905X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/b809624d>.

Girdhar, Meetali; Sen, Aparajita; Nigam, Arti, et al. antimicrobial peptide-based strategies to overcome antimicrobial resistance. Online. *Archives of Microbiology*. 2024, roč. 206, č. 10. ISSN 0302-8933. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00203-024-04133-x>.

Hamblin, Michael R. A Hasan, Tayyaba. Photodynamic therapy: a new antimicrobial approach to infectious disease? Online. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2004, roč. 3, č. 5, s. 436-450. ISSN 1474-905X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/b311900a>.

Hendrix, Andrew S.; Spoonmore, Thomas J.; Wilde, Aimee D., et al. Repurposing the Nonsteroidal Anti-inflammatory Drug Diflunisal as an Osteoprotective, Antivirulence Therapy for Staphylococcus aureus Osteomyelitis. Online. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2016, roč. 60, č. 9, s. 5322-5330. ISSN 0066-4804. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/AAC.00834.16>.

Hentzer, Morten A Givskov, Michael. Pharmacological inhibition of quorum sensing for the treatment of chronic bacterial infections. Online. *Journal of Clinical Investigation*. 2003, roč. 112, č. 9, s. 1300-1307. ISSN 0021-9738. Dostupné z: <https://doi.org/10.1172/JCI20074>.

Heras, Begoña; Scanlon, Martin J. A Martin, Jennifer L. Targeting virulence not viability in the search for future antibacterials. Online. *British Journal of Clinical Pharmacology*. 2015, roč. 79, č. 2, s. 208-215. ISSN 0306-5251. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/bcp.12356>.

Lehár, Joseph; Krueger, Andrew S; Avery, William, et al. Synergistic drug combinations tend to improve therapeutically relevant selectivity. Online. *Nature Biotechnology*. 2009, roč. 27, č. 7, s. 659-666. ISSN 1087-0156. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nbt.1549>. [cit. 2025-01-07].

Lei, Jun; Sun, Lichun; Huang, Siyu, et al. The antimicrobial peptides and their potential clinical applications. Online. *American journal of translational research*. 2019, roč. 11, č. 7, s. 3919-3931. ISSN 1943-8141/AJTR0095989. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6684887/>.

LEÓN-BUITIMEA, Angel; GARZA-CÁRDENAS, Cesar R.; GARZA-CERVANTES, Javier A., et al. The Demand for New Antibiotics: Antimicrobial Peptides, Nanoparticles, and Combinatorial Therapies as Future Strategies in Antibacterial Agent Design. Online. *Frontiers in Microbiology*. 2020, roč. 11. ISSN 1664-302X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01669>

Mahlapuu, Margit; Björn, Camilla A Ekblom, Jonas. Antimicrobial peptides as therapeutic agents: opportunities and challenges. Online. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2020, roč. 40, č. 7, s. 978-992. ISSN 0738-8551. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1796576>.

Mahlapuu, Margit; Björn, Camilla A Ekblom, Jonas. Antimicrobial peptides as therapeutic agents: opportunities and challenges. Online. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2020, roč. 40, č. 7, s. 978-992. ISSN 0738-8551. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1796576>.

Mahmoudi, Hassan; Pourhajibagher, Maryam; Alikhani, Mohammad Yousef et al. The effect of antimicrobial photodynamic therapy on the expression of biofilm associated genes in Staphylococcus aureus strains isolated from wound infections in burn patients. Online. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2019, roč. 25, s. 406-413. ISSN 15721000. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.01.028>.

Michel, Jean-Baptiste; Yeh, Pamela J.; Chait, Remy, et al. Drug interactions modulate the potential for evolution of resistance. Online. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008, roč. 105, č. 39, s. 14918-14923. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <https://doi.org/10.1073/pnas.0800944105>.

Moravej, Hoda; Moravej, Zahra; Yazdanparast, Maryam, et al. Antimicrobial Peptides: Features, Action, and Their Resistance Mechanisms in Bacteria. Online. *Microbial Drug Resistance*. 2018, roč. 24, č. 6, s. 747-767. ISSN 1076-6294. Dostupné z: <https://doi.org/10.1089/mdr.2017.0392>.

Ni, Wentao; Cai, Xuejiu; Liang, Beibei, et al. Effect of Proton Pump Inhibitors on In Vitro Activity of Tigecycline against Several Common Clinical Pathogens. Online. *PLoS ONE*. 2014, roč. 9, č. 1. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086715>.

Pospíšilová, Šárka; Malík, Ivan; Bezouskova, Kristyna, et al. Dibasic Derivatives of Phenylcarbamic Acid as Prospective Antibacterial Agents Interacting with Cytoplasmic Membrane. Online. *Antibiotics*. 2020, roč. 9, č. 2. ISSN 2079-6382. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/antibiotics9020064>.

Proctor, Chris R.; Mccarron, Paul A. A Ternan, Nigel G. Furanone quorum-sensing inhibitors with potential as novel therapeutics against *Pseudomonas aeruginosa*. Online. *Journal of Medical Microbiology*. 2020, roč. 69, č. 2, s. 195-206. ISSN 0022-2615. Dostupné z: <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001144>.

Pushpakom, Sudeep; Iorio, Francesco; Eysers, Patrick A., et al. Drug repurposing: progress, challenges and recommendations. Online. *Nature Reviews Drug Discovery*. 2019, roč. 18, č. 1, s. 41-58. ISSN 1474-1776. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nrd.2018.168>.

Sleigh, Sara H. A Barton, Cheryl L. Repurposing Strategies for Therapeutics. Online. *Pharmaceutical Medicine*. 2010, roč. 24, č. 3, s. 151-159. ISSN 1178-2595. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF03256811>.

SLEIGH, Sara H. a BARTON, Cheryl L. Repurposing Strategies for Therapeutics. Online. *Pharmaceutical Medicine*. 2010, roč. 24, č. 3, s. 151-159. ISSN 1178-2595. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF03256811>.

Stoitsova, Stoyanka; Paunova-Krasteva, Tsvetelina; Dimitrova, Petya D., et al. The concept for the antivirulence therapeutics approach as alternative to antibiotics: hope or still a fiction? Online. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2022, roč. 36, č. 1, s. 697-705. ISSN 1310-2818. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/13102818.2022.2106887>.

Sullivan, Geraldine J; Delgado, Natasha N; Maharjan, Ram, et al. How antibiotics work together: molecular mechanisms behind combination therapy. Online. *Current Opinion in Microbiology*. 2020, roč. 57, s. 31-40. ISSN 13695274. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.mib.2020.05.012>.

Tamma, Pranita D; Aitken, Samuel L; Bonomo, Robert A, et al. Infectious Diseases Society of America Guidance on the Treatment of Extended-Spectrum β -lactamase Producing Enterobacterales (ESBL-E), Carbapenem-Resistant Enterobacterales and *Pseudomonas aeruginosa* with Difficult-to-Treat Resistance (DTR- *P. aeruginosa*). Online. *Clinical Infectious Diseases*. 2021, roč. 72, č. 7, s. e169-e183. ISSN 1058-4838. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1478>.

TAMMA, Pranita D; AITKEN, Samuel L; BONOMO, Robert A, et al. Infectious Diseases Society of America Guidance on the Treatment of Extended-Spectrum β -lactamase Producing Enterobacterales (ESBL-E), Carbapenem-Resistant Enterobacterales and *Pseudomonas aeruginosa* with Difficult-to-Treat Resistance (DTR- *P. aeruginosa*). Online. *Clinical Infectious Diseases*. 2021, roč. 72, č. 7, s. e169-e183. ISSN 1058-4838. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1478>.

Teichert, M.C.; Jones, J.W.; Usacheva, M.N., et al. Treatment of oral candidiasis with methylene blue-mediated photodynamic therapy in an immunodeficient murine model. Online. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2002, roč. 93, č. 2, s. 155-160. ISSN 10792104. Dostupné z: <https://doi.org/10.1067/moe.2002.120051>.

Theuretzbacher, Ursula A Piddock, Laura J.V. Non-traditional Antibacterial Therapeutic Options and Challenges. Online. *Cell Host & Microbe*. 2019, roč. 26, č. 1, s. 61-72. ISSN 19313128. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chom.2019.06.004>.

Torella, Joseph Peter; Chait, Remy; Kishony, Roy, et al. Optimal Drug Synergy in Antimicrobial Treatments. Online. *PLoS Computational Biology*. 2010, roč. 6, č. 6. ISSN 1553 7358. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000796>.

Vaara, M A Vaara, T. Polycations as outer membrane-disorganizing agents. Online. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 1983, roč. 24, č. 1, s. 114-122. ISSN 0066 4804. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/AAC.24.1.114>.

Wainwright, M; Phoenix, D.A; Laycock, S.L, et al. Photobactericidal activity of phenothiazinium dyes against methicillin-resistant strains of *Staphylococcus aureus*. Online. *FEMS Microbiology Letters*. 1998, roč. 160, č. 2, s. 177-181. ISSN 03781097. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1998.tb12908.x>.

Wang, Ying; Xu, Yixuan; Guo, Xianghuan, et al.. Enhanced antimicrobial activity through the combination of antimicrobial photodynamic therapy and low-frequency ultrasonic irradiation. Online. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2022, roč. 183. ISSN 0169409X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2022.114168>.

Wilson, M. A Yianni, C. Killing of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* by low power laser light. Online. *Journal of Medical Microbiology*. 1995, roč. 42, č. 1, s. 62-66. ISSN 0022-2615. Dostupné z: <https://doi.org/10.1099/00222615-42-1-62>.

Youmans, Guy P. A Sommers, Herbert M. The Biologic and clinical basis of infectious diseases. Online. Saunders, 1975. ISBN 0721696503. Dostupné z: https://openlibrary.org/works/OL16558991W/The_Biologic_and_clinical_basis_of_infectious_diseases?edition=key%3A/books/OL5061056M.

Zhang, Ling-Juan A Gallo, Richard L. Antimicrobial peptides. Online. *Current Biology*. 2016, roč. 26, č. 1, s. R14-R19. ISSN 09609822. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.11.017>.

Zhang, Piaopiao; Wu, Wenhao; Wang, Nanfei, et al. *Pseudomonas aeruginosa* High-Risk Sequence Type 463 Co-Producing KPC-2 and AFM-1 Carbapenemases, China, 2020–2022. Online. *Emerging Infectious Diseases*. 2023, roč. 29, č. 10, s. 2136-2140. ISSN 1080-6040. Dostupné z: <https://doi.org/10.3201/eid2910.230509>.

Kontaktná adresa: prof. Ing. Jozef Golian, Dr., Ústav potravinárstva, FBP SPU v Nitre. Tr. . Hlinku 2, 949 76 Nitra, Email: jozef.golian@uniag.sk

doc. Ing. Peter Minárik, PhD., Biomedicínske centrum SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 845 05 Bratislava, E
mail: peter.minarik@gmail.com
Slovenská republika
doc. PharmDr. Daniela Mináriková, PhD., MSc., MPH. Univerzita Komenského v Bratislave, Farmaceutická
fakulta UK, Ulica odbojárov 10 832 32 Bratislava 3 Email: minarikova@fpharm.uniba.sk

HODNOTENIE POTENCIÁLU TEKVICOVÉHO BIELKOVINOVÉHO KONCENTRÁTU NA PRODUKCIU CESTOVÍN SO ZLEPŠENÝM NUTRIČNÝM PROFILOM A ZNÍŽENÝM GLYKEMICKÝM INDEXOM

EVALUATION OF THE POTENTIAL OF PUMPKIN PROTEIN CONCENTRATE FOR THE PRODUCTION OF PASTA WITH IMPROVED NUTRITIONAL PROFILE AND REDUCED GLYCEMIC INDEX

Tatiana Holkovičová, Lucia Minarovičová, Michaela Lauková, Gabriel Greif, Viktória Piri, Zlatica Kohajdová

Abstract: This study investigates the impact of replacing semolina with 10–40 percent pumpkin protein concentrate in durum wheat pasta. The substitution increased protein (12.15–29.21 g/100 g), fiber, and lipids, while decreasing starch and total carbohydrates. The glycemic index was reduced from 60.42 (control) to 50.68, placing enriched samples in the medium to low category. This effect was attributed to higher protein and fiber and lower starch content. Pumpkin protein shows strong potential for nutritionally enhanced, lower glycemic index pasta.

Keywords: pumpkin protein concentrate, nutritional composition, glycemic index, high protein pasta

Úvod

V poslednom desaťročí sa úloha potravín prestáva vnímať výlučne ako zdroj energie, ale čoraz viac sa od potravín očakáva, že ich pravidelný príjem by mal prispieť k prevencii civilizačných ochorení, podporia fyzickú výkonnosť či stabilizujú metabolizmus. Jedným z kľúčových parametrov ovplyvňujúcich metabolickú odpoveď organizmu je glykemický index (GI), ktorý udáva, ako rýchlo sa po konzumácii potraviny zvýši hladina glukózy v krvi. Tradičné cestoviny z tvrdej pšenice, hoci obľúbené a výživovo hodnotné, vykazujú stredné až vysoké hodnoty GI (55–75) a obsahujú len 12–13 % bielkovín, čo limituje ich využitie v špecializovaných diétach (Guiné et al., 2020; Di Pede et al., 2021).

Zároveň stúpa záujem o zvyšovanie podielu rastlinných bielkovín v strave, čo je motivované nielen zdravotnými benefitmi, ale aj environmentálnym dopadom živočíšnej produkcie (Perraud et al., 2023). Bielkovinové koncentráty a izoláty rastlinného pôvodu dnes nachádzajú uplatnenie pri výrobe tradičných potravín, vrátane cereálnych výrobkov. Výskum v tejto oblasti sa sústreďuje najmä na strukovinové zdroje (cícer, hrach, sója), no do popredia sa dostávajú aj olejnaté semená, najmä vďaka ich špecifickému profilu aminokyselín a nízkemu obsahu sacharidov (Mondor, a Hernández-Álvarez, 2022; Meganaharshini et al., 2023).

Jedným z týchto alternatívnych zdrojov je tekvicový bielkovinový koncentrát, získaný z odtučnených semien *Cucurbita pepo* L. Tento koncentrát obsahuje 55–65 % bielkovín, obsahuje 10–15 % vlákniny, 8–12 % lipidov a významné množstvá minerálnych látok, ako je horčík (500–600 mg/100 g), zinok (6–9 mg/100 g) či železo (9–11 mg/100 g). Jeho bielkovinová frakcia sa vyznačuje vysokým podielom arginínu (6,8 g/100 g), kyseliny glutámovej (15,3 g/100 g) a leucínu (5,6 g/100 g), čo z neho robí výživovo hodnotnú surovinu s potenciálom podporiť syntézu svalových bielkovín a imunitnú odpoveď organizmu (Zhumaliyeva et al., 2023; Galenko et al., 2024, Hadidi et al., 2025).

Okrem nutričných výhod vykazuje tekvicový koncentrát aj priaznivé technologické vlastnosti – schopnosť viazať vodu (2,8–3,3 g/g), emulgačnú aktivitu nad 70 % a vysokú schopnosť tvoriť penu (penivosť 65–70 %, stabilita peny nad 60 %). Dôležité je tiež to, že na rozdiel od niektorých strukovinových koncentrátov obsahuje len zanedbateľné množstvo oligosacharidov a má nižší obsah antinutričných látok, ako sú fytáty a taníny (Coşkun, Ö a Gülseren, 2020; Sá et al., 2023; Tas et al., 2024).

Uvedené vlastnosti predurčujú tekvicový bielkovinový koncentrát ako vhodnú zložku pri obohacovaní cereálnych produktov, ako sú cestoviny, ktorým môže nielen zvýšiť obsah bielkovín, ale aj znížiť glykemickú záťaž. Práve túto hypotézu overuje predkladaná štúdia, ktorej cieľom je analyzovať vplyv prídavku tekvicového bielkovinového koncentráту do pšeničných cestovín na ich nutričné zloženie a predikovaný glykemický index.

Materiál a metodika

Materiál

Múka z tvrdej pšenice (semolina) (kontrolná vzorka) (Pastificio Riscossa F.lli Mastromauro S.p.A., Corato, Taliansko) bola zakúpená v bežnej maloobchodnej sieti na Slovensku. Podľa výživových údajov uvedených na obale obsahovala na 100 g: 12,8 g bielkovín, 71,2 g sacharidov (z toho 0,4 g cukrov), 1 g tuku (z toho 0,4 g nasýtených mastných kyselín), 2,6 g vlákniny a 0,004 g soli. Tekvicový bielkovinový koncentrát (Erik Márton s.r.o., 97, 930 37 Lehnice, Slovensko) bol použitý ako rastlinný zdroj bielkovín (výživové údaje na 100 g produktu: 56 g bielkovín, 4 g sacharidov (z toho 3,8 g cukrov), 7 g tukov (z toho 2,8 g nasýtených mastných kyselín)).

Kompozitné múčne zmesi boli pripravené substitúciou semoliny rôznymi podielmi tekvicového bielkovinového koncentrátu v rozmedzí 10 % až 40 % (označené ako T10 – T40).

Príprava cestovín

Cestoviny boli pripravené podľa receptúry a postupu autorov Wee et al. (2019). Výroba cestovín prebiehala pomocou laboratórneho lisu GGM Gastro International GmbH (Nemecko). Na jednu dávku cesta sa odvážilo 200 g suchých komponentov (semolina + tekvicový bielkovinový koncentrát), ku ktorým sa pridalo 1 % guarovej gumy (na zlepšenie textúry cesta, zvýšenie jeho súdržnosti a zabezpečenie lepšej spracovateľnosti počas lisovania, najmä v dôsledku zníženého obsahu lepku pri použití rastlinného bielkovinového koncentrátu). Suché suroviny sa najprv premiešali 5 minút, aby sa zabezpečila ich rovnomerná distribúcia. Následne sa zmes presunula do automatizovanej miesiacej komory zariadenia, kde bola hydratovaná pitnou vodou v pomere suchých a mokrých zložiek 3 : 1. Teplota pridávanej vody bola udržiavaná na úrovni 30 °C, cieľová vlhkosť cesta bola 30 %. Počas 20-minútového miesenia sa vytvorila kompaktná, plastická hmota vhodná na lisovanie. Hotové cesto bolo lisované cez maticu typu pappardelle (šírka 16 mm). Potom sa vytvarované cestoviny nechali voľne sušiť pri laboratórnej teplote (20–22 °C) počas 24 hodín a boli uskladnené v uzavretých polyetylénových vreckách, chránené pred vlhkosťou a svetlom až do ďalšieho spracovania.

Chemické zloženie a glykemický index

Obsah vlhkosti bol stanovený gravimetricky sušením podľa metódy ICC č. 110/1. Tuhy boli analyzované Soxhletovou metódou podľa autorov Stanković et al. (2018). Obsah popola, predstavujúci celkové množstvo minerálnych látok, bol určený žihaním vzoriek a vážením zvyšku podľa ICC č. 104/1. Celkové bielkoviny boli kvantifikované Kjeldahlovou metódou, pričom bol použitý konverzný faktor 5,7 pre vzorky obsahujúce výlučne semolinu a faktor 6,25 pre vzorky s prídavkom tekvicového bielkovinového koncentrátu, na prepočet obsahu dusíka na celkový bielkovín (Rizvi et al., 2022). Škrob bol analyzovaný polarimetricky podľa postupu autorov Omar et al. (2016), zatiaľ čo celková potravinová vláknina bola stanovená

enzymaticko-gravimetrickou metódou s použitím enzýmového kitu Megazyme (Lauková et al., 2019). Celkový obsah sacharidov bol analyzovaný metódou s antrónom (Gerwing, 2021). Jednoduché sacharidy (glukóza, fruktóza, maltóza) boli identifikované a kvantifikované pomocou vysokoúčinnnej kvapalinovej chromatografie (HPLC) s refraktometrickou detekciou, na základe metódy opísanej autormi Magala et al. (2015). Na stanovenie glykemického indexu (GI) sa aplikoval modifikovaný predikčný model, ktorý zahŕňa nielen glykemizujúce sacharidy, ale aj ostatné makroživiny, čím poskytuje presnejší odhad glykemickej odpovede (Rytz et al., 2019). Na výpočet glykemickej záťaže (GL) bol použitý vzorec definovaný autormi Lee et al. (2022), v ktorom GL zohľadňuje nielen rýchlosť, ale aj množstvo dostupných sacharidov, čím predstavuje komplexnejší ukazovateľ metabolickej odozvy.

Štatistická analýza

Všetky merania boli realizované trikrát ($n = 3$) a výsledky sú vyjadrené ako aritmetický priemer $\pm$ štandardná odchýlka. Na posúdenie štatistickej významnosti rozdielov medzi kontrolnou vzorkou a obohatenými variantmi cestovín bola použitá jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA), pričom porovnania medzi priermi boli vyhodnotené pomocou LSD testu podľa Fishera ($p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$).

Výsledky a diskusia

Chemické zloženie cestovín je zásadným ukazovateľom ich nutričnej hodnoty, pričom prídavok rastlinných bielkovinových koncentrátov zásadne ovplyvňuje obsah makronutrientov (Coşkun a Gülseren, 2020; Belc et al., 2021). Táto skutočnosť bola potvrdená aj v tejto štúdií (Tab. 1).

Tab. 1 Chemické zloženie cestovín pripravených zo semoliny (kontrolná vzorka) a s prídavkom tekvicového koncentráту v podieloch 10-40 %

g/100 g	Kontrolná vzorka	T10	T20	T30	T40
Vlhkosť	9,80 $\pm$ 0,03	9,45 $\pm$ 0,05***	9,48 $\pm$ 0,05**	9,32 $\pm$ 0,10***	9,19 $\pm$ 0,12***
Tuky	1,02 $\pm$ 0,04	1,56 $\pm$ 0,08**	2,10 $\pm$ 0,18***	2,70 $\pm$ 0,04***	3,29 $\pm$ 0,10***
Celkové sacharidy	71,66 $\pm$ 0,19	69,74 $\pm$ 0,20**	63,39 $\pm$ 0,15***	58,97 $\pm$ 0,12***	53,14 $\pm$ 0,18***
Bielkoviny	12,15 $\pm$ 0,25	15,69 $\pm$ 0,09***	20,39 $\pm$ 0,13***	26,13 $\pm$ 0,22***	29,21 $\pm$ 0,10***
Popol	1,05 $\pm$ 0,03	1,30 $\pm$ 0,01**	1,34 $\pm$ 0,04**	1,46 $\pm$ 0,02***	1,6 $\pm$ 0,01***
Škrob	69,80 $\pm$ 0,32	68,23 $\pm$ 0,16***	61,66 $\pm$ 0,09***	54,21 $\pm$ 0,20***	49,17 $\pm$ 0,29***
TDF	2,95 $\pm$ 0,05	6,00 $\pm$ 0,14***	5,92 $\pm$ 0,09***	7,69 $\pm$ 0,13***	8,5 $\pm$ 0,11***

Pozn.: *, **, a *** indikujú štatisticky významné rozdiely pri $p < 0,05$, $p < 0,01$, a $p < 0,001$, TDF – celková potravinová vláknina, T – tekvicový bielkovinový koncentrát, T10-T40 – podiel tekvicového bielkovinového koncentrátu v kompozitnej múčnej zmesi

Bolo zistené, že s rastúcim podielom tejto suroviny došlo k výraznému zníženiu obsahu vlhkosti vzoriek, čo súvisí so schopnosťou bielkovín a vlákniny efektívne viazať vodu, čím sa znižuje množstvo voľnej vody vo výrobku. Podobný trend bol zaznamenaný aj pri použití iných rastlinných bielkovín, napríklad sójového alebo hrachového, kde autori Belc et al. (2021) pozorovali pokles vlhkosti cestovinových produktov o 0,5–1 %.

Súčasne sa výrazne zvýšil obsah tukov, a to z 1,02 % v kontrolnej vzorke na 3,29 % pri vzorke so 40 % podielom koncentrátu. Tento nárast bol očakávaný vzhľadom na to, že tekvicový bielkovinový koncentrát obsahuje približne 7 % tukov, z ktorých podstatnú časť tvoria zdravie prospešné nenasýtené mastné kyseliny (predovšetkým kyselina olejová a linolová), čo potvrdzujú aj výsledky autorov Kirnak et al. (2019). Zvýšený obsah tukov zároveň prispieva k mierne vyššej energetickej hodnote finálneho produktu.

Na druhej strane bol pozorovaný výrazný pokles obsahu celkových sacharidov – z 71,66 % na 53,14 %, čo možno pripísať náhrade semoliny (bohatej na škrob a komplexné sacharidy) surovinou s vysokým podielom bielkovín a vlákniny. Rovnaký trend popisujú aj Wójcik et al. (2021) pri náhrade pšeničnej múky hrachovou bielkovinou, kde sa podiel sacharidov znížil až o 20 %. Obsah škrobu, ako dominantnej sacharidovej zložky, rovnako klesal – z pôvodných 69,80 % v kontrolnej vzorke na 49,17 % pri najvyššej úrovni náhrady, čo má význam aj z hľadiska potenciálne nižšej glykemickej odpovede organizmu.

Obsah popola, ktorý odráža celkový podiel minerálnych látok, sa v cestovinách zvýšil z 1,05 % na 1,60 %, čo súvisí s vysokým podielom minerálnych látok v tekvicových semenách. Táto surovina je známa vysokým obsahom horčíka, železa, zinku a mangánu (Belc et al., 2021).

Dôležitým nutričným parametrom je aj obsah vlákniny. Jej hodnota sa zvýšila z pôvodných 2,95 % na 8,50 %, čím sa cestoviny zaradili medzi produkty s vysokým obsahom vlákniny podľa nariadenia (ES) č. 1924/2006 (min. 6 g vlákniny na 100 g). Tekvicový koncentrát obsahuje prevažne nerozpustnú vlákninu, ako sú celulóza a hemicelulóza, ktoré prispievajú k predĺženiu pocitu sýtosti a zlepšujú peristaltiku čriev (Galenko et al., 2024).

Obsah bielkovín v testovaných vzorkách cestovín sa pohyboval v rozmedzí od 12,15 % (kontrola) do 29,21 % (T40), čo bolo spôsobené vysokým podielom bielkovín v koncentráte (56 %). Táto surovina predstavuje nutrične hodnotný rastlinný zdroj esenciálnych aminokyselín, s dominanciou arginínu a leucínu. Z hľadiska nutričného prínosu cestovín je dôležité hodnotiť aj ich schopnosť prispieť k pokrytiu denného odporúčaného príjmu bielkovín. Podľa odporúčaní FAO/WHO/UNU (2007) dospelý jedinec s hmotnosťou 70 kg potrebuje približne 58 g bielkovín denne. Pri takejto referenčnej hodnote dokáže 100 g kontrolnej vzorky pokryť zhruba pätinu dennej potreby, zatiaľ čo obohatené vzorky s podielom 10–40 % koncentrátu ju pokrývajú v rozsahu od približne jednej štvrtiny až po polovicu. Všetky obohatené varianty zároveň spĺňajú kritériá pre označenie „potravina s vysokým obsahom bielkovín“ podľa nariadenia (ES) č. 1924/2006, keďže viac ako 20 % ich energetickej hodnoty pochádza z bielkovín.

Tab. 2. Obsah sacharidov a predikovaný glykemický index pripravených cestovín

	Kontrolná vzorka	T10	T20	T30	T40
Glukóza (g/100 g)	0,06 ± 0,00	0,08 ± 0,02**	0,09 ± 0,01**	0,15 ± 0,02***	0,19 ± 0,03***
Maltóza (g/100 g)	0,60 ± 0,01	0,85 ± 0,02**	1,49 ± 0,01**	1,50 ± 0,02***	1,53 ± 0,03***

	Kontrolná vzorka	T10	T20	T30	T40
Fruktóza (g/100 g)	0,05 ± 0,00	0,09 ± 0,07**	0,14 ± 0,02***	0,15 ± 0,05***	0,18 ± 0,02***
Predikovaný GI	60,42 ± 0,20	59,32 ± 0,15	55,19 ± 0,18***	51,55 ± 0,12***	50,68 ± 0,13***
GL	41,51 ± 0,14	37,81 ± 0,21***	31,72 ± 0,18***	26,43 ± 0,10***	22,62 ± 0,15***

Pozn.: *, **, a *** indikujú štatisticky signifikantné rozdiely pri $p < 0,05$, $p < 0,01$, a $p < 0,001$, T – tekvicový bielkovinový koncentrát, T10-T40 – podiel tekvicového bielkovinového koncentráту v kompozitnej múčnej zmesi, RDS – rýchlo stráviteľný škrob

Glykemický index (GI) patrí medzi kľúčové ukazovatele nutričnej kvality potravín, keďže vyjadruje rýchlosť, akou po konzumácii danej potraviny stúpa hladina glukózy v krvi. Tento parameter sa čoraz častejšie používa pri hodnotení inovatívnych výrobkov s cieľom predikovať ich metabolický účinok, najmä v kontexte prevencie inzulínovej rezistencie a diabetu 2. typu (Zafar et al., 2019).

Výsledky tejto štúdie ukázali, že obohatenie cestovín tekvicovým bielkovinovým koncentrátom malo za následok zníženie GI cestovín (kontrolná vzorka: 60,42 a cestoviny pripravené z múčnej zmesi obsahujúcej 40 % podiel tekvicového koncentrátu: 50,68) (Tab. 2). Nižší GI výrobkov možno pripísať viacerým faktorom: zvýšenému obsahu bielkovín a vlákniny, ktoré spomaľujú trávenie škrobu, ako aj čiastočnému nahradeniu komplexných sacharidov menej glykemicky aktívnymi frakciami (Zhou et al., 2022).

Z hľadiska klasifikácie potravín podľa GI možno obohatené cestoviny zaradiť medzi výrobky so stredným (T10, T20) až nízkym GI (T30, T40), čo je z nutričného hľadiska žiaduce. Okrem toho bol vo vzorkách obohatených tekvicovým koncentrátom zistený aj znížený obsah škrobu, a hoci sa hladiny jednoduchých cukrov (glukóza, fruktóza, maltóza) s rastúcim podielom koncentrátu vo vzorkách cestovín mierne zvýšili, ich hodnoty neprekročili 2 g/100 g. Tento mierny nárast súvisí s prítomnosťou prirodzene sa vyskytujúcich cukrov v tekvicových semenách, ako aj s možnou čiastočnou hydrolýzou škrobu počas spracovania. Vzhľadom na ich nízku koncentráciu však tieto cukry nemajú zásadný vplyv na celkový glykemický profil produktu.

Glykemická záťaž (GL) predstavuje dôležitý ukazovateľ pri hodnotení skutočného vplyvu potraviny na hladinu glukózy v krvi, pretože zohľadňuje nielen glykemický index, ale aj obsah sacharidov v porcii (Lee et al., 2022). Je možné konštatovať, že aj napriek tomu, že prídavok tekvicového koncentrátu výrazne znížil GL cestovín (vzorka T40 mala až o 1,83 krát nižší GL v porovnaní so semolinovými cestovinami), pripravené výrobky možno považovať za potraviny s vysokou glykemickou záťažou ($GL > 20$).

Táto štúdia poukázala na potenciál tekvicového bielkovinového koncentrátu ako funkčnej suroviny pri výrobe cestovín s modifikovanou glykemickou záťažou a zníženým metabolickým dopadom.

Záver

Obohatenie pšeničných cestovín tekvicovým bielkovinovým koncentrátom viedlo k výraznému zlepšeniu ich nutričného profilu – zvýšeniu obsahu bielkovín, vlákniny a minerálnych látok, pri súčasnom znížení množstva škrobu a glykemického indexu. Výsledky potvrdzujú, že táto surovina má vysoký potenciál pri výrobe funkčných potravín s priaznivým

vpływom na metabolickú odpoveď organizmu a môže byť vhodnou alternatívou nielen pre konzumentov so špecifickými výživovými potrebami.

Literatúra

- Belc, N., Duta, D. E., Culetu, A., & Stamatie, G. D. (2021). Type and amount of legume protein concentrate influencing the technological, nutritional, and sensorial properties of wheat bread. *Applied Sciences*, 11(1), 436.
- Coşkun, Ö., & Gülseren, İ. (2020). Aqueous extraction and functionality of protein concentrates manufactured from cold press meals of pumpkin, pomegranate, and grape seeds. *Nutrira*, 45, 1-12.
- Di Pede, G., Dodi, R., Scarpa, C., Brighenti, F., Dall'Asta, M., & Scazzina, F. (2021). Glycemic index values of pasta products: An overview. *Foods*, 10(11), 2541.
- FAO, W. UNU (2007) Protein and amino acid requirements in human nutrition. *Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation (WHO Technical Report Series No. 935)*. Geneva: World Health Organisation.
- Galenko, O., Shevchenko, A., Ceccanti, C., Mignani, C., & Litvynchuk, S. (2024). Transformative shifts in dough and bread structure with pumpkin seed protein concentrate enrichment. *European Food Research and Technology*, 250(4), 1177-1188.
- Gerwig, G. J. (2021). *The art of carbohydrate analysis*. Groningen: Cham: Springer, p. 61-88, ISBN 978-3-030-77791-3.
- Guiné, R. P., Florença, S. G., Barroca, M. J., & Anjos, O. (2020). The link between the consumer and the innovations in food product development. *Foods*, 9(9), 1317.
- Hadidi, M., Tarahi, M., Günther Innerhofer, M., Pitscheider, I., Löschner, A., & Pignitter, M. (2025). Pumpkin seed as a sustainable source of plant-based protein for novel food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-26.
- ICC (1976). *Standard No. 110/1: Determination of Moisture Content of Cereals and Cereal Products (Practical Method)*. International Association for Cereal Science and Technology, Vienna, Austria.
- ICC (1990). *Standard No. 104/1: Determination of Ash Content in Cereals and Cereal Products*. International Association for Cereal Science and Technology, Vienna, Austria.
- Kirnak, H. A. L. İ. L., Irik, H. A., Sipahioğlu, O., & Unlukara, A. (2019). Variations in oil, protein, fatty acids and vitamin E contents of pumpkin seeds under deficit irrigation. *Grasas y aceites*, 70(2), e301-e301.
- Lauková, M., Minarovičová, L., Karovičová, J., & Kohajdová, Z. (2019). Quality evaluation of sweet potato powder-enriched cereal products. *Food Science and Technology International*, 25(6), 523-532. ISSN 1082-0132.
- Lee, M., Kang, H., Chung, S. J., Nam, K., & Park, Y. K. (2022). Validation study of the estimated glycemic load model using commercially available fast foods. *Frontiers in Nutrition*, 9, 892403.
- Magala, M., Kohajdová, Z., Karovičová, J., Greifova, M., & Hojerova, J. (2015). Application of lactic acid bacteria for production of fermented beverages based on rice flour. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(5), 458-463. ISSN 1212-1800.
- Meganaharshini, M., Sudhakar, V., Bharathi, N. D., & Deepak, S. (2023). Review on recent trends in the application of protein concentrates and isolates—A food industry perspective. *Food and Humanity*, 1, 308-325.
- Mondor, M., & Hernández-Álvarez, A. J. (2022). Processing technologies to produce plant protein concentrates and isolates. In *Plant protein foods* (pp. 61-108). Cham: Springer International Publishing.
- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1924/2006 z 20. decembra 2006 o výživových a zdravotných tvrdeniach o potravinách.
- Omar, K. A., Salih, B. M., Abdulla, N. Y., Hussin, B. H., & Rassul, S. M. (2016). Evaluation of starch and sugar content of different rice samples and study their physical properties. *Indian Journal of Natural Sciences*, 6(36), 11084-11088. ISSN 0976-0997.
- Perraud, E., Wang, J., Salomé, M., Mariotti, F., & Kesse-Guyot, E. (2023). Dietary protein consumption profiles show contrasting impacts on environmental and health indicators. *Science of the Total Environment*, 856, 159052.
- Rizvi, N.B., Aleem, S., Khan, M.R., Ashraf, S., Busquets, R. (2022). Quantitative estimation of protein in sprouts of *Vigna radiata* (Mung beans), *Lens culinaris* (Lentils), and *Cicer arietinum* (Chickpeas) by Kjeldahl and Lowry methods. *Molecules*, 27(3), 814.
- Rytz, A., Adeline, D., Lê, K. A., Tan, D., Lamothe, L., Roger, O., & Macé, K. (2019). Predicting glycemic index and glycemic load from macronutrients to accelerate development of foods and beverages with lower glucose responses. *Nutrients*, 11(5), 1172. ISSN 2072-6643.
- Sá, A. G. A., Pacheco, M. T. B., Moreno, Y. M. F., & Carciofi, B. A. M. (2023). Processing effects on the protein quality and functional properties of cold-pressed pumpkin seed meal. *Food Research International*, 169, 112876.
- Stanković, M., Maksimović, S., Tadić, V., & Arsić, I. (2018). The oil content of wild fruits from different plant species obtained by conventional Soxhlet extraction technique. *Acta Facultatis Medicae Naissensis*, 35(3), 193-200. ISSN 0351-6083.
- Tas, O., Sumnu, S. G., & Oztop, M. H. (2024). Effect of Extraction Methods and Preheat Treatments on the Functional Properties of Pumpkin Seed Protein Concentrate. *ACS Food Science & Technology*, 5(1), 105-117.

Wee, M. S. M., Loud, D. E., Tan, V. W. K., Forde C. G. (2019). Physical and sensory characterisation of noodles with added native and denatured pea protein isolate. *Food Chemistry*, 294, 152-159.

Wójcik, M., Różyło, R., Schönlechner, R., & Berger, M. V. (2021). Physico-chemical properties of an innovative gluten-free, low-carbohydrate and high protein-bread enriched with pea protein powder. *Scientific Reports*, 11(1), 14498.

Zafar, M. I., Mills, K. E., Zheng, J., Regmi, A., Hu, S. Q., Gou, L., & Chen, L. L. (2019). Low-glycemic index diets as an intervention for diabetes: a systematic review and meta-analysis. *The American journal of clinical nutrition*, 110(4), 891-902.

Zhou, Z., Ye, F., Lei, L., Zhou, S., & Zhao, G. (2022). Fabricating low glycaemic index foods: Enlightened by the impacts of soluble dietary fibre on starch digestibility. *Trends in Food Science & Technology*, 122, 110-122.

Zhumaliyeva, G., Chomanov, U., Aktokalova, G., & Zhumaliyeva, G. (2023). Development of concentrate technology for puree. *Journal of Hygienic Engineering & Design*, 44, 173-177.

PodĎakovanie

Autori ďakujú STU za finančnú podporu v rámci Grantovej schémy na podporu excelentných tímov mladých výskumníkov č. 1631.

Kontaktná adresa: Ing. Tatiana Holkovičová, Ing. Zlatica Kohajdová, PhD., Ústav potravinárstva a výživy, Oddelenie potravinárskej technológie, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, e-mail: tatiana.holkovicova@stuba.sk, zlatica.kohajdova@stuba.sk

VPLYV SKLADOVANIA NA ANTIOXIDAČNÉ ZLOŽKY KÁVOVÝCH ZŔN

EFFECT OF STORAGE ON THE ANTIOXIDANT COMPONENTS OF COFFEE BEANS

Eva Hybenová, Katarína Rybárová, Anna Mikulajová

Abstract: This work is focused on the impact of different storage conditions on the content of antioxidant compounds in coffee beans. Coffee is a significant natural source of antioxidants that contribute to its beneficial health effects. The study monitored changes in antioxidant activity and the levels of selected antioxidant compounds in coffee beans stored under various intervals. The results indicate that improper storage conditions can significantly affect the qualitative parameters of coffee, particularly by reducing antioxidant content and altering their bioavailability.

Keywords: coffee, antioxidants, polyphenols, caffeine, storage

Úvod

Káva je jedným z najpopulárnejších nápojov na svete a zohráva významnú úlohu nielen v každodennej spotrebe, ale aj v ekonomike viacerých krajín. Okrem svojej charakteristickej chuti a povzbudzujúcich účinkov je káva známa aj ako významný zdroj biologicky aktívnych látok, medzi ktorými dominujú antioxidanty. Antioxidačné zložky, ako sú polyfenoly, kyselina chlorogénová a melanoidíny, prispievajú k zdraviu prospešným účinkom kávy tým, že pomáhajú neutralizovať voľné radikály a znižovať oxidačný stres v organizme.

Kvalita kávových zŕn, vrátane ich antioxidačnej kapacity, môže byť ovplyvnená viacerými faktormi počas celého výrobného reťazca – od pestovania, cez zber, spracovanie až po skladovanie. Práve skladovanie predstavuje kritickú fázu, počas ktorej môže dôjsť k chemickým a fyzikálnym zmenám ovplyvňujúcim stabilitu a množstvo antioxidačných zložiek. Nevhodné podmienky, ako sú zvýšená vlhkosť, vysoké teploty či prítomnosť svetla a kyslíka, môžu urýchliť degradačné procesy a znížiť kvalitu kávových zŕn.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Káva, jeden z najpopulárnejších nápojov na svete, obsahuje mnoho bioaktívnych zlúčenín s antioxidačnými účinkami a účinkami na vychytávanie radikálov. Najviac pestovanými druhmi rodu *Coffea* sú *Coffea arabica* L., kávovník arabský, tzv. Arabica a *Coffea canephora* Pierre, kávovník mohutný alebo laurenský, tzv. Robusta. Robusta, napriek horšej senzorickej kvalite, má výhodu v tom, že umožňuje extrakciu veľkého množstva rozpustných látok, čo umožňuje jej použitie v priemysle rozpustnej kávy (Gantner a kol., 2020; Hall a kol., 2022).

Kávové zrná sú bohatým zdrojom biologicky účinných látok ako sú kofeín, kyseliny chlorogénové, nikotínové, kafestol, kahweol, ktoré všetky majú významný potenciál ako antioxidanty. Kofeín a jeho katabolické produkty teobromín a xantín tiež vykazujú antioxidačné vlastnosti. Preto aj kofeín a jeho metabolity môžu prispievať k celkovým antioxidačným a chemopreventívnym vlastnostiam nápojov obsahujúcich kofeín. Antioxidačná kapacita varenej kávy je ovplyvnená bioaktívnym zložením zelených bobúľ (nazývané aj čerešne), ich pozberovým spracovaním a podmienkami (sušenie, skladovanie, praženie). Výsledkom praženia je tvorba produktov Maillardovej reakcie, ktorá je spôsobená vysokou teplotou a stratou vody (Bušič, Komes, 2014).

V zelených kávových bobuliach sú zastúpené kyseliny chlorogénové, ďalšie fenolové kyseliny a celkové polyfenoly, ktoré spolu s ďalšími prvkami ako sú kovy, cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny, furfuraly, purínové alkaloidy a kofeín umožňujú botanickú diferenciáciu zelených káv (Blair a kol., 2021).

Kávový nápoj je okrem kofeínu bohatým zdrojom polyfenolov, ako sú fenolové kyseliny patriace do skupiny hydroxyškoricových kyselín, väčšinou chlorogénové (v zelených bobuliach) a kávové (vyskytujúce sa po pražení). Ďalšie fenolové kyseliny v kávových zrnách sú ferulová a p-kumarová. Tieto zlúčeniny prispievajú k celkovému príjmu polyfenolov v strave a sú prospešné pre zdravie spotrebiteľov (Bukowska, Liczbinski, 2022; Donangelo, Farah, 2006; Esquivel, Jiménez, 2012; Gantner a kol., 2020). Obsah hlavných antioxidantov prirodzene sa vyskytujúcich v zelených bobuliach kávy Arabica a Robusta a tvoriacich sa počas praženia sú uvedené v Tab. 1.

Kávový nápoj má množstvo zdraviu prospešných účinkov. Konzumácia kávy môže znížiť výskyt rakoviny hrubého čreva a rakovinu ústnej dutiny, cukrovku, ochorenie pečene, inhibuje oxidáciu LDL cholesterolu, chráni pred Parkinsonovou a Alzheimerovou chorobou a dokonca znižuje riziko úmrtnosti. Profíl a obsah bioaktívnych zlúčenín závisí najmä od praženia, ktoré sa pohybuje v rozmedzí teplôt od 160 do 260 °C a v intervale od 8 do 24 minút. Organická alebo konvenčná výroba a podmienky praženia (svetlé, stredné, tmavé praženie) najviac ovplyvňujú obsah polyfenolových zlúčenín kávy, menia jej chemické zloženie. Farba zrna je hlavným parametrom na opis stupňa praženia. Počas procesu praženia je pozorovaný pokles polyfenolových zlúčenín a je spojený s degradáciou kyseliny chlorogénovej, jablčnej a citrónovej, čo ovplyvňuje celkovú antioxidačnú aktivitu. Avšak tvorba melanoidínov počas tepelného procesu môže zachovať alebo dokonca zvýšiť antioxidačnú kapacitu. Na druhej strane bolo dokázané, že tmavé praženie kávy spôsobilo viac ako dvojnásobné zníženie množstva týchto zlúčenín, čo dokázalo, že obsah fenolových zlúčenín klesal so zvyšujúcim sa stupňom praženia (Bukowska, Liczbinski, 2022; Donangelo, Farah, 2006; Gantner a kol., 2020).

Fenolové zlúčeniny podliehajú rôznym degradačným procesom aj počas skladovania; môže dochádzať k oxidácii fenolových zlúčenín v dôsledku prítomnosti kyslíka, svetla a vyšších teplôt (Berte a kol., 2000).

Tab. 1. Obsah hlavných antioxidantov (%) prirodzene sa vyskytujúcich v zelených bobuliach kávy Arabica a Robusta a tvoriacich sa počas praženia (%) (Bušič, Komes, 2014)

Antioxidanty	<i>C. arabica</i>	<i>C. canephora</i>
Chlorogénové kyseliny	4-8,4	7-14,4
Kofeín	0,76-1,82	1,51-3,33
Kafestol	0,27-1,1	0,15-0,37
Kahweol	0,11-0,67	<0,1
Dodatočne vznikajú počas praženia		
Laktóny kyseliny chlorogénovej	0,4	0,42
Melanoidíny	25	25

Materiál a metódy

Použitý materiál

V práci boli použité 2 vzorky čerstvo pražených kávových zŕn (stupeň praženia espresso) z pražiarnie FRIŠNÁ KÁVA, Detva:

- 100 % Arabica – Brazília, odroda Diamond, nadmorská výška 1110 m.n.m.
- 100 % Arabica – Mexiko, zmes odrôd Typica a Bourbon, nadmorská výška 1350 m.n.m.

Podľa údajov od výrobcu sa kávové zrná pražili pri teplote 210-218 °C, max. 15 minút. Všetky kávy pochádzali z jednej šarže.

Kávové zrná zomleté na kávovom mlynčeku (stupeň medium) boli skladované 3 mesiace v uzatvorených sklenených prachovniciach pri rôznych svetelných/teplotných podmienkach: pri teplote miestnosti (22 ± 3 °C) na svetle (priezračné sklo) a v tme (hnede sklo) a v chladničke (teplota 5 ± 3 °C). V plánovaných časových intervaloch boli vzorky odoberané na analýzu. Sledované parametre boli analyzované v etanolových extraktoch káv.

Príprava etanolových extraktov

10 g mletej kávy sa extrahovalo v 25 ml 96 % etanolu 24 hodín na orbitálnej trepačke (130 rpm). Potom sa roztok prefiltraval, preliat do odmernej banky a doplnil 96 % etanolom na objem 25 ml. Takto pripravené extrakty boli pred analýzami skladované chladničke.

Stanovenie obsahu celkových fenolov

Obsah celkových fenolov bol stanovený pomocou spektrofotometrickej metódy využívajúcej Folin-Ciocalteuovo činidlo ako referenčný reaktant postupom podľa Blainski a kol. (2013).

Kvantitatívne vyhodnotenie analýz bolo na základe kalibračnej čiary vytvorenej pomocou štandardu kyseliny galovej; výsledky sú prezentované ako ekvivalenty kyseliny galovej (GAE) v mg na 100 g sušiny. Parametre kalibračnej čiary sú uvedené v Tab. 2.

HPLC stanovenie fenolových kyselín a kofeínu

Stanovenie kofeínu a fenolových kyselín (chlorogénová, ferulová, kávová) bolo uskutočnené na prístroji Agilent 1200 Series HPLC system, ktorý bol vybavený detektorom diódového poľa (DAD) a kolónou Zorbax Eclipse XDB-C18 (4,6 x 150 mm, 5 μ m, Agilent Technologies, Santa Clara, Kalifornia, USA). Gradientová elúcia bola uskutočnená systémom rozpúšťadiel zložených z A) zmes voda/kyselina octová s hodnotou pH = 2,8 a B) acetonitril pri konštantnom prietoku 1 ml/min. podľa postupu autorov Mikulajová a kol. (2016). Fenolové kyseliny a kofeín boli identifikované na základe štandardov a ich kalibračných čiar. Parametre kalibračných čiar sú uvedené v Tab. 2.

Stanovenie antioxidačnej aktivity – DPPH metóda

Metóda je založená na využití stabilného voľného radikálu DPPH (1,1-difeny-2-(2,4,6-trinitrofenyl)-hydrazyl), ktorý sa podieľa na prenose elektrónov. Po pridaní DPPH do roztoku sa vytvára charakteristické fialové sfarbenie. V prítomnosti antioxidačných molekúl dochádza k redukcii DPPH na difenylpikrylhydrazín, čo vedie k postupnému odfarbovaniu roztoku. DPPH test bol uskutočnený podľa postupu autorov Garcia a kol. (2012). Výsledná antioxidačná aktivita vzoriek kávy je vyjadrená ako ekvivalent Troloxu (TE) na základe kalibračnej čiary Troloxu (Tab. 2).

Tab. 2. Rovnice kalibračných čiar

Vlnová dĺžka	Zlúčenina	Rovnica	R ²
765 nm	Celkové fenoly	$y = 0,0013x - 0,0147$	0,9969
272 nm	Kofeín	$y = 24633x + 284,13$	0,9996
320 nm	Kyselina ferulová	$y = 56024x + 27,566$	0,9999
	Kyselina chlorogénová	$y = 27454x - 238,42$	0,9996
	Kyselina kávová	$y = 55038x + 1,7319$	1,000
517 nm	Trolox – DPPH metóda	$y = 1,8574x + 0,0069$	0,9997

Matematicko-štatistické metódy

Prezentované výsledky predstavujú priemernú hodnotu z minimálne dvoch paralelných meraní. Na vyhodnotenie nameraných hodnôt bol použitý aritmetický priemer, smerodajná odchýlka a Studentov test s využitím počítačového programu Microsoft Excel. Studentov test bol použitý na štatistické hodnotenie významnosti rozdielov priemerov $\bar{x}$ výsledkov analýz dvoch rôznych vzoriek analyzovaných rovnakou metódou použitím smerodajnej odchýlky.

Výsledky a diskusia

Hodnotenie celkového obsahu fenolov

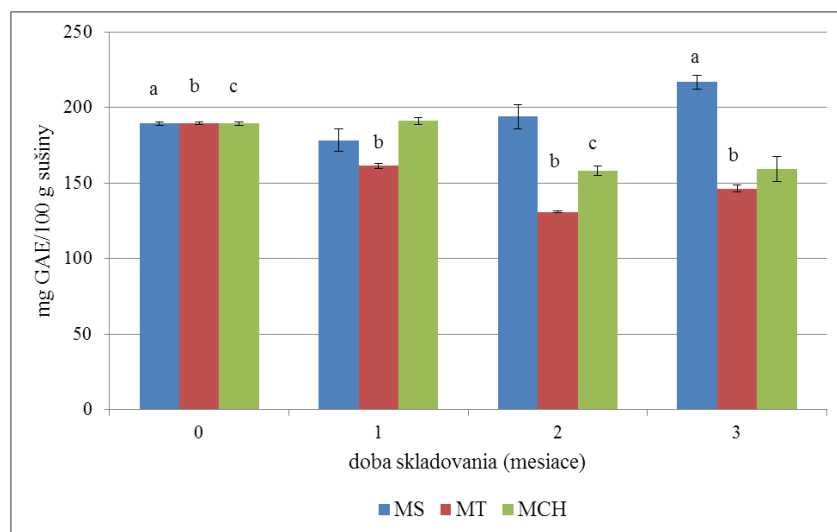
Fenolové zlúčeniny v káve, predovšetkým kyselina chlorogénová, patria medzi najvýznamnejšie bioaktívne látky, ktoré prispievajú k antioxidačnej aktivite a zdravotným benefitom kávy. Ich množstvo a stabilita však podliehajú rôznym degradačným procesom, ktoré môžu byť výrazne ovplyvnené podmienkami skladovania (Berte a kol., 2000).

Počas skladovania môže dochádzať k oxidácii fenolových zlúčenín v dôsledku prítomnosti kyslíka, svetla a vyšších teplôt. Tieto faktory vedú k zníženiu koncentrácie kyseliny chlorogénovej a vzniku jej degradačných produktov. Výrazná strata bola pozorovaná najmä pri skladovaní mletej kávy pri izbovej teplote a za prístupu vzduchu (Berte a kol., 2000; Trugo, Macrae, 1984). Štúdia Vignoli a kol. (2011) preukázala, že po 6 mesiacoch skladovania pri teplote 25 °C klesol obsah kyseliny chlorogénovej o viac ako 40 %. Mletá káva vykazovala rýchlejší pokles fenolových zlúčenín v porovnaní s celými kávovými zrnami, čo sa pripisuje väčšiemu kontaktu s kyslíkom.

Namerané hodnoty celkových fenolov vo vzorkách mletej kávy sú uvedené na Obr. 1 a 2.

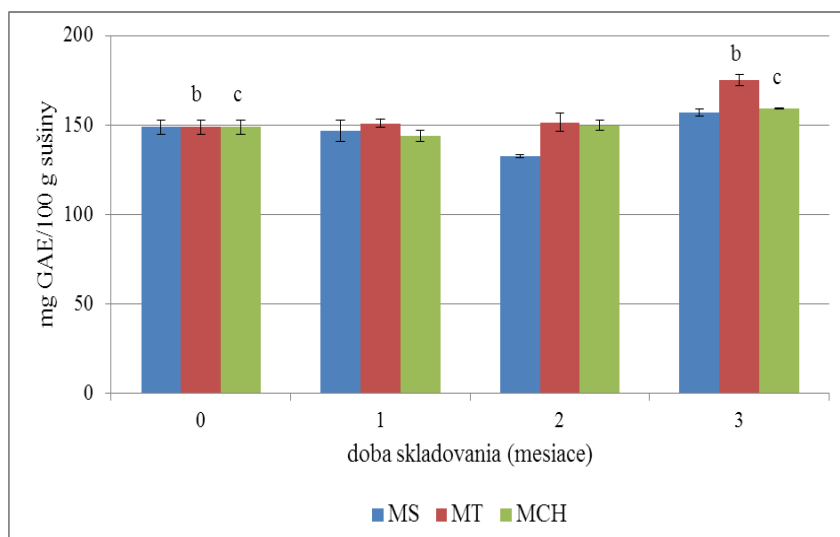
Z výsledkov je zrejmé, že obsah celkových fenolov po 1. mesiaci najskôr mierne poklesol vo všetkých vzorkách bez ohľadu na spôsob skladovania a potom sa zvýšil vo vzorke kávy Mexiko skladovanej na svetle (2. a 3. mesiac skladovania, Obr. 1) a vo všetkých vzorkách Brazília na konci sledovania (3. mesiac) bez ohľadu na spôsob skladovania (Obr. 2). Tento nárast obsahu polyfenolov, napriek očakávanému poklesu vplyvom oxidácie, je pravdepodobne spôsobený uvoľňovaním polyfenolov z matrice počas skladovania, napr. v dôsledku degradácie väzieb a rozkladu väčších molekúl.

Studentov test na hladine pravdepodobnosti $p = 0,05$ na posúdenie štatistickej významnosti rozdielov medzi hodnotami bol kvôli prehľadnosti a množstvu výsledkov je uvádzaný iba v rámci rovnakého typu skladovania. Rozdiely boli posudzované s hodnotami zo začiatku skladovania (0 mesiac). Takýmto spôsobom boli štatisticky vyhodnotené výsledky aj pri ostatných sledovaných parametroch (kofeín, fenolové kyseliny, antioxidačná kapacita).



Obr. 1. Porovnanie zmien v obsahu celkových fenolov v kávových extraktoch mletej kávy Mexiko počas 3 mesiacov skladovania pri rôznych podmienkach

Vysvetlivky: MS – mletá káva svetlo; MT – mletá káva tma; MCH – mletá káva chladnička
a,b,c – rozdiely medzi hodnotami s rovnakým indexom sú štatisticky významné ($p < 0,05$)



Obr. 2. Porovnanie zmien v obsahu celkových fenolov v extraktoch mletej kávy Brazília počas 3 mesiacov skladovania pri rôznych podmienkach

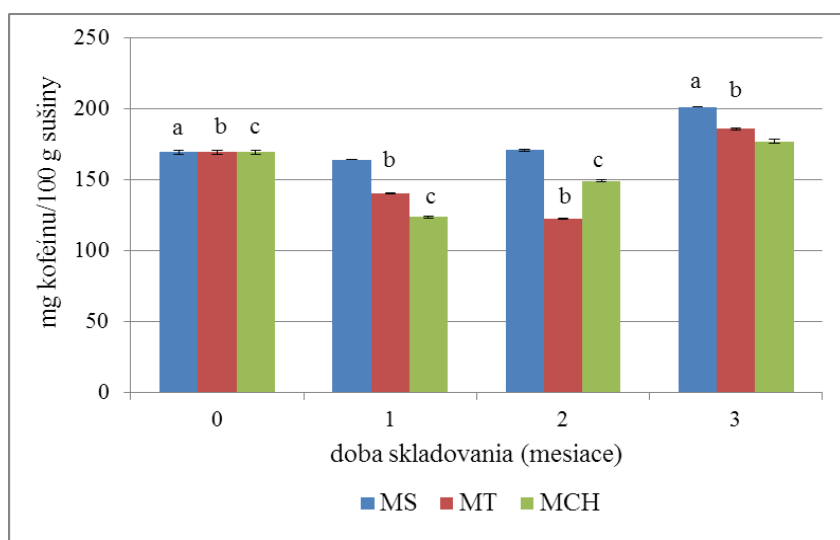
Vysvetlivky: MS – mletá káva svetlo; MT – mletá káva tma; MCH – mletá káva chladnička
a,b,c – rozdiely medzi hodnotami s rovnakým indexom sú štatisticky významné ($p < 0,05$)

Hodnotenie obsahu kofeínu

Takmer u všetkých vzoriek bol počas skladovania zaznamenaný nárast obsahu kofeínu (Obr. 3 a 4), čo je zdanlivo paradoxné, keďže kofeín ako alkaloid by mal byť pomerne stabilný. Tento nárast však môže byť spôsobený uvoľňovaním kofeínu z viazaných foriem počas rozkladu iných komponentov, stratou vody alebo iných prchavých zložiek, čo vedie k zvýšeniu koncentrácie kofeínu v kávovej sušine.

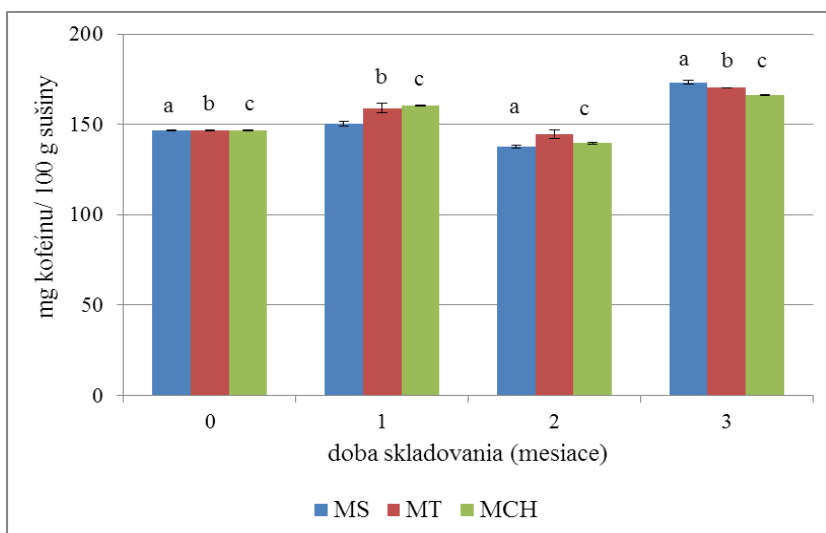
Skladovanie kávy na svetle viedlo k výraznejšiemu nárastu obsahu kofeínu najmä na konci skladovania; u mletej kávy Arabica Mexiko bol nárast z počiatočných 169,105 mg/100 g sušiny (0. deň) na 201,147 mg/100 g sušiny (po 3. mesiacoch skladovania) (Obr. 3).

Zvyšovanie obsahu kofeínu počas skladovania kávy koreluje so štúdiami Strocchi a kol. (2023) a Król a kol. (2020), aj keď v týchto výskumoch boli použité iné podmienky skladovania (čas, vlhkosť, teplota).



Obr. 3. Porovnanie zmien v obsahu kofeínu v extraktoch mletej kávy Mexiko počas 3 mesiacov skladovania pri rôznych podmienkach

Vysvetlivky: MS – mletá káva svetlo; MT – mletá káva tma; MCH – mletá káva chladnička
a,b,c – rozdiely medzi hodnotami s rovnakým indexom sú štatisticky významné ($p < 0,05$)



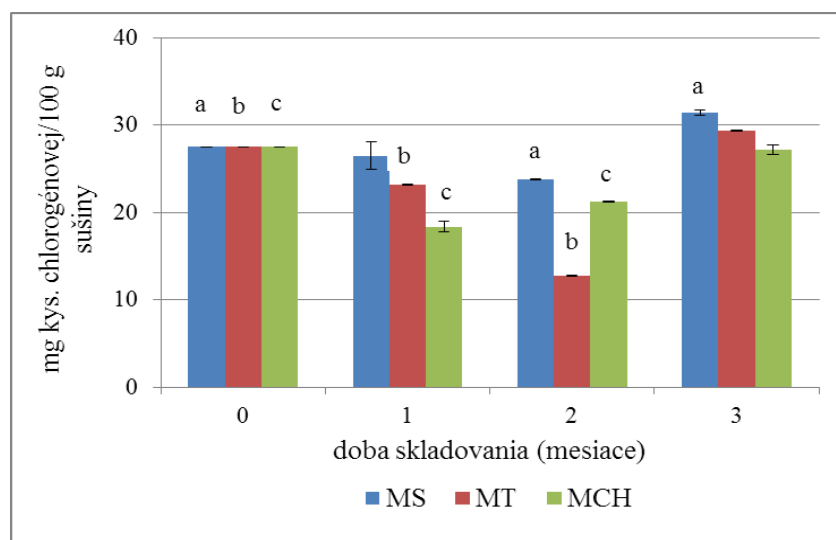
Obr. 4. Porovnanie zmien v obsahu kofeínu v extraktoch mletej kávy Brazília počas 3 mesiacov skladovania pri rôznych podmienkach

Vysvetlivky: MS – mletá káva svetlo; MT – mletá káva tma; MCH – mletá káva chladnička
a,b,c – rozdiely medzi hodnotami s rovnakým indexom sú štatisticky významné ($p < 0,05$)

Hodnotenie obsahu fenolových kyselín

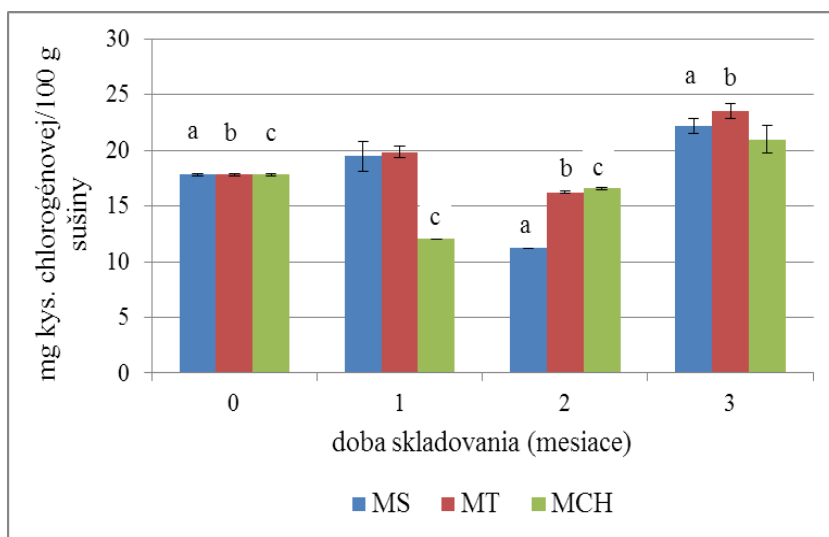
Medzi hlavné antioxidačné látky kávy patria najmä kyseliny chlorogénové, melanoidíny - produkty Maillardovej reakcie a významný antioxidačný potenciál má aj kofeín (Bušič, Komes, 2014). Počas skladovania dochádza k oxidácii chlorogénových kyselín, čo vedie k ich degradácii a tvorbe rôznych derivátov, ako sú kyselina kávová, salicylová a galová. Tieto zmeny ovplyvňujú chuťový profil kávy a jej antioxidačnú kapacitu. Štúdie ukazujú, že počas 12-mesačného skladovania môže dôjsť k výraznému poklesu fenolových kyselín, pričom strata môže dosiahnuť až 90 % (Gantner a kol., 2020).

Zmeny v obsahu fenolových kyselín – kyseliny chlorogénovej a ferulovej – počas skladovania mletej kávy sú zobrazené na Obr. 5-8. Kyselina kávová vo vzorkách nebola detegovaná.



Obr. 5. Porovnanie zmien v obsahu kyseliny chlorogénovej v extraktoch mletej kávy Mexiko počas 3 mesiacov skladovania pri rôznych podmienkach

Vysvetlivky: MS – mletá káva svetlo; MT – mletá káva tma; MCH – mletá káva chladnička
a,b,c – rozdiely medzi hodnotami s rovnakým indexom sú štatisticky významné ($p < 0,05$)



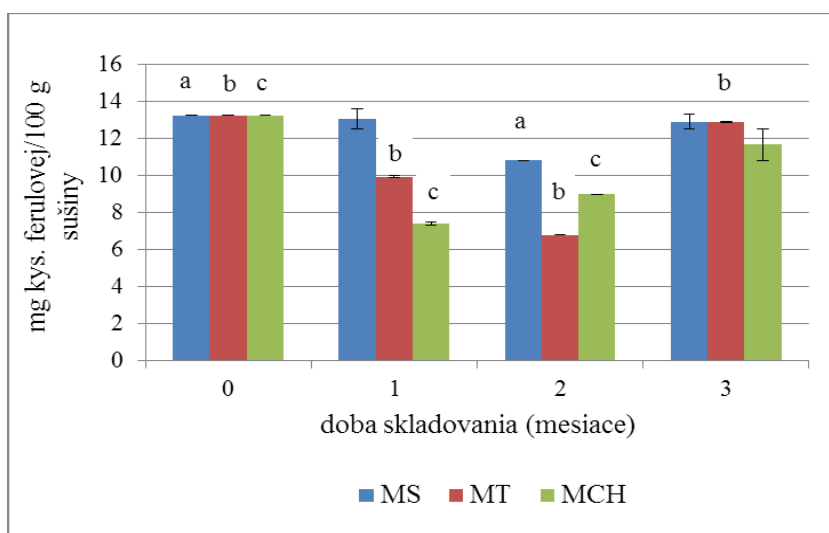
Obr. 6. Porovnanie zmien v obsahu kyseliny chlorogénovej v extraktoch mletej kávy Brazília počas 3 mesiacov skladovania pri rôznych podmienkach

Vysvetlivky: MS – mletá káva svetlo; MT – mletá káva tma; MCH – mletá káva chladnička

a,b,c – rozdiely medzi hodnotami s rovnakým indexom sú štatisticky významné ($p < 0,05$)

Chlorogénové kyseliny sú najrozšírenejšou a hlavnou skupinou fenolových zlúčenín nachádzajúcich sa v zelených kávových bobuliach. Názvom chlorogénové kyseliny (CGA) sa označujú všetky prírodné estery kyseliny chinovej. Medzi hlavné skupiny CGA nachádzajúce sa v zelených kávových bobuliach patria kyseliny kafeoylchinové, dikafeoylchinové, feruloylchinové, p-kumaroylchinové a zmiešané diestery kyseliny kávovej a ferulovej s kyselinou chinovou, pričom každá skupina obsahuje najmenej tri izoméry. Tieto estery sa viažu karboxylom na hydroxylové skupiny organických kyselín alebo sacharidov (Bukowska, Liczbinski, 2022; Donangelo, Farah, 2006).

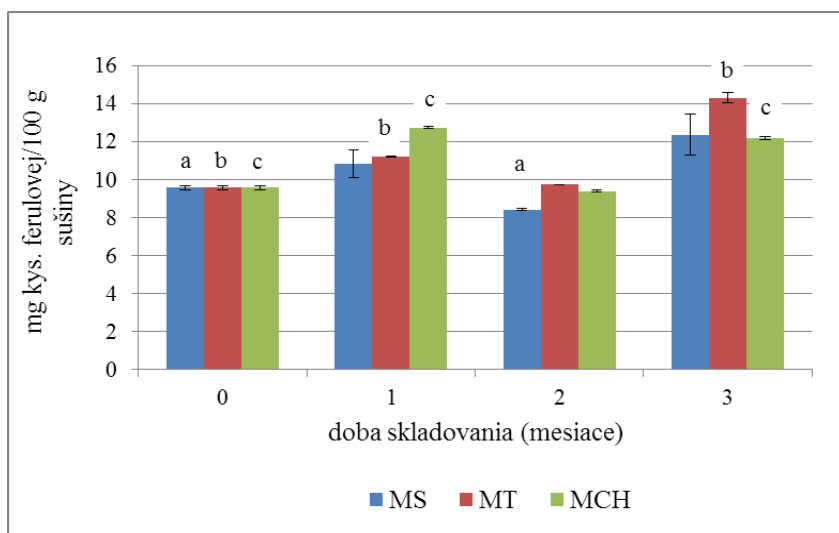
Počas spracovania kávy môže byť CGA izomerizovaná, hydrolyzovaná alebo degradovaná na zlúčeniny s nízkou molekulovou hmotnosťou (Donangelo, Farah, 2006; Gantner a kol., 2020).



Obr. 7. Porovnanie zmien v obsahu kyseliny ferulovej v extraktoch mletej kávy Mexiko počas 3 mesiacov skladovania pri rôznych podmienkach

Vysvetlivky: MS – mletá káva svetlo; MT – mletá káva tma; MCH – mletá káva chladnička

a,b,c – rozdiely medzi hodnotami s rovnakým indexom sú štatisticky významné ($p < 0,05$)



Obr. 8. Porovnanie zmien v obsahu kyseliny ferulovej v extraktoch mletej kávy Brazília počas 3 mesiacov skladovania pri rôznych podmienkach

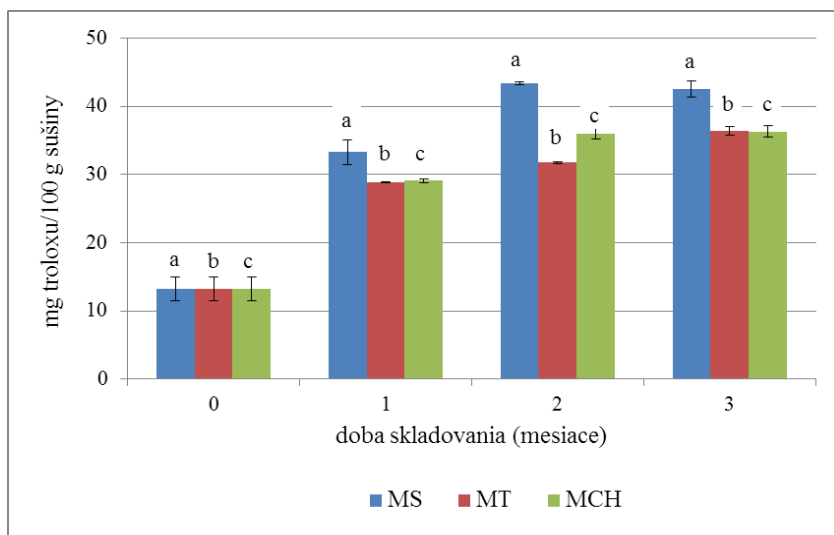
Vysvetlivky: MS – mletá káva svetlo; MT – mletá káva tma; MCH – mletá káva chladnička

a,b,c – rozdiely medzi hodnotami s rovnakým indexom sú štatisticky významné ($p < 0,05$)

Podobne, ako pri zmenách v obsahu celkových fenolov a kofeínu, tak aj v prípade kyseliny chlorogénovej a ferulovej, bol počas 3-mesačného skladovania mletej kávy zaznamenaný nárast v obsahu týchto fenolových kyselín. Tento nárast možno vysvetliť uvoľňovaním kyselín z matrice počas skladovania, napr. v dôsledku degradácie väzieb a rozkladu väčších molekúl.

Hodnotenie antioxidačnej kapacity

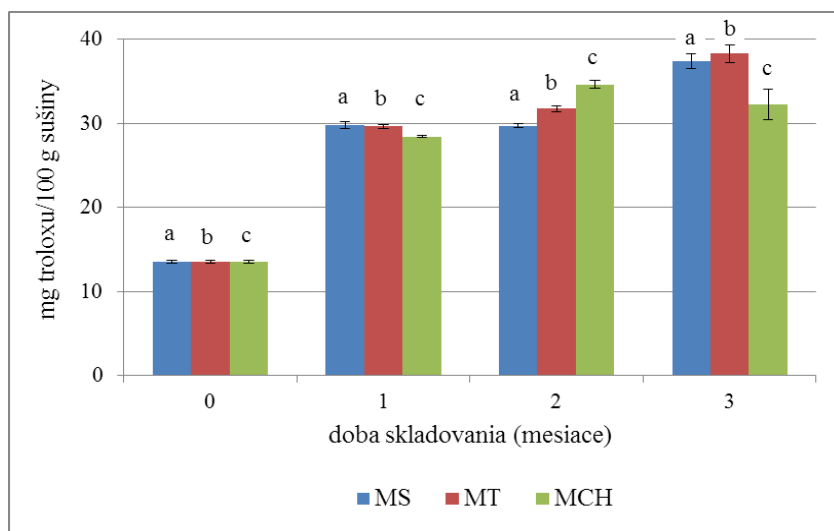
Antioxidačná kapacita vzoriek mletej kávy bola hodnotená DPPH metódou. Výsledky meraní sú uvedené na Obr. 9-10 a sú vyjadrené v mg troloxu ekvivalentu na 100 g sušiny.



Obr. 9. Porovnanie zmien antioxidačnej aktivity (DPPH metóda) v extraktoch mletej kávy Mexiko počas 3 mesiacov skladovania pri rôznych podmienkach

Vysvetlivky: MS – mletá káva svetlo; MT – mletá káva tma; MCH – mletá káva chladnička

a,b,c – rozdiely medzi hodnotami s rovnakým indexom sú štatisticky významné ($p < 0,05$)



Obr. 10. Porovnanie zmien antioxidačnej aktivity (DPPH metóda) v extraktoch mletej kávy Brazília počas 3 mesiacov skladovania pri rôznych podmienkach

Vysvetlivky: MS – mletá káva svetlo; MT – mletá káva tma; MCH – mletá káva chladnička

a,b,c – rozdiely medzi hodnotami s rovnakým indexom sú štatisticky významné ($p < 0,05$)

Počas 3-mesačného skladovania došlo k zvýšeniu antioxidačnej kapacity vo všetkých vzorkách kávy, čo súvisí hydrolyzou väzieb polymérnych zlúčenín a esterových väzieb a uvoľňovaním antioxidantov.

U kávy z Mexika došlo k najväčšiemu nárastu vo vzorke skladovanej na svetle, u kávy z Brazílie bol najvyšší nárast zaznamenaný vo vzorke skladovanej v tme.

Korelačná analýza

Vykonalí sme aj korelačnú analýzu použitím Microsoft Excel, pomocou ktorého sme získali korelačné koeficienty. Na základe korelačného koeficientu bol určený stupeň korelácie (Asuero et al., 2006):

$r > 0,9$ veľmi vysoká korelácia

$0,7 < r < 0,9$ vysoká korelácia

$0,5 < r < 0,7$ výrazná korelácia

$0,3 < r < 0,5$ mierna korelácia

$r < 0,3$ nízka korelácia

Korelačná analýza preukázala nízku (vzorka MCH) až miernu koreláciu (vzorky MS a MT) medzi obsahom kyseliny chlorogénovej a obsahom celkových fenolov v mletej káve Mexiko a vysokú (vzorky MT a MCH) až veľmi vysokú koreláciu ($r = 0,945$ vzorka MS) v mletej káve Brazília.

Záver

Prezentovaný výskum bol zameraný na hodnotenie zmien vybraných antioxidačne pôsobiacich zložiek a antioxidačnej kapacity počas 3-mesačného skladovania mletej kávy Arabica pochádzajúcej z dvoch rôznych štátov – Mexiko a Brazília – pri rôznych podmienkach skladovania, a to pri teplote miestnosti na svetle, v tme a v chladničke.

Dosiahnuté výsledky sú v zhode so štúdiou Strocchi et al. (2023), v ktorej tiež počas 3-mesačného skladovania kávy, avšak za iných podmienok, zaznamenali nárast obsahu chlorogénových kyselín aj kofeínu. V inej štúdii, Król et al. (2020), bol zaznamenaný pokles množstva celkových polyfenolov, kyseliny chlorogénovej a kofeínu. Tento výskum však

skúmal uvedené parametre v čerstvo upražených kávových zrnách a potom až po 12. mesiacoch skladovania.

Záverom možno konštatovať, že krátkodobé (3 mesiace) skladovanie mletej kávy, či už vo vzduchotesnej priehľadnej sklenej dóze uloženej napr. na kuchynskej linke alebo v originálnom balení, dnes široko používanom papierovom vrecku so ZIP uzáverom (opätovne uzatvárateľné obaly, teda skladovanie v tme), nemá negatívny vplyv na obsah ani kofeínu, ani iných antioxidantne pôsobiacich zložiek. Takýto spôsob krátkodobého skladovania kávy sa naopak ukázal lepšou voľbou v porovnaní so skladovaním kávy v chladničke. Použitie vzduchotesných obalov ochráni aj vôňu kávy.

Literatúra

- ASUERO A.G. – SAYAGO A. – GONZÁLEZ A.G. The correlation coefficient: An overview. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 2006, 36(1), p. 41-59.
- BERTE F. – DAGLIA M. – GAZZANI G. – GREGOTTI C. – PAPETTI A. *In vitro* antioxidant and *ex vivo* protective activities of green and roasted coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(5), p. 1449-1454.
- BLAINSKI A. – LOPES G.C. – PALLAZU DE MELLO J. C. Application and Analysis of the Folin Ciocalteu method for the Determination of the Total Phenolic Content from Limonium Brasiliense L. *Molecules*, 2013, 18, p. 6852-6865.
- BLAIR M.W. – CAMPUZANO-DUQUE L.F. – GED C. – HERRERA J.C. Bases for the Establishment of Robusta Coffee (*Coffea canephora*) as a New Crop for Colombia. *Agronomy*, 2021, 11/12.
- BUKOWSKA B. – LICZBINSKI P. Tea and coffee polyphenols and their biological properties based on the latest *in vitro* investigations. *Industrial crops and products*, 2022, 175.
- BUŠIČ A. – KOMES D. Antioxidants in Coffee. *Processing band. Impact on Antioxidants in Beverages*, 2014, p. 309-319.
- GANTNER M. – HALLMANN E. – KRÓL K. – TATARAK A. – The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. *European food research and technology*, 2020, 246, p. 33-39.
- DONANGELO C. M. – FARAH A. – Phenolic compounds in coffee. *Brazilian journal of plant physiology*, 2006, 18.
- ESQUIVEL P. – JIMÉNEZ V. M. – Functional properties of coffee and coffee by-product. *Food research international*, 2012, vol. 46(2), p. 488-495.
- GARCIA E.J. – DE ALENCAR S.M. – D. LOGUERIO A. – GRAND R.M.N. - OLDONI T.L.C. – REIS A. Antioxidant Activity by DPPH Assay of Potential Solutions to be Applied on Bleached Teeth. *Journal of Brazil Dental*, 2012, 23(1), p. 22-27.
- HALL, R. D. – TREVISAN, F. - C.H. DE VOS R. Coffee berry and green bean chemistry – Opportunities for improving cup quality and crop circularity. *Food Research International*, 2022, 151, 110825.
- KRÓL K. – GANTNER M. – HALLMANOVÁ E. – TATARAK A. The content of polyphenols in coffee beans as roasting origin and storage effect. *European Food Research and Technology*, 2020, 246, p. 33-39.
- MIKULAJOVÁ, A. - ŠEDIVÁ, D. - HYBENOVÁ, E. - MOŠOVSKÁ, S. Buckwheat cultivars — phenolic compounds profiles and antioxidant properties. *Acta Chimica Slovaca*, 2016, 9(2), p. 124–129.
- STROCCHI G. – BAGNULO E. – RAVAIOLI G. – PELLEGRINO G. – BICCHI C. – LIBERTO E. Evaluation of the behavior of phenols and alkaloids in samples of roasted and groud coffee stored in different types of packaging: Implications for quality and shelf life. *Food Research International*, 2023, 174, 113548.
- TRUGO L.C. – MACRAE R. Chlorogenic acid composition of instant coffees. *Analyst*, 1984, 109, p. 263-266.
- VIGNOLI J.A. – BASSOLI D.G. - BENASSI M.T. Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. *Food Chemistry*, 2011, 124(3), p. 863-868.

Kontaktné adresy autorov:

Ing. Eva Hybenová, PhD., Bc. Katarína Rybárová, Ing. Anna Mikulajová, PhD., Ústav potravinárstva a výživy, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie STU, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, e.mail: eva.hybenova@stuba.sk; xkrekanova@stuba.sk; anna.mikulajova@stuba.sk

VARIABILITA VYBRANÝCH SACHARIDOV V KULTIVOVANÝCH JEDLÝCH HUBÁCH

VARIABILITY OF SELECTED CARBOHYDRATES IN CULTIVATED EDIBLE MUSHROOMS

Silvia Jakabová, Simona Gondová, Július Árvay, Silvia Fedorková, Michal Hudec, Jozef Golian

Abstract: Cultivated edible mushrooms represent an important dietary source of bioactive compounds with significant health benefits. This study analysed five species (*Pleurotus ostreatus*, *P. djamor*, *P. citrinopileatus*, *Cyclocybe cylindracea* and *Lentinula edodes*), focusing on the content of selected carbohydrates (trehalose, arabinose, mannitol) and interspecies variability. High-performance liquid chromatography was used for quantitative determination of selected carbohydrates. Results showed significant variation in carbohydrate concentrations among species, with *Pleurotus ostreatus* exhibiting the highest trehalose levels and *L. edodes* being richest in mannitol and arabinose. Non-parametric Kruskal-Wallis and Dunn's post hoc tests revealed statistically significant differences between species pairs. These findings highlight species-specific carbohydrate accumulation patterns, suggesting potential for targeted nutritional applications. The study supports the role of mushrooms as valuable functional foods with implications for health promotion and disease prevention.

Keywords: cultivated edible mushrooms, HPLC analysis, carbohydrate profiling

Úvod

Kultivované huby predstavujú významný zdroj biologicky aktívnych látok a stabilný poľnohospodársky produkt s vysokým prínosom pre výživu a zdravie človeka (Anupama et al., 2022). Obsahujú β -glukány, polysacharidy a fenolické zlúčeniny, ktoré preukázateľne vykazujú imunomodulačné, antioxidačné a protizápalové účinky (Valverde et al., 2015). Pravidelná konzumácia húb tak môže pomôcť posilniť imunitný systém, znižovať hladinu cholesterolu a predchádzať civilizačným ochoreniam, ako sú choroby srdca a metabolický syndróm (Valverde et al., 2015; Anupama et al., 2022). Z uvedených dôvodov majú huby vysoký význam nielen ako výživová zložka, ale aj ako perspektívne prírodné liečivá, pričom nachádzajú uplatnenie v potravinárskom priemysle, zdravotníctve a v oblasti funkčných potravín (Valverde et al., 2015).

Huby rodu *Pleurotus*, najmä druhy hľiva ustricovitá (*Pleurotus ostreatus*), hľiva ružová (*Pleurotus djamor*) a hľiva citrónová (*Pleurotus citrinopileatus*), predstavujú významný potenciál v oblasti civilizačných ochorení (Anupama et al., 2022). Tieto huby obsahujú vysoké množstvo bielkovín, vlákniny, aminokyselín, vitamínov (C, D a skupiny B), minerálov ako zinok či železo, chitín a ďalšie bioaktívne látky, vrátane fenolov a beta-glukánov. Z hľadiska zdravotných účinkov sú huby rodu *Pleurotus* bohaté na antioxidanty, ktoré pomáhajú znižovať oxidačný stres a zápalové procesy v organizme. Beta-glukány stimulujú imunitný systém a majú potenciál v prevencii nádorových ochorení. Tieto huby tiež prispievajú k regulácii hladiny glukózy v krvi, čím môžu podporovať liečbu diabetes mellitus 2. typu. Okrem toho pomáhajú znižovať hladinu cholesterolu, čím prispievajú k prevencii kardiovaskulárnych ochorení (Anupama et al., 2022).

Polnička topoľová (*Cyclocybe cylindracea*) je v Číne obľúbená pre svoju jemnú klobúkovú časť, chrumkavý hlúbik, jedinečnú chuť a vysokú nutričnú hodnotu (Chen et al., 2023; Qing, 2019). Táto huba obsahuje vysoký podiel bielkovín (až 29,57 % v sušine) a bohatý profil

aminokyselín vrátane siedmich esenciálnych aminokyselín. Polysacharidy z tejto huby majú imunitu stimulujúce vlastnosti a preukázateľný protizápalový účinok, čo môže podporovať liečbu chronických ochorení vrátane diabetes 2. typu (Sun et al., 2022). Okrem toho prispieva k regulácii hladiny glukózy v krvi, čím pomáha predchádzať komplikáciám spojeným s cukrovkou (Sun et al., 2022).

Húževnatec jedlý (*Lentinula edodes*), známy ako shiitake, patrí medzi najpestovanejšie a najkonzumovanejšie huby na svete (Ahmad et al., 2023). Je nutrične bohatá a obsahuje množstvo minerálov (draslík, mangán, horčík, železo a fosfor) a vitamínov (provitamín D₂, vitamíny B₁, B₂, B₆, B₁₂ a niacín), čo ju robí potenciálnym zdrojom vo výžive (Ahmad et al., 2023; Yanagimoto et al., 2022). Napomáha obrane organizmu proti mnohým ochoreniam a problémom, ako sú infekcie spôsobené baktériami a vírusmi, rôzne druhy nádorov, obezita, cukrovka, zápalové procesy a oxidačný stres (Ahmad et al., 2023). Okrem toho má pozitívne účinky na znižovanie hladiny cholesterolu, podporuje zdravie pečene a zlepšuje imunitnú odpoveď organizmu (Ahmad et al., 2023). Obsahuje významné polysacharidy ako β -glukány a chitín, ktoré posilňujú imunitu, znižujú cholesterol a majú antioxidačné či protirakovinové účinky (Spim et al., 2021). Okrem toho poskytuje energiu vo forme jednoduchých cukrov (napr. manitol, trehalóza, arabinóza), ktoré tvoria až 60 % sušiny (Spim et al., 2021).

Manitol je prirodzený šesťuhlíkový cukorný alkohol, ktorý sa nachádza v jedlých hubách, ako je *Lentinula edodes*. Má nízky glykemický index, preto je vhodný pre diabetikov. Využíva sa ako prírodné sladidlo s nižšou kalorickou hodnotou než sacharóza. V hubách slúži ako rezervný sacharid, ktorý pomáha rastline zvládať stres. Mannitol tiež prispieva k jemne sladkej chuti niektorých húb. V potravinárstve a farmaceutickom priemysle sa cení pre svoju stabilitu a neškodnosť. Okrem toho má potenciálne prebiotické účinky. Využíva sa pri výrobe nízko kalorických potravín a liečiv (Chen et al., 2020).

Trehalóza je disacharid tvorený dvoma molekulami glukózy (α,α -1,1 väzba), ktorý je široko produkovaný baktériami, hubami a inými mikroorganizmami. V hubách slúži ako zásobný sacharid a zároveň má ochrannú úlohu pri teplotnom a oxidačnom strese. Je známa svojou schopnosťou stabilizovať proteíny a bunkové membrány počas dehydratácie a zmrazovania (Vanaporn, Titball, 2020).

L-arabinóza je pentózový monosacharid prítomný v polysacharidoch rastlín a húb, ktorý ovplyvňuje črevnú mikrobiotu a metabolizmus. L-arabinóza má nízku stráviteľnosť, pričom väčšina sa fermentuje v čreve a podporuje rast prospešných baktérií. Potláča rast zápalových baktérií z kmeňa *Firmicutes* a podporuje protizápalové baktérie ako *Actinobacteria* a *Lactobacillus*. Výskum ukazuje, že L-arabinóza má potenciál byť účinným prebiotikom. Táto látka sa tak môže využiť vo funkčných potravinách na podporu zdravia čriev a imunitného systému.

Cieľom príspevku bolo analyzovať kultivované jedlé huby – druhy hľiva ustricovitá (*Pleurotus ostreatus*), hľiva ružová (*Pleurotus djamon*), hľiva citrónová (*Pleurotus citrinopileatus*), polnička topoľová (*Cyclocybe cylindracea*), húževnatec jedlý (*Lentinula edodes*) na obsah vybraných sacharidov (trehalóza, arabinóza a manitol) a hodnotiť medzidruhové rozdielnosti z hľadiska uvedených sacharidov.

Tento príspevok popisuje vybrané rizikové látky v jedlých divo rastúcich hubách. Cieľom je prispieť k zvyšovaniu povedomia a podporiť bezpečné postupy pri ich zbere a spracovaní z prírodného prostredia.

Materiál a metodika

Na analýzu sa použilo 5 druhov kultivovaných húb, konkrétne hľiva ustricovitá (*Pleurotus ostreatus*), hľiva ružová (*Pleurotus djamon*), hľiva citrónová (*Pleurotus citrinopileatus*), polnička topoľová (*Cyclocybe cylindracea*), húževnatec jedlý (*Lentinula edodes*). Vzorky húb boli získané z urbánnej farmy Drž hubu. Zo vzoriek sa pripravila sušina a následne sa materiál

navážoval na analytických váhach v množstve $2 \pm 0,0001$ g do polypropylénových centrifugačných skúmaviek s objemom 50 ml. Ku vzorkám sa pridalo 25 ml 80 % etanolu. Vzorky sa dôkladne pretrepali a extrahovali sa 10 min. s použitím ultrazvukového kúpeľa (názov, výrobca). Následne sa vzorky inkubovali vo vodnom kúpeli pri 60 °C 10 min. a takto pripravené extrakty sa centrifugovali pri 6 000 rpm 5 min. Výsledného číreho extraktu sa odpipetovali 4 ml do varnej banky a extrakt sa odparil do sucha na rotačnej vákuovej odparke pri teplote 70 °C. Odparok sa rekonštruoval 2 ml ultračistej vody a prefiltroval sa do 2 ml HPLC vialky.

HPLC analýza sa realizovala na prístroji Agilent 1260 Infinity II HPLC s RI detektorom (Agilent Technologies, Nemecko). Separácia prebiehala na kolóne Hi-Plex Pb (7,7 x 300 mm, veľkosť čatíc 8 µm; Agilent Technologies, Nemecko) v izokratickom móde s použitím ultračistej vody ako mobilnej fázy o prietoku 0,6 ml/min., pričom celková dĺžka jednej analýzy bola 40 min. Výsledky sa hodnotili metódou externých štandardov, pričom bol pri rovnakých chromatografických podmienkach meraný zmesný štandard obsahujúci trehalózu, arabinózu a manitol. Jednotlivé sacharidy boli zakúpené ako HPLC štandardy od spoločnosti Lambda Life, a.s. (Bratislava, Slovensko).

Dáta boli vyhodnotené s použitím popisnej štatistiky a neparametrických ANOVA štatistických testov – Kruskal-Wallis a Dunnov *post hoc* test s použitím programov Excel a Past4.03.

Výsledky a diskusia

V analyzovaných vzorkách húb sa zistili výrazné druhovo špecifické rozdiely v obsahu všetkých troch analyzovaných sacharidoch. Výsledky uvádza tabuľka 1. V analyzovaných vzorkách húb sa zistili výrazné druhovo špecifické rozdiely v obsahu trehalózy. Najvyššiu koncentráciu vykazovala hliva ustricovitá s priemernou hodnotou 156,23 g.kg⁻¹ sušiny, pričom rozsah hodnôt od 15,61 do 156,35 g.kg⁻¹ poukazuje na značnú variabilitu medzi vzorkami. Hliva citrónová mala stredne vysoký, ale veľmi stabilný obsah trehalózy (priemer 69,02 g.kg⁻¹, minimálna variabilita 68,94–69,07 g.kg⁻¹). Hliva ružová a húževnatec jedlý vykazovali podobné stredné hodnoty (48,49 a 49,46 g.kg⁻¹) s nízkou variabilitou. Najnižšiu koncentráciu trehalózy mala polnička topoľová s priemerom 19,06 g/kg a veľmi úzkym intervalom 19,03–19,10 g.kg⁻¹, čo poukazuje na jej obmedzenú schopnosť akumulovať tento disacharid. Hammond (1980) uvádza obsah trehalózy v sušine hlivy ustricovitej 6,5 % (65 g.kg⁻¹ SH). Vyššie hodnoty namerané v našej práci môžu byť spôsobené rozdielmi v podmienkach rastu húb prípadne štádiom zrelosti plodníc. Trehalóza sa vo zvýšených koncentráciách kumuluje v plodniciach najmä vplyvom rôznych stresových faktorov (Liu et al., 2019).

Obsah manitolu sa taktiež výrazne líšil medzi druhmi. Húževnatec jedlý dosiahol najvyššiu priemernú koncentráciu (64,73 g.kg⁻¹) s veľmi nízkou variabilitou, čo poukazuje na efektívnu a stabilnú akumuláciu tohto cukrového alkoholu. Hliva ružová a hliva citrónová mali vysoký a podobne konzistentný obsah manitolu (56,72 g.kg⁻¹ a 51,27 g.kg⁻¹). Naproti tomu hliva ustricovitá vykazovala podstatne nižšie hodnoty (priemer 13,46 g.kg⁻¹) a polnička topoľová dosahovala minimálny obsah (0,49 g.kg⁻¹), čo svedčí o veľmi obmedzenej schopnosti tohto druhu akumulovať manitol. Manitol je hlavný rozpustný cukor (236,2 g.kg⁻¹ sušiny) a zároveň hlavná chuťovo aktívna cukorná zložka v čerstvo zberaných bielych hubách (Diamantopoulou, Papanikolaou, 2023). Obsah manitolu súvisí s rôznymi faktormi ako napríklad štádium zrelosti plodníc, podmienky pestovania, či environmentálne faktory ako napríklad vystavenie osmotickému (NaCl) stresu Diamantopoulou, Papanikolaou, 2023).

Tabuľka 1. Výsledky popisnej štatistiky

Druh	Výsledky popisnej štatistiky			
	Min.	Max.	Priemer	SD
Trehalóza [g.kg⁻¹ SH]				
Hliva ružová	48.26	48.69	48.49	0.15
Hliva ustricovitá	15.61	156.35	156.23	0.10
Hliva citrónová	68.94	69.07	69.02	0.06
Polníčka topoľová	19.03	19.10	19.06	0.03
Húževnatec jedlý	49.41	49.56	49.46	0.07
Manitol [g.kg⁻¹ SH]				
Hliva ružová	56.62	56.85	56.72	0.08
Hliva ustricovitá	13.43	13.47	13.46	0.02
Hliva citrónová	51.26	51.29	51.27	0.01
Polníčka topoľová	0.47	0.50	0.49	0.01
Húževnatec jedlý	64.69	64.75	64.73	0.03
Arabinóza [g.kg⁻¹ SH]				
Hliva ružová	0.03	0.06	0.05	0.01
Hliva ustricovitá	0.06	0.08	70.31	0.01
Hliva citrónová	2.32	2.37	2.34	0.02
Polníčka topoľová	0.52	0.59	0.56	0.03
Húževnatec jedlý	10.95	10.99	10.97	0.02

Pri arabinóze boli medzi druhmi tiež výrazné rozdiely. Najvyššiu a veľmi homogénnu koncentráciu mala húževnatec jedlý s priemerom 10,97 g.kg⁻¹ a úzkym intervalom 10,95–10,99 g.kg⁻¹. Hliva citrónová obsahovala stredne vysoké množstvo arabinózy (priemer 2,34 g.kg⁻¹), zatiaľ čo polníčka topoľová vykazovala mierne hodnoty (0,56 g.kg⁻¹). Hliva ružová mala nízky obsah (0,05 g.g.kg⁻¹). U hlivy ustricovitej bol zaznamenaný minimálny a veľmi konzistentný obsah (okolo 0,07 g.kg⁻¹ na základe rozsahu 0,06–0,08 g.kg⁻¹). Obsah arabinózy je nízky u mnohých divorastúcich druhov húb, s hodnotami od nedetekovateľných po 7,8% sušiny ako uvádzajú autori Vaz et al. (2011). Tieto výsledky poukazujú na výraznú druhovú rozdielnosť v akumulácii sledovaných sacharidov, ktorá môže súvisieť s ich metabolickými adaptáciami a nutričným profilom jednotlivých druhov.

Kruskal-Wallis neparametrický test, neparametrický štatistický test používaný na porovnanie dvoch alebo viacerých nezávislých vzoriek dát, s Dunnovým post hoc testom odhalili viacero štatisticky významných rozdielov ($p < 0,05$) v obsahu sledovaných cukrov medzi analyzovanými druhmi húb. Výsledky uvádzame v tabuľke 2.

Pre trehalózu boli zistené významne rozdielne koncentrácie medzi dvojicami hliva ružová vs. hliva ustricovitá, hliva ustricovitá vs. polníčka topoľová a hliva citrónová vs. polníčka topoľová. V prípade manitolu sa významné rozdiely prejavili medzi druhmi hliva ružová vs. polníčka topoľová, hliva ustricovitá vs. húževnatec jedlý a polníčka topoľová vs. húževnatec jedlý. Obsah arabinózy mal štatisticky významný rozdiel medzi druhmi hliva ružová vs. hliva

citrónová, hľiva ružová vs. húževnatec jedlý a hľiva ustricovitá vs. húževnatec jedlý. Tieto výsledky poukazujú na druhovo špecifické vzorce akumulácie cukrov v plodniciach húb, ktoré môžu odrážať ich metabolické adaptácie a ekologické stratégie.

Tabuľka 2. Sumarizačná tabuľka štatisticky významných rozdielov vybraných sacharidov

Sacharid	Porovnanie druhov	p-hodnota	Štatistická významnosť
Trehalóza	hľiva ružová - hľiva ustricovitá	0,00899	**
	hľiva ustricovitá - polnička topoľová	0,00083	***
	hľiva citrónová - polnička topoľová	0,0101	*
Manitol	hľiva ružová - polnička topoľová	0,00899	**
	hľiva ustricovitá - húževnatec jedlý	0,0101	*
	polnička topoľová - húževnatec jedlý	0,00083	***
Arabinóza	hľiva ružová - hľiva citrónová	0,01096	*
	hľiva ružová - húževnatec jedlý	0,00075	***
	hľiva ustricovitá - húževnatec jedlý	0,01635	*

Pozn.: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Záver

Výsledky tejto práce potvrdili, že kultivované jedlé huby predstavujú významný zdroj špecifických cukrov so zdravotným potenciálom. Analýza preukázala druhovo špecifické rozdiely v obsahu trehalózy, manitolu a arabinózy, čo poukazuje na rozdielne metabolické stratégie a prispôsobenie druhov. Štatisticky významné rozdiely medzi druhmi zdôrazňujú potrebu cieľenej selekcie pre potravinárske využitie. Najvyššie hodnoty trehalózy boli zistené u hľivy ustricovitej, manitolu a arabinózy u húževnatca jedlého. Tieto výsledky podporujú využitie húb ako funkčných potravín prispievajúcich k zdravej výžive. Zároveň naznačujú potenciál pre rozvoj produktov zameraných na podporu imunity a prevenciu civilizačných ochorení. Dôležitá je aj optimalizácia pestovateľských podmienok s cieľom maximalizovať obsah bioaktívnych látok.

Podakovanie

Táto práca bola podporená výskumnými projektmi APVV-22-0402, VEGA 1/0307/25 a VEGA 1/0602/22.

Literatúra

- Abdul Latif, N. S., Abdul Ghani, N., Naher, M. S. T., Kiaramkul, C., Yati, A. 2023. Optimum formulation substrate for oyster mushroom cultivation using linear programming model. In *Universal Journal of Agricultural Research* [online], vol. 11, p. 158–165 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.13189/ujar.2023.110115>.
- Ahmad, I., Arif, M., Xu, M., Zhang, J., Ding, Y., Lyu, F. 2023. Therapeutic values and nutraceutical properties of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*): A review. In *Trends in Food Science & Technology* [online], vol. 134, p. 123–135 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.007>.
- Chen, L., Chen, Y., Wang, J., Wang, Z., Huang, X. 2023. Study on nutritional components evaluation and origin differences of *Agrocybe cylindracea* from different regions. In *EFood* [online], vol. 4, no. 2, e81 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1002/efd2.81>.

Chen, M., Zhang, W., Wu, H., Guang, C., Mu, W. 2020. Mannitol: physiological functionalities, determination methods, biotechnological production, and applications. In *Applied Microbiology and Biotechnology* [online], vol. 104, no. 16, p. 6941–6951 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10757-y>.

Diamantopoulou, P., Papanikolaou, S. 2023. Biotechnological production of sugar-alcohols: Focus on *Yarrowia lipolytica* and edible/medicinal mushrooms. In *Process Biochemistry* [online], vol. 124, p. 113–131 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.11.008>.

Hammond, J. B. 1980. The composition of fresh and stored oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). In *Phytochemistry* [online], vol. 19, no. 12, p. 2565–2568 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)83919-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)83919-9).

Hasan, G., Abdul-Hadi, S. 2022. Molecular characterization of wild *Pleurotus ostreatus* (MW457626) and evaluation of β -glucans polysaccharide activities. In *Karbala International Journal of Modern Science* [online], vol. 8 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.33640/2405-609X.3204>.

Kılıç, C. 2020. Production of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus citrinopileatus* and *Pleurotus djamor* in different contents and some physical analysis. In *Wood Industry and Engineering* [online], vol. 2, no. 1, p. 17–23 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://dergipark.org.tr/en/pub/wie/issue/58639/833759>.

Kozarski, M., Klaus, A., Van Griensven, L., Jakovljevic, D., Todorović, N., Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I., Vunduk, J. 2022. Mushroom β -glucan and polyphenol formulations as natural immunity boosters and balancers: nature of the application. In *Food Science and Human Wellness* [online], vol. 12, p. 378–396 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.040>.

Liu, X. M., Wu, X. L., Wei, G. A. O., Qu, J. B., Qiang, C. H. E. N., Huang, C. Y., Zhang, J. X. 2019. Protective roles of trehalose in *Pleurotus pulmonarius* during heat stress response. In *Journal of Integrative Agriculture* [online], vol. 18, no. 2, p. 428–437 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62010-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62010-6).

Pathak, A., Rathod, M., Ghorpade, S. 2022. A review on diversity of cultivable edible species of mushrooms. In *ResearchGate* [online] [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/368293064_A_REVIEW_ON_DIVERSITY_OF_CULTIVABLE_EDIBLE_SPECIES_OF_MUSHROOMS.

Saskiawan, I., Retnowati, A. 2022. Bioconversion of lignocellulosic agriculture waste to an edible mushroom, the functional food for healthy life during Covid 19. In *Atlantis Press* [online] [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.2991/absr.k.220101.014>.

Spim, S. R. V., Castanho, N. R. C. M., Pistila, A. M. H., Jozala, A. F., Oliveira Júnior, J. M., Grotto, D. 2021. *Lentinula edodes* mushroom as an ingredient to enhance the nutritional and functional properties of cereal bars. In *Journal of Food Science and Technology* [online], vol. 58, no. 4, p. 1349–1357 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04646-5>.

Spim, S. R. V., Pistila, A. M. H., Pickler, T. B., Silva, M. T., Grotto, D. 2021. Effects of shiitake culinary-medicinal mushroom, *Lentinus edodes* (Agaricomycetes), bars on lipid and antioxidant profiles in individuals with borderline high cholesterol: A double-blind randomized clinical trial. In *International Journal of Medicinal Mushrooms* [online], vol. 23, no. 7, p. 1–12 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2021038773>.

Sun, W., Zhang, Y., Jia, H. 2022. Polysaccharides from *Agrocybe cylindracea* residue alleviate type 2-diabetes-induced liver and colon injuries by p38 MAPK signaling pathway. In *Food Bioscience* [online], vol. 47 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101690>.

Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., Paredes-López, O. 2015. Edible mushrooms: Improving human health and promoting quality life. In *International Journal of Microbiology* [online], 2015 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1155/2015/376387>.

Vanaporn, M., Titball, R. W. 2020. Trehalose and bacterial virulence. In *Virulence* [online], vol. 11, no. 1, p. 1192–1202 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1080/21505594.2020.1809326>.

Vaz, J. A., Barros, L., Martins, A., Santos-Buelga, C., Vasconcelos, M. H., Ferreira, I. C. 2011. Chemical composition of wild edible mushrooms and antioxidant properties of their water soluble polysaccharidic and ethanolic fractions. In *Food Chemistry* [online], vol. 126, no. 2, p. 610–616 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.063>.

Xiang, S., Ge, Y., Zhang, Y., Bao, X., Su, X., Shi, L., Zhu, X. 2024. L-arabinose exerts probiotic functions by improving gut microbiota and metabolism *in vivo* and *in vitro*. In *Journal of Functional Foods* [online], vol. 113, p. 106047 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106047>.

Yanagimoto, H., Hirooka, S., Yamamoto, T., Yamaki, S., Sekimoto, M. 2023. Efficacy of *Lentinula edodes* mycelia extract on chemotherapy-related taste disorders in pancreatic cancer patients. In *Nutrition and Cancer* [online], vol. 75, no. 1, p. 236–246 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1080/01635581.2022.2107226>.

Kontaktné adresy: Silvia Jakobová, PaedDr., PhD., Ústav potravinárstva, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 94976 Nitra.
Simona Gondová, Michal Hudec, PaedDr., PhD., Piaristická spojená škola sv. Jozefa Kalazanského v Nitre, Piaristická 6, 94901 Nitra.

RIZIKOVÉ LÁTKY V JEDLÝCH DIVO RASTÚCICH HUBÁCH

HAZARDOUS SUBSTANCES IN EDIBLE WILD-GROWING MUSHROOMS

Silvia Jakabová, Marek Šnirc, Romana Piskalíková, Július Árvay, Jozef Golian

Abstract: This paper focuses on evaluating the presence of hazardous substances in wild edible mushrooms. Wild edible mushrooms constitute an important component of the human diet and traditional gastronomy worldwide, primarily due to their high nutritional value and content of bioactive compounds. They are a valuable source of vitamins, carbohydrates, minerals, and proteins. Despite these nutritional benefits, they may pose health risks as a result of undesirable contaminants. Such hazardous substances include toxic elements (e.g. lead, cadmium, mercury), radionuclides, and mycotoxins. Toxic elements originate from environmental sources, with their accumulation in mushroom fruiting bodies influenced by air pollution, soil characteristics, and other ecological factors. Toxins, on the other hand, are natural metabolic products of the fungi themselves. Another significant food safety concern is the risk of confusing edible species with poisonous ones, which can lead to gastrointestinal distress and, in severe cases, fatal outcomes. The aim of this paper is to highlight these risks and promote a responsible and informed approach to the collection and consumption of wild mushrooms.

Keywords: wild edible mushrooms, toxic elements, radionuclides, mycotoxins, health risk, food safety

Úvod

Huby predstavujú významnú súčasť ľudskej stravy a sú cenené pre svoju výživovú hodnotu i kulinárske využitie. Predstavujú bohatý zdroj živín, vrátane vitamínov, bielkovín, minerálnych látok a sacharidov. Zber húb patrí na Slovensku medzi tradičné a obľúbené aktivity, ktoré podporujú kontakt človeka s prírodným prostredím a umožňujú získavanie chutných a nutrične hodnotných surovín.

Napriek týmto pozitívnym aspektom je však konzumácia divo rastúcich húb spojená s viacerými rizikami, ktoré si verejnosť často neuvedomuje. Riziká zahŕňajú predovšetkým možnosť zámeny s toxickými druhmi, nesprávne spracovanie, kontamináciu prostredím alebo prítomnosť škodlivých či rizikových látok. Medzi najzávažnejšie rizikové prvky a rádionuklidy, z ktorých k najvýznamnejším patrí olovo (Pb), kadmium (Cd), ortuť (Hg) a arzén (As), nuklid cézia (^{137}Cs) ktoré sa môžu v hubách bioakumulovať vo vyšších koncentráciách, najmä v oblastiach vystavených environmentálnej kontaminácii (Gałgowska & Pietrzak-Fiečko, 2021; Strumińska-Parulska et al., 2021). Tieto prvky sú pre ľudský organizmus toxické a ich príjem môže viesť k závažným zdravotným problémom, vrátane poškodenia obličiek, zvýšeného rizika vzniku nádorových ochorení alebo neurologických porúch. Okrem týchto rizík môžu byť huby zdrojom rizikových metabolitov (Tuğcan et al., 2025).

Tento príspevok popisuje vybrané rizikové látky v jedlých divo rastúcich hubách. Cieľom je prispieť k zvyšovaniu povedomia a podporiť bezpečné postupy pri ich zbere a spracovaní z prírodného prostredia.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Rizikové a potenciálne rizikové prvky

Jedlé huby môžu predstavovať významný zdroj príjmu niektorých toxických prvkov, predovšetkým kadmia (Cd) a olova (Pb), ktoré majú nežiaduce účinky na ľudský organizmus. Akumulácia minerálnych prvkov v hubách závisí od ich koncentrácie v prostredí; prvky ako hliník (Al), bárium (Ba), železo (Fe), horčík (Mg), nikel (Ni), vápnik (Ca) a chróm (Cr) sa v plodniciach hromadia úmerne k ich množstvu v pôde. Naopak, prvky ako Cd a ortuť (Hg) sa v hubách akumulujú neúmerne – ich vysoké koncentrácie v plodniciach nezodpovedajú koncentráciám v pôde, ale sú výsledkom aktívneho a efektívneho prijímania z okolia (Galgowska et al., 2021).

Prvky ako Hg, Pb, Cd, Cr a polokov arzén (As) nemajú žiadnu známu biologickú funkciu v ľudskom tele a sú považované za potenciálne toxické aj pri nízkych dávkach. Expozícia subletálnym množstvám Pb napríklad vedie k poškodeniu nervového systému a zhoršeniu funkcie obličiek. Naproti tomu prvky ako meď (Cu), zinok (Zn) a selén (Se) patria medzi esenciálne stopové prvky nevyhnutné pre správne fungovanie fyziologických procesov. Ich nedostatok môže mať negatívny dopad na biologické funkcie a zdravie človeka; pri nedostatku Zn sa môžu objaviť problémy ako spomalený rast, vypadávanie vlasov, tráviace ťažkosti, kožné a očné poruchy, strata chuti do jedla či zhoršené hojenie rán (Barea-Sepúlveda et al., 2022).

Akumuláciu rizikových prvkov v hubách ovplyvňujú dva hlavné faktory. Prvým sú environmentálne faktory ako pH pôdy, koncentrácia rizikových prvkov v pôde a obsah organických látok. Druhým faktorom sú biologické vlastnosti samotných húb – druh, rastová fáza, vek mycélia, biochemické charakteristiky a morfológia plodníc (Dowlati et al., 2021).

Medzi významné zdroje kontaminácie pôdy toxickými prvkami patrí poľnohospodárska činnosť, priemyselné a dopravné emisie, skládky odpadu a povrchový odtok z komunikácií. Tieto faktory predstavujú zdravotné riziko, ktorého závažnosť závisí od veku pri expozícii a dĺžky jej trvania. Toxické prvky sa v tele rýchlo vstrebávajú, pomaly vylučujú a majú schopnosť akumulácie v tkanivách a orgánoch. Negatívne zdravotné účinky sa často prejavujú až po dlhodobej a pravidelnej konzumácii kontaminovaných produktov (Orywal et al., 2021).

Kadmium

Kadmium (Cd) patrí medzi vysoko toxické kontaminanty, ktoré predstavujú závažné riziko pre ekosystémy. Huby sú známe svojou schopnosťou účinne absorbovať Cd z pôdy. Tento prvok je karcinogénny a má negatívne účinky na obličky, kosti, kardiovaskulárny a imunitný systém. Hoci zvýšené povedomie o environmentálnej a zdravotnej toxicite kadmia viedlo k jeho obmedzeniu v niektorých odvetviach, jeho antropogénne emisie v niektorých regiónoch stále stúpajú. To negatívne ovplyvňuje prírodné prostredie vrátane lesných biotopov, kde huby bežne rastú (Širić et al., 2022).

Ortuť

Ortuť (Hg) je vysoko toxický prvok a významný environmentálny kontaminant. Akútna toxicita Hg je relatívne zriedkavá a typicky postihuje osoby so zvýšeným rizikom v dôsledku profesijnej expozície. Avšak značná časť populácie môže byť chronicky vystavená nižším, ale stále zdravotne rizikovým dávkam. Ortuť môže negatívne ovplyvniť viacero orgánových systémov vrátane kardiovaskulárneho, respiračného, vylučovacieho, tráviaceho, nervového a reprodukčného systému. Jedlé divorastúce huby, ktoré sa zbierajú na konzumáciu, majú schopnosť absorbovať a akumulovať toxické látky z prostredia vo svojich plodniciach (Rzymiski et al., 2016).

Olovo

Olovo (Pb) predstavuje po Cd a Hg tretí významný rizikový stopový prvok akumulovaný v hubách. Pri nadmernej akumulácii v ľudskom tele je spojené s poškodením štruktúrnych proteínov a buniek, narušením regulácie energetických procesov, syntézy proteínov a

nukleových kyselín. Pb významne prispieva k oxidačnému stresu v bunkách prostredníctvom narušenia ich antioxidačných obranných mechanizmov (Galgowska et al., 2021).

Arzén

Huby sú schopné akumulovať rôzne množstvá arzenu (As) a jeho zlúčenín v plodniciach, čo súvisí s prítomnosťou proteínov, ktoré im poskytujú určitú odolnosť voči toxickým účinkom As. Zdravotné riziko vzniká najmä pri konzumácii húb so zvýšeným obsahom As, či už vo forme potravy alebo liečiva (Zhang et al., 2020).

Spôsoby hodnotenia zdravotného rizika

Koeficient nebezpečenstva THQ (Target Hazard Quotient)

Zdravotné riziko, vyplývajúce z prítomnosti ťažkých kovov je možné hodnotiť pomocou cieľového koeficient nebezpečenstva (THQ). Posúdenie indexu THQ sa realizuje podľa výpočtu v uvedenej rovnici (Šnirc et al., 2023).

$$THQ = \frac{10^{-3} \times E_f \times E_d \times I_r \times HMc}{Bw \times C_p \times Rd}$$

Kde: E_f je frekvencia expozície ťažkým kovom, E_d je trvanie expozície (365 dní), I_r je rýchlosť požitia huby, HMc je koncentrácia ťažkého kovu vo vzorke húb (mg.kg^{-1}), Bw je priemerná telesná hmotnosť (70 kg pre dospelého a 16 kg pre dieťa), C_p je doba expozície (25 550 dní pre dospelého a 5840 dní pre dieťa) je referenčná dávka 5840 dní: Cd: $5,0 \times 10^{-4}$, Cr: $3,0 \times 10^{-4}$, Cu: $4,2 \times 10^{-5}$, Fe: $7,0 \times 10^{-5}$, Mn: $1,4 \times 10^{-5}$ a Zn: $3,0 \times 10^{-5}$ (Širić et al., 2022).

Sumárny koeficient nebezpečenstva HI (Hazard Index)

Je metóda na hodnotenie zdravotných rizík nekarcinogénneho pôvodu dlhodobej konzumácii húb. HI index vychádza z toho predpokladu, že chemické látky s viacerými účinkami spolu s toxikologickým pôsobením sa budú sčítavať podľa princípu aditívneho dávkového účinku. Po matematickej stránke je HI zhodný s metódami, ako sú ekvivalenty toxicity alebo prístupy, ktoré sú založené na relatívnom faktore účinnosti (Price, 2023). Výpočet HI uvádza Sarigiannis et al. (2012) nasledovne:

$$HI = \sum_{i=1}^n \frac{exp_i}{ref_i}$$

Bioakumulačný faktor (BAF)

Makrohuby majú schopnosť prijímať rôzne stopové prvky a dokážu si ich akumulovať v plodnici. Miera, do akej huba hromadí konkrétny prvok v porovnaní s jeho koncentráciou v pôde, sa vyjadruje pomocou bioakumulačného faktora (BAF), ktorý charakterizuje schopnosť huby akumulovať daný prvok. K typickým stopovým prvkom, ktoré sa v makrohubách akumulujú vo vyššej miere ($BAF > 1$), patria Au, Ag, As, Br, Cd, Cs, Cu, Hg, Rb, Se, V, Zn a Cl. Tieto prvky môžu byť prijímané z pôdy a vo významnej miere ukladané v plodniciach húb, čo poukazuje na ich schopnosť účinne akumulovať rôzne prvky z prostredia (Ronda et al., 2022).

$$BAF_i = \frac{P_i}{S_i}$$

kde P_i je koncentrácia ťažkého kovu v rastlinách (mg.kg^{-1}); a S_i je koncentrácia toho istého ťažkého kovu v pôde, kde rastlina rastie (mg.kg^{-1}) (Aladesanmi et al., 2019).

Rádioaktivita ako riziko konzumácie húb

Prítomnosť rádioizotopov

Rádioaktivita predstavuje prirodzený fyzikálny proces, pri ktorom dochádza k spontánnemu rozpadu nestabilných atómových jadier za uvoľňovania ionizujúceho žiarenia. Toto žiarenie má duálnu povahu, správa sa ako častica aj ako elektromagnetická vlna a pokrýva široké

spektrum energií. Ľudský organizmus je vystavený ionizujúcemu žiareniu pochádzajúcemu z dvoch hlavných zdrojov: vonkajšieho (rádionuklidy v pôde, kozmické žiarenie) a vnútorného (rádionuklidy prijaté inhaláciou, potravou alebo vodou) (Strumínska-Parulska et al., 2024). Z hľadiska kontaminácie húb je osobitne významný izotop ^{137}Cs , ktorý sa najviac koncentruje v plodniciach, pričom podzemné mycélium zohráva kľúčovú úlohu v jeho prijímaní a transporte. Druhy rastúce v oblastiach s vyššou pôdnou vlhkosťou majú tendenciu akumulovať rádioaktívne izotopy vo vyšších koncentráciách v dôsledku ich zvýšenej mobility v pôdnom prostredí. Koncentrácia aktivity ^{137}Cs v plodniciach húb je ovplyvnená viacerými faktormi, ako sú druhová príslušnosť húb, koncentrácia izotopu v pôde, čas od černobyľskej havárie, pôdny horizont využívaný na čerpanie živín a pôdna vlhkosť (García et al., 2015).

Kontaminácia húb rádioaktívnym céziom po černobyľskej a fukušimskej havárii

Voľne rastúce huby vykazujú výraznú schopnosť akumulovať rádioaktívne cézium, čo predstavuje závažný environmentálny a zdravotný problém. Tento izotop je nebezpečný najmä vďaka svojmu dlhému polčasu rozpadu, emisii gama žiarenia a vysokej biologickej dostupnosti. Kontaminácia húb ^{137}Cs bola intenzívne skúmaná najmä po významných ekologických haváriách, ako boli testy jadrových zbraní, havária v Černobyle (1986) či jadrová havária vo Fukušime (2011). Tieto udalosti viedli k rozsiahlej kontaminácii pôd v mnohých častiach sveta rádioaktívnym céziom. Prenos ^{137}Cs z pôdneho substrátu do plodníc húb závisí od vlastností pôdy a úrovne jej kontaminácie. Huby vynikajú svojou schopnosťou absorbovať rádioaktívne látky a sú považované za účinné bioindikátory radiačného znečistenia. Táto schopnosť súvisí s ich morfológickou štruktúrou, ktorú tvoria husté a jemné hyfálne vlákna umožňujúce efektívne prijímanie kontaminantov z prostredia (Harkut et al., 2021).

Geografické a environmentálne vplyvy na rádioaktivitu húb

Pri hodnotení prírodných produktov po environmentálnych haváriách sa osobitná pozornosť venuje otázkam zdravotnej bezpečnosti. Historicky najvýznamnejšou udalosťou ovplyvňujúcou životné prostredie a zdravie obyvateľstva bola havária jadrovej elektrárne v Černobyle v roku 1986. Výrazne postihnuté boli aj oblasti ako Národný park Bavorský les, kde sa vplyvom nepriaznivých meteorologických podmienok zaznamenala vysoká kontaminácia. Úrovně depozície izotopu ^{137}Cs sa tu pohybovali v rozsahu približne 10 000 až 120 000 Bq·m⁻². Nekoordinované a príležitostné merania rádioaktivity v týchto oblastiach potvrdili výraznú kontamináciu rôznych druhov makrofungí, čo bolo priamym dôsledkom černobyľskej havárie. Kontaminácia húb rádioaktívnymi izotopmi je výrazne ovplyvnená meteorologickými podmienkami a geografickými faktormi, ako sú orientácia svahov, nadmorská výška a fyzikálno-chemické vlastnosti pôdy (Ernst et al., 2022).

Toxíny v hubách

Niektoré druhy húb produkujú vysoko toxické látky, ktoré predstavujú vážne zdravotné riziko. Tieto toxíny môžu spôsobiť akútne gastrointestinálne poruchy, hepatotoxické poškodenie či neurotoxické účinky. Medzi najvýznamnejšie toxíny patria amatoxíny, orellaníny, gyromitríny, muskarín, kyselina iboténová, psilocybín a koprín. Otravy týmito toxínmi môžu byť smrteľné až v 30 % prípadov (Tužcan et al., 2025).

Gyromitríny

Gyromitrín (etylidén-gyromitrín, acetaldehyd N-metyl-N-formylhydrazón) a jeho homológy sú toxické zlúčeniny prítomné v surových plodniciach jedlej divo rastúcej huby ušiak obyčajný (*Gyromitra esculenta*). Toxicita týchto látok spočíva v hepatotoxických a dokonca karcinogénnych účinkoch (Patocka et al., 2012). Gyromitríny sa metabolizujú na monometylhydrazín, ktorý negatívne ovplyvňuje nervový systém a pečeň (Jo et al., 2014).

Amatoxíny

Amatoxíny sú cyklopeptidové toxíny, ktoré silne inhibujú RNA polymerázu II, čím blokujú syntézu mRNA a bielkovín najmä v hepatocytoch a renálnych bunkách. Toxofaloxín, izolovaný z *Amanita phalloides*, patrí medzi L-aminokyselinové oxidázy a vyvoláva oxidačný stres vedúci k masívnej nekróze a ťažkej hepatotoxicite. Približne 60 % amatoxínov sa vylučuje do žlče a recirkuluje cez enterohepatálny obeh späť do pečene, čím podporuje zápal a deštrukciu hepatocytov. Huby produkujúce amatoxíny sú zodpovedné za viac než 90 % úmrtí spôsobených otravou hubami. Liečba zahŕňa podávanie antibiotík, antioxidačnú liečbu a v ťažkých prípadoch transplantáciu pečene (Tuğcan et al., 2025).

Muskarín

Muskarín sa nachádza v rodoch *Clitocybe* a *Inocybe* a spôsobuje typické muskarínové symptómy (Jo et al., 2014). Muskarín je alkaloid a historicky prvý izolovaný hubový toxín. Patrí medzi najtoxickéjšie sekundárne metabolity húb. Príznaky otravy sa zvyčajne objavujú 15–20 minút po požití a sú výsledkom nadmernej stimulácie muskarínových receptorov. Medzi symptómy patrí mióza, rozmazané videnie, hypersalivácia, potenie, slzenie, dyspnoe, bradykardia a gastrointestinálne ťažkosti. V závažných prípadoch môže dôjsť k obehovému kolapsu a zástave srdca, vyžadujúcej okamžitú lekársku intervenciu (Dörner et al., 2024). Z predstaviteľov húb rastúcich aj na Slovensku sem patrí napríklad strmul'ka hrabanková (*Clitocybe phyllophila*) (Kibby, 2021).

Koprín

Koprín je toxická látka, ktorá spôsobuje reakcie pri súčasnej konzumácii alkoholu. Po požití húb obsahujúcich koprín sa v priebehu hodín alebo dní objavujú symptómy ako vracanie, bolesti hlavy, nevoľnosť, tachykardia a hypotenzia. Koprín inhibuje aktivitu aldehyddehydrogenázy, čo vedie k hromadeniu acetaldehydu po konzumácii alkoholu (Wiegand, Peredy, 2024). Typickým druhom obsahujúcim koprín je hnojník atramentový (*Coprinus atramentarius*) (Strauss et al., 2023).

Psilocybín

Psilocybín patrí medzi psychoaktívne zlúčeniny s výraznými účinkami na centrálny nervový systém. Je známy schopnosťou modulovať náladu a vnímanie, znižovať negatívne emócie a ovplyvňovať spracovanie strachu a stresu v mozgu. Účinky zahŕňajú zlepšenie nálady, útlm úzkosti, halucinácie a psychické zmeny, pričom sa skúma jeho potenciál v liečbe porúch nálady a závislostí (Barrett et al., 2020; Jo et al., 2014). Typický pre halucinogénne druhy rodu *Psilocybe* (Strauss et al., 2023).

Záver

Jedlé huby predstavujú významný zdroj cenných živín, no zároveň aj potenciálne riziko kontaminácie toxickými a rádioaktívnymi prvkami. Akumulácia ťažkých kovov ako kadmium, olovo či ortuť v plodniciach húb závisí od environmentálnych a biologických faktorov, pričom ich pravidelná konzumácia môže viesť k chronickým zdravotným problémom. Hodnotenie rizika prostredníctvom indexov ako THQ a HI umožňuje lepšie posúdiť expozíciu populácie a prijať preventívne opatrenia. Okrem ťažkých kovov sú vážnym problémom aj prírodné toxíny produkované samotnými hubami, ktoré môžu spôsobovať závažné otravy a poškodenie orgánových systémov. Významnou témou zostáva aj rádioaktívna kontaminácia húb po ekologických haváriách, ktorá zvyšuje zdravotné riziko najmä v postihnutých regiónoch. Vzhľadom na tieto aspekty je nevyhnutné podporovať monitorovanie kontaminantov v hubách, informovanosť verejnosti a zodpovedný zber a konzumáciu týchto plodníc.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená výskumnými projektmi APVV-22-0402, VEGA 1/0307/25 a VEGA 1/0602/22.

Literatúra

- Aladesanmi, O. T., Oroboade, J. G., Osisiogu, C. P., Osewole, A. O. 2019. Bioaccumulation factor of selected heavy metals in *Zea mays*. In *Journal of Health and Pollution* [online], vol. 9, no. 24, p. 191207 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.24.191207>.
- Barrett, F. S., Doss, M. K., Sepeda, N. D., Pekar, J. J., Griffiths, R. R. 2020. Emotions and brain function are altered up to one month after a single high dose of psilocybin. In *Scientific Reports* [online], vol. 10, no. 1, p. 2214 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59282-y>.
- Barea-Sepúlveda, M., Espada-Bellido, E., Ferreiro-González, M., Bouziane, H., López-Castillo, J. G., Palma, M., Barbero, G. F. 2022. Exposure to essential and toxic elements via consumption of Agaricaceae, Amanitaceae, Boletaceae, and Russulaceae mushrooms from Southern Spain and Northern Morocco. In *Journal of Fungi* [online], vol. 8, no. 5, p. 545 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/jof8050545>.
- Dörner, S., Trottmann, F., Jordan, P. M., Rogge, K., Bartels, B., Werz, O., Hertweck, Ch., Hoffmeister, D. 2024. The fatal mushroom neurotoxin muscarine is released from a harmless phosphorylated precursor upon cellular injury. In *Angewandte Chemie International Edition* [online], vol. 63 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1002/anie.202417220>.
- Dowlati, M., Sobhi, H. R., Esrafil, A., Farzadkia, M., Yeganeh, M. 2021. Heavy metals content in edible mushrooms: A systematic review, meta-analysis and health risk assessment. In *Trends in Food Science & Technology* [online], vol. 109 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.064>.
- Ernst, A.-L., Reiter, G., Piepenbring, M., Bässler, C. 2022. Spatial risk assessment of radiocesium contamination of edible mushrooms – Lessons from a highly frequented recreational area. In *Science of The Total Environment* [online], vol. 807, no. 2, p. 150861 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150861>.
- Gałgowska, M., Pietrzak-Fiećko, R. 2021. Cadmium and lead content in selected fungi from Poland and their edible safety assessment. In *Molecules* [online], vol. 26, no. 23, p. 7289 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/molecules26237289>.
- García, M. A., Alonso, J., Melgar, M. J. 2015. Radiocaesium activity concentrations in macrofungi from Galicia (NW Spain): Influence of environmental and genetic factors. In *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online], vol. 115, p. 152–158 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.005>.
- Harkut, O., Alexa, P., Uhlář, R. 2021. Radiocaesium contamination of mushrooms at high- and low-level Chernobyl exposure sites and its consequences for public health. In *Life* [online], vol. 11, no. 12, p. 1370 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/life11121370>.
- Jo, W. S., Hossain, M. A., Park, S. C. 2014. Toxicological profiles of poisonous, edible, and medicinal mushrooms. In *Mycobiology* [online], vol. 42, no. 3, p. 215–220 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.5941/MYCO.2014.42.3.215>.
- Kibby, G. 2021. Fungal portraits: No. 87: Three white Clitocybe species: *C. phyllophila*, *C. rivulosa* & *C. leucodiatreta*. In *Field Mycology* [online], vol. 22, no. 3, p. 75–77 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.fldmyc.2021.07.003>.
- Orywal, K., Socha, K., Nowakowski, P., Zoń, W., Kaczyński, P., Mroczko, B., Łozowicka, B., Perkowski, M. 2021. Health risk assessment of exposure to toxic elements resulting from consumption of dried wild-grown mushrooms available for sale. In *PLoS One* [online], vol. 16, no. 6, p. e0252834 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252834>.
- Patocka, J., Pita, R., Kuca, K. 2012. Gyromitrin, mushroom toxin of *Gyromitra* spp. In *Military Medical Science Letters* (Vojenské Zdravotnícké Listy) [online], vol. 81, no. 2, p. 61–67 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.31482/mmsl.2012.008>.
- Price, P. S. 2023. The hazard index at thirty-seven: New science new insights. In *Current Opinion in Toxicology* [online], vol. 34, p. 100388 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2023.100388>.
- Ronda, O., Grządka, E., Ostolska, I., Orzeł, J., Cieślík, B. M. 2022. Accumulation of radioisotopes and heavy metals in selected species of mushrooms. In *Food Chemistry* [online], vol. 367, p. 130670 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130670>.
- Rzymiski, P., Młeczek, M., Siwulski, M., Gąsecka, M., Niedzielski, P. 2016. The risk of high mercury accumulation in edible mushrooms cultivated on contaminated substrates. In *Journal of Food Composition and Analysis* [online], vol. 51, p. 55–60 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.06.009>.

- Sarigiannis, D. A., Hansen, U. 2012. Zohľadnenie kumulatívneho rizika zmesí chemikálií – Výzva pre tvorcov politík. In *Environmental Health* [online], vol. 11, p. S18 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-S1-S18>.
- Širić, I., Kumar, P., Adelodun, B., Abou Fayssal, S., Bachheti, R. K., Bachheti, A., Ajibade, F. O., Kumar, V., Taher, M. A., Eid, E. M. 2022. Risk assessment of heavy metals occurrence in two wild edible oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) collected from Rajaji National Park. In *Journal of Fungi* [online], vol. 8, no. 10, p. 1007 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/jof8101007>.
- Šnirc, M., Jančo, I., Hauptvogel, M., Jakabová, S., Demková, L., Árvay, J. 2023. Risk assessment of the wild edible leccinum mushrooms consumption according to the total mercury content. In *Journal of Fungi* [online], vol. 9, no. 3, p. 287 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/jof9030287>.
- Strauss, D., Ghosh, S., Murray, Z., Gryzenhout, M. 2023. Global species diversity and distribution of the psychedelic fungal genus *Panaeolus*. In *Heliyon* [online], vol. 9, no. 6 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16338>.
- Strumińska-Parulska, D., Falandysz, J., Moniakowska, A. 2021. Beta-emitting radionuclides in wild mushrooms and potential radiotoxicity for their consumers. In *Trends in Food Science & Technology* [online], vol. 114, p. 672–683 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.015>.
- Tugcan, M. O., Akpınar, A. A. 2025. Mushroom poisoning: An updated review. In *Turkish Journal of Emergency Medicine* [online], vol. 25, no. 1, p. 10–16 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: https://doi.org/10.4103/tjem.tjem_129_24.
- Wiegand, T. J., Peredy, T. R. 2024. Mushrooms, coprine. In Wexler, P. (Ed.), *Encyclopaedia of Toxicology* [online], 4th ed., p. 545–547 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00852-6>.
- Zhang, Y., Barańkiewicz, D., Wang, Y., Falandysz, J., Cai, C. 2020. Arsenic and arsenic speciation in mushrooms from China: A review. In *Chemosphere* [online], vol. 246, p. 125685 [cit. 2025-06-30]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125685>.

Kontaktná adresa autora:

Silvia Jakabová, PaedDr., PhD., Ústav potravinárstva, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 94976 Nitra.

EFFECTS OF DIFFERENT PRESERVATION METHODS ON MINERAL COMPOSITION IN *CANTHARELLUS CIBARIUS*

VPLYV KONZERVAČNÝCH TECHNÍK NA MINERÁLNE ZLOŽENIE V *CANTHARELLUS CIBARIUS*

Ivona Jančo, Marek Šnirc, Július Árvay

Abstract: Edible mushrooms are increasingly recognized for their health-promoting properties, attributed to their rich content of bioactive compounds and essential nutrients. Preservation techniques, such as freezing, blanching, and pickling significantly influence the mineral composition and bioavailability of these compounds. For instance, freezing and blanching can reduce concentrations of risk elements like cadmium (Cd), mercury (Hg), and lead (Pb), while also affecting essential minerals like copper (Cu) and zinc (Zn). Pickling in acetic acid has been shown to decrease mercury levels, though it may also reduce concentrations of essential elements. Understanding the impact of various preservation and cooking techniques on the nutritional quality of mushrooms is crucial for maximizing their health benefits.

Keywords: mushrooms, minerals, food preservation

Introduction

Mushrooms, such as *Cantharellus cibarius*, are valued for their nutritional benefits, including essential minerals like copper (Cu) and zinc (Zn), as well as their potential health-promoting properties. However, they can also accumulate potentially harmful elements like cadmium (Cd), mercury (Hg), and lead (Pb), which pose health risks when consumed in excessive amounts. Therefore, understanding how different culinary processing methods affect the mineral content of mushrooms is crucial for assessing their safety and nutritional value.

This study investigates the impact of various cooking treatments - freezing, blanching, and pickling in acetic acid - on the concentrations of Cd, Hg, Pb, Cu, and Zn in *C. cibarius*. By evaluating the changes in mineral content through these processing methods, the research aims to provide insights into how culinary practices can influence the nutritional profile and safety of mushrooms for human consumption.

Literature review

Mushrooms are heterotrophic organisms whose bodies are made of hyphae, forming fruiting bodies with various shapes and sizes depending on the species (Bernaś et al., 2006). They play an important role in human nutrition due to their high content of digestible proteins, essential amino acids, carbohydrates, fibers, vitamins, and minerals (Wang et al., 2014; Grangeia et al., 2011). Besides their nutritional value, mushrooms are prized for their unique aroma and flavor and are used in traditional fermented foods worldwide (Kalač, 2009).

Wild mushrooms efficiently bioaccumulate essential trace elements like copper, zinc, and selenium, which are vital for enzyme functions, growth, and antioxidant activities in humans and plants (Li et al., 2020; Marino et al., 2020). However, their ability to absorb minerals from the soil also makes them susceptible to accumulating toxic risk elements such as cadmium, lead, and mercury, especially in polluted environments (Kalač, 2019; Gadd et al., 2017). The concentration of elements in mushrooms depends on factors such as species, substrate composition, soil pH, and pollution level (Širić et al., 2016; Wang et al., 2015). These risk

elements pose serious health risks due to their toxicity and persistence (Castanho et al., 2021; Mendelsohn et al., 2014).

Information on changes in the mineral composition of mushrooms during various preservation and cooking treatments has been very limited. Several compounds binding various elements to poorly digestible complexes are well-known in foods of plant origin. Among them, phytic acid plays a large role due to its being a polyvalent compound binding particularly bi- and trivalent metal cations to poorly soluble salts, phytates. At neutral pH value its ability to bind metals decreases in the order: Cu>Zn>Ni>Co>Mn>Fe>Ca. Although a lot of information is available in the literature on bioactive components of edible mushrooms as well as their health benefits, information on techniques for extraction of bioactives from edible mushrooms as well as the processing aspects of edible mushrooms is scanty in literature (Kumar and Sharma, 2021; Kalač, 2019).

Materials and Methods

The samples of *Cantharellus cibarius* were preserved using three different methods – freezing, blanching followed by freezing, and pickling in acetic acid. These samples were then stored for five months and analyzed monthly to assess how the preservation technique and storage duration affected the content of selected mineral elements.

Preservation techniques

Blanching: Mushroom pieces were boiled for 5 minutes in water containing 1 teaspoon each of citric acid and salt, then cooled in ice water for 1 minute, drained, weighed, and frozen at -20°C.

Freezing: Washed and cut mushrooms were packed in polyethylene bags and froze at -20°C.

Pickling: Mushrooms were washed, cut, and placed in glass jars with a vinegar-water solution (1:3). Samples were sterilized at 90°C for 20 minutes using a water bath, cooled to room temperature, and stored.

Sample preparation for analysis

Each sample (frozen, blanched, and preserved) was freeze-dried separately using the ALPHA 2-4 LSC PLUS freeze dryer (Christ, Sigma GmbH, Germany). The process involved an initial drying phase at -30°C for 10 hours under a vacuum of 0.10 mbar, followed by a secondary drying phase at 35 °C for 18 hours under a vacuum of 0.01 mbar. After freeze-drying, the samples were ground into a fine powder.

Determination of total mercury content

Total mercury was measured using Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry (CV-AAS) with the AMA-254 analyzer (Altec, Prague), requiring no sample pretreatment. Detection limits were 1.5×10^{-6} mg kg⁻¹ DW (LOD) and 4.45×10^{-6} mg kg⁻¹ DW (LOQ). (Šnirc, et al., 2023).

Analysis of element contents

Dried mushroom samples (~0.10 g) were digested in a closed PTFE vessel with 5 ml concentrated nitric acid, 1 ml hydrogen peroxide, and 1 ml deionized water using a microwave system (Ethos One) at 180°C for 45 minutes. Digests were filtered and diluted to 50 ml. Next, in prepared extracts, the element contents (Cd, Cu, Pb, Zn) were determined by ICP-OES (Agilent 720) under standard operating conditions, measuring specific wavelengths for each element with multiple replicates for precision (Árvay et al., 2024).

Potential health risks from consuming *Cantharellus cibarius* were assessed based on PTWI limits of Cd (0.49 mg/week), Hg (0.28 mg/week), and Pb (1.75 mg/week) for a 70 kg individual (JECFA, 2012), and RDA values for Zn (10 mg/day) and Cu (1 mg/day) (Act No. 1169/2011). Concentrations of these elements were converted to fresh weight (Kalač, 2009), and calculations were based on an average mushroom consumption of 0.18 kg/week

(~0.03 kg/day) which were considered in the calculation the exceedance of the %PTWI and %RDA value (Statistical Office of the Slovak Republic (2021).

Health risk assessment

The %PTWI was calculated as follows:

where:

BS - measured concentration of a selected element in the biological sample (mg kg⁻¹ of fresh weight (FW) in mushrooms)

Intake - consumption of the studied mushroom species (kg/week FW)

BW - body weight (70 kg for an adult).

The %RDA was calculated by the relation:

$$RDA (\%) = \frac{\text{element content (FW)} \times 0.03}{RDAx} \times 100$$

where:

RDA (%) – a percentage of the recommended dietary allowance

element content (FW) – the content of the element in mg kg⁻¹ of fresh weight

0.03 – average daily consumption of mushrooms in Slovakia (kg/person/day)

RDAx – the value of recommended dietary allowance of the selected element.

Statistical analysis

All statistical analyses were performed using Jamovi software (2021), R Core Team (2021), Wickham *et al.* (2018), and Patil (2018). To simplify the statistical display, all content data were then processed into graphs. Spearman correlation test was used to determine the relationships (negative or positive) between tested variables, with a significant level of $p < 0.05$. Kruskal-Wallis test with Dunn test pairwise comparisons with adjusted p-value according to Holm was used to determine the significant differences between the tested variables.

Results and Discussion

Each cooking treatment method had a different impact on the element concentrations in *C. cibarius* samples.

The concentrations of cadmium (Cd), mercury (Hg), lead (Pb), copper (Cu), and zinc (Zn) in frozen *Cantharellus cibarius* samples were assessed to evaluate potential health risks. The Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) percentages for Cd ranged from 0.09% to 1.13%, for Hg from 0.07% to 0.42%, and for Pb from non-detectable (ND) to 0.43%. Regarding essential trace elements, the daily intake of Cu was between ND and 11.4%, while Zn ranged from ND to 3.30%. Spearman's correlation analysis (Figure 1) revealed a strong positive correlation between Cd and Cu, and between Zn and Cu, indicating synergistic relationships between these elements. No significant correlation was observed between Cd and Zn.

Blanched *Cantharellus cibarius* samples exhibited varying concentrations of risk and essential elements. Cadmium (Cd) levels ranged from 0.32% to 1.25% of the PTWI, while mercury (Hg) ranged from 0.08% to 0.53%, and lead (Pb) from ND to 3.36%. For essential elements, copper (Cu) intake ranged from 8.46% to 10.9% of the Recommended Daily Allowance (RDA), and zinc (Zn) from 1.03% to 4.76%. Spearman's correlation analysis (Figure 2) revealed strong positive correlations between Cd and Cu, Zn and Cu, and a moderate correlation between Cd and Zn, indicating synergistic interactions among these elements. Notably, during storage, Cd concentrations increased over time, suggesting that heat treatment (100 °C for 5 min) may

influence Cd retention in mushrooms. These findings underscore the importance of processing methods in modulating the mineral content of edible mushrooms.

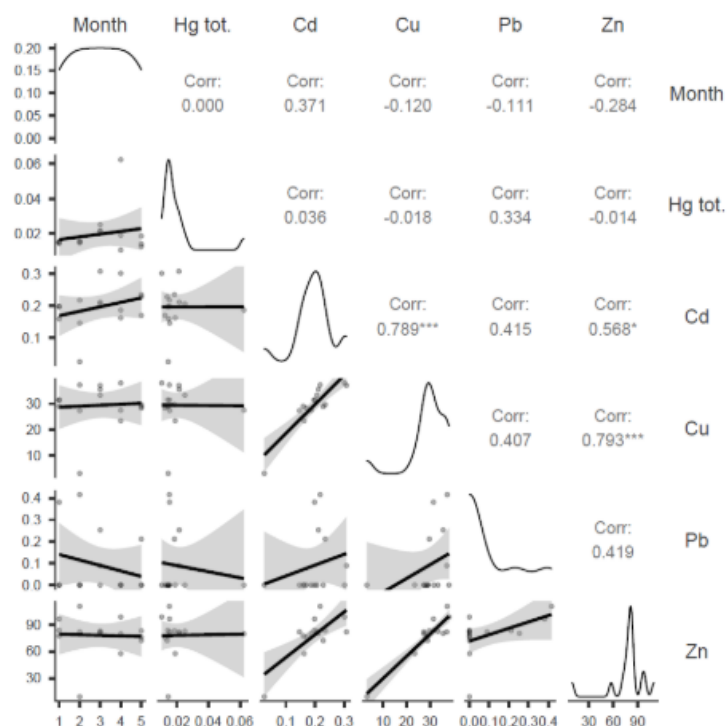


Figure 1. Spearman's correlation coefficient between element concentrations in frozen mushroom samples (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

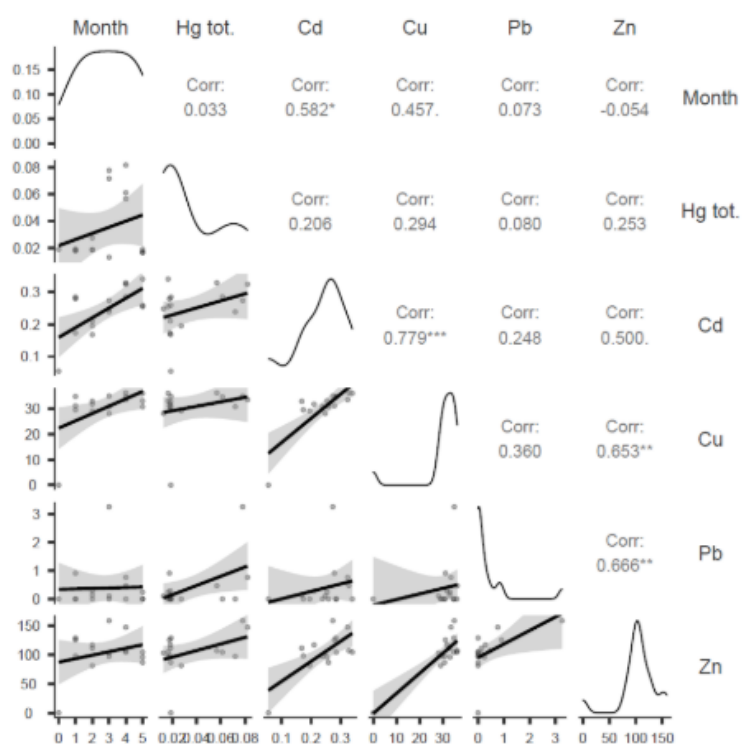


Figure 2. Spearman's correlation coefficient between element concentrations in blanched mushroom samples (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Chen et al. (2018) investigated the effects of freeze-drying on the speciation of cadmium, chromium, and lead in *L. edodes*. They separated six fractions (water-soluble, exchangeable, bound to carbonates, bound to iron and manganese oxides, bound to organic matter, and residual) using Tessier's sequential extraction procedure. Cadmium was present mainly as exchangeable after freeze-drying. On the other hand, lead occurred mainly in the organic fraction in fresh mushrooms and residual ones (freeze-dried). Coşkuner and Özdemir (2000) blanched *A. bisporus* in a bath containing table salt, citric acid and ethylene diamine tetraacetic acid at 95-100 °C for 15 min. Blanching (for table salt and citric acid) did not significantly affect the contents of four elements (Mn, Fe, Zn and Cu). However, a considerable decrease in copper and iron was observed during the blanching in the solution of ethylene diamine tetraacetic acid at a concentration of 0.50 to 8.00 g l⁻¹. Drewnowska et al. (2017) investigated the changes in the content of 17 trace elements in fresh caps of *Amanita fulva* because of blanching in boiling water for 15 min and pickling in a vinegar solution at room temperature for 30 days. From 17 monitored trace elements, blanching highly decreased the level of As, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, and Tl (57%-86%), and less of Ba, Cr, U, and Zn (24%-40%).

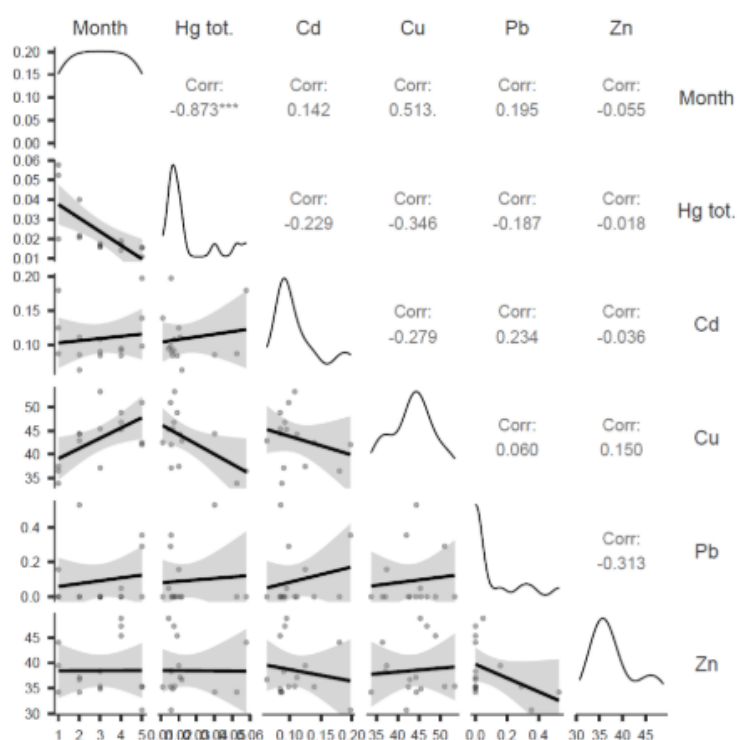


Figure 3. Spearman's correlation coefficient between element contents and pickled mushroom samples in acetic acid (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Pickled *Cantharellus cibarius* samples in acetic acid showed PTWI values for cadmium (Cd) ranging from ND to 0.73%, mercury (Hg) from 0.07% to 0.37%, and lead (Pb) from ND to 0.54%. Copper (Cu) daily intake ranged from ND to 16.0%, and zinc (Zn) from ND to 1.46%. All concentrations of both risk elements (Cd, Hg, Pb) and essential elements (Cu, Zn) were below PTWI and RDA limits, indicating the mushrooms are safe for consumption. Spearman's correlation analysis (Figure 3) showed relationships between the elements, but no significant correlations or differences were observed overall. Mercury concentrations notably decreased during storage, likely due to the effects of acetic acid and heat treatment (90 °C for 20 min.), which positively impacted mercury reduction, a key risk element.

Some researchers found out that blanching of fresh sliced *C. cibarius* resulted in a mercury decrease by about 15% of the initial content, while shrinkage up to 35% was observed in deep-frozen slices. Following pickling of blanched slices in a diluted vinegar marinade for 30 days had only a low, if any, effect on the additional removal of mercury (Falandysz and Drewnowska, 2017). Furthermore, Drewnowska et al. (2017) compared pickled mushrooms to fresh ones. They detected a very high reduction (80-99%) of As, Cd, Mn, Pb, Rb, Tl, and Zn, a high decrease (56-72%) of Co, Cu, and Ni, whereas Ba and Cr decreased at a smaller rate (7.50-14.0%). According to their findings, they deduced that both mushroom blanching and pickling can effectively decrease the levels of analyzed trace elements, but, at the same time, deprive the meal of a proportion of the essential elements.

Also, in a study by Svoboda (2002), it was noted that because of boiling under reflux of sliced fruiting bodies of *I. badia* for 15 to 60 min, the rate of Cd leaching was higher from the frozen (58%) and the fresh mushrooms (36%), while the time of boiling was without impact. It was found that deep freezing, thawing, slicing, drying, re-soaking or drying-grinding-macerating, as well as acidification or the presence of chelating agents, increase the leaching of Mn, Fe, Zn and Cu from blanched champignon *A. bisporus*, while there is a deficit of the data for Cd (Drewnowska et al., 2017). However, another study (Falandysz and Drewnowska, 2017) pointed out that concerning cadmium, pickling of blanched *C. cibarius* with a diluted vinegar marinade had only a minor effect on the removal of accumulated mercury and was without effect on blanched caps of *A. fulva*. It is known that cadmium, like mercury, is a chalcophile (sulfur seeker) element. The differences between cadmium and mercury removal can probably be explained due to the difference in chemical forms observed between both elements in the mushroom fruiting bodies.

Mercury, which is often well accumulated by mushrooms, can form in their flesh hardly soluble inorganic compounds (HgSe, HgS) and metalorganic complexes with relatively firm or very firm bonds with sulphhydryl groups (–SH) in macromolecules (proteins), which can be degraded and leached by boiling water. Hence, in practice, using boiling water on mushrooms (blanching) before future culinary use is a simple procedure recommended for the reduction of Hg contamination in wild-growing and cultivated mushrooms (Vogel-Mikus et al., 2016).

For fresh *C. cibarius* sample, PTWI_{Cd} ranged from 0.73 to 1.00%, PTWI_{Hg} from 0.09 to 0.10%, PTWI_{Pb} ND to 0.23%, RDA_{Cu} from 7.95 to 9.47% and RDA_{Zn} from 2.17 to 2.50%. After comparing the health risk arising from the fresh mushroom sample and cooking treatments (freezing, blanching, and pickling in acetic acid), we notice that risk element concentrations decreased while essential elements increased. Based on this, heat treatment has shown to be a potential way of decreasing some of the risk elements concentrations in mushrooms, although, it is necessary to investigate more the individual heat treatments and their effects on the synergisms between the elements (how they affect each other).

Information on changes in mineral composition of mushrooms using different cooking techniques has been very limited. Results showed that the contents of both risk elements (Cd, Hg and Pb) and essential elements (Cu and Zn), in all analyzed frozen, blanched and pickled mushroom samples were not above the PTWI and RDA limits. From the obtained results and available data, it can be stated that the blanching and pickling of mushrooms can effectively decrease the levels of mercury (and others), but, on the other hand, also provide the meal from a proportion of the essential elements. This was also confirmed by other researchers (Drewnowska et al. 2017; Falandysz and Drewnowska, 2017; Coşkuner and Özdemir, 2000). Hence, regardless of contamination with selected risk elements, the content of these elements in *C. cibarius* and probably also in other mushrooms can be decreased after processing (e.g. blanching and pickling), and it can highly reduce its impact on the health of a consumer.

Conclusion

Freezing, blanching, and pickling of *C. cibarius* mushrooms significantly influence their mineral content. These processes effectively reduce harmful elements like cadmium, mercury, and lead, with blanching and pickling showing notable mercury reduction. However, they may also lower some essential elements such as copper and zinc. Despite this, all treated mushroom samples remained within safe consumption limits (PTWI and RDA). These findings suggest that employing appropriate conservation methods and controlled storage conditions can effectively reduce the levels of undesirable elements in mushrooms while preserving their nutritional value. Therefore, blanching and pickling are recommended as practical methods to decrease toxic element concentrations and mitigate health risks associated with mushroom consumption.

Acknowledgments

This publication was supported by grant number 01-GA-SPU-2024 "Support of innovations in the food industry through the "Food Incubator", and by the Operational Program Integrated Infrastructure within the project: Demand-driven Research for the Sustainable and Innovative Food, Drive4SIFood 313011V336, cofinanced by the European Regional Development Fund.

References

- Árvay, J., Hauptvogel, M., Demková, L., Jančo, I., Jakabová, S., & Mleczek, M. (2024). GIS-based visualization of elemental distribution in *Neoboletus luridiformis* fruiting body. In *Biological Trace Element Research*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12011-024-04320-3>
- Bernaś, E. - Jaworska, G. 2016. Vitamins profile as an indicator of the quality of frozen *Agaricus bisporus* mushrooms. In *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 1-8. ISSN: 0889-1575. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1350973>
- Castanho, N. R., De Oliveira, R. A., Batista, B. L., Freire, B. M., Lange, C., Lopes, A. M., Grotto, D. 2021. Comparative study on lead and copper biosorption using three bioproducts from edible mushrooms residues. In *Journal of Fungi*, 7(6), 441. ISSN: 2309-608X. <https://doi.org/10.3390/jof7060441>
- Chen, S., Yuan, B., Xu, J., Chen, G., Hu, Q., & Zhao, L. (2018). Simultaneous separation and determination of six arsenic species in Shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms: method development and applications. In *Food Chemistry*, 262, 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.036>
- Coşkun, Y., Özdemir, Y. 2000. Acid and EDTA blanching effects on the essential element content of mushrooms (*Agaricus bisporus*). In *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 20742076. ISSN: 1097-0010. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200011\)80:14%3C2074::aid-jsfa746%3E3.0.co;2-i](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200011)80:14%3C2074::aid-jsfa746%3E3.0.co;2-i)
- Drewnowska, M. - Falandysz, J. - Chudzińska, M. - Han'C, A. - Saba, M. - Barańkiewicz, D. 2017. Leaching of arsenic and sixteen metallic elements from *Amanita fulva* mushrooms after food processing. LWT. In *Food Science and Technology*, 84, 861866. ISSN: 1678-457X. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.066>
- Falandysz, J., Drewnowska, M. 2017. Cooking can decrease mercury contamination of a mushroom meal: *Cantharellus cibarius* and *Amanita fulva*. In *Environmental Science and Pollution Research*, 24(15), 13352-13357. ISSN:1614-7499. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8933-5>
- Gadd, G. M. 2017. New horizons in geomycology. In *Environ Microbiol Rep*, 9, 4-7. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12480>
- Grangeia, C., Heleno, S. A., Barros, L., Martins, A., Ferreira, I. C. 2011. Effects of trophism on nutritional and nutraceutical potential of wild edible mushrooms. In *Food Research International*, 44(4), 1029-1035. ISSN: 0963-9969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.006>
- JECFA 2012. Safety evaluation of certain food additives and contaminants: prepared by the Seventy fourth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). World Health Organization. Available at: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44813/9789241660655_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kalač, P. 2009. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. In *Food chemistry*, 113(1), 9-16. ISSN: 0308-8146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.077>
- Kalač, P. 2019. Mineral composition and radioactivity of edible mushrooms. In *Academic Press*. 392 p. ISBN 978-0-12-817565-1. <https://doi.org/10.1016/c2018-0-02278-1>
- Kumar, S., Sharma, A. 2019. Cadmium toxicity: effects on human reproduction and fertility. In *Reviews on environmental health*, 34(4), 327-338. ISSN: 2191-0308. <https://doi.org/10.1515/revch-2019-0016>

Li, J., Lens, P. N. , Otero-Gonzalez, L., Du Laing, G. 2020. Production of selenium-and zinc-enriched Lemna and Azolla as potential micronutrient-enriched bioproducts. In *Water Research*, 172, 115522. ISSN: 0043-1354. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115522>

Marino, L. V., Valla, F. V., Beattie, R. M., Verbruggen, S. C. A. T. 2020. Micronutrient status during paediatric critical illness: a scoping review. In *Clinical Nutrition*, 39(12), 3571-3593. ISSN: 0261-5614

Mendelsohn, J., Howley, P. M., Israel, M. A., Gray, J. W., Thompson, C. B. 2014. The Molecular Basis of Cancer E-Book. In *Elsevier Health Sciences*, 4th ed. ISBN: 978-1-45-574066-6. <https://doi.org/10.1016/b978-1-4557-4066-6.05001-0>

Patil, I. 2018. ggstatsplot: 'ggplot2' Based Plots with Statistical Details. [R package]. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=ggstatsplot>.

R Core Team 2021. R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.0) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2021-04-01)

Širić, I., Humar, M., Kasap, A., Kos, I., Mioč, B., Pohleven, F. 2016. Heavy metal bioaccumulation by wild edible saprophytic and ectomycorrhizal mushrooms. In *Environmental science and pollution research*, 23(18), 18239-18252. ISSN: 1614-7499. <https://doi.org/10.5513/jcea01/17.3.1787>

Šnirc, M., Jančo, I., Hauptvogel, M., Jakabová, S., Demková, L., & Árvay, J. (2023). Risk assessment of the wild edible leccinum mushrooms consumption according to the total mercury content. In *Journal of Fungi*, 9(3), 287. <https://doi.org/10.3390/jof9030287>

Statistical Office Of The Slovak Republic. 2021. Food consumption in the Slovak Republic in 2021. Available at: <https://www.statistics.sk/>

Svoboda, L. (2002). Leaching of cadmium, lead and mercury from fresh and differently preserved edible mushroom, *Xerocomus badius*, during soaking and boiling. In *Food chemistry*, 79(1), 41-45. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00175-9](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00175-9)

The jamovi project (2021). Jamovi (Version 2.2). [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

Vogel-Mikus, K., Debeljak, M., Kavčič, A., Murn, T., Arčon, I., Kodre, A., Van Elteren, J.T., Budič, B., Kump, P., Mikuš, K., Migliori, A., Czyżycki, M., Karydas, A. 2016 Localization and bioavailability of mercury and selenium in edible mushrooms *Boletus edulis* and *Scutiger pes caprae*. Abstract book of the 18th international conference on heavy metals in the environment, 12 to 15 September 2016, Ghent, Belgium, pp 611-612.

Wang, X. M., Zhang, J., Li, T., Wang, Y. Z., Liu, H. G. 2015. Content and bioaccumulation of nine mineral elements in ten mushroom species of the genus *Boletus*. In *Journal of analytical methods in chemistry*, ISSN: 2090-8873. <https://doi.org/10.1155/2015/165412>

Wang, X. M., Zhang, J., Wu, L. H., Zhao, Y. L., Li, T., Li, J. Q., Liu, H. G. 2014. A mini-review of chemical composition and nutritional value of edible wild-grown mushroom from China. In *Food chemistry*, 151, 279-285. ISSN: 0308-8146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.062>

Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K. - RStudio 2018. ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics. [R package]. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2>

Contact address:

Ing. Ivona Jančo, PhD., AgroBioTech Research Centre, Slovak University of Agriculture in Nitra, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia, e-mail: ivona.janco@uniag.sk
 Marek Šnirc, Július Árvay, Institute of Food Sciences, Slovak University of Agriculture in Nitra, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia

PRÍTOMNOSŤ AFLATOXÍNU M₁ V MLIEKU A METÓDY JEHO ZNIŽOVANIA

PRESENCE OF AFLATOXIN M₁ IN MILK AND METHODS FOR ITS REMOVAL

Lukáš Kolarič, Peter Šimko

Abstract: Aflatoxins are toxic metabolites of *Aspergillus spp.* fungi, while aflatoxin M₁ (AFM₁) can be presented in milk and dairy products. The European Union regulation limited the maximum tolerable residue level of AFM₁ in raw milk and thermally treated milk for 0.050 µg/kg and 0.025 µg/kg for infants' foods. The aim of this study was to evaluate the risk of AFM₁ contamination in several milk and dairy samples obtained on the Slovak market and describe the possible methods for its removal from these materials. It was noticed that only 5 raw milk samples out of 40 were positive on AFM₁ content, while only 1 sample exceeded the EU limit.

Keywords: aflatoxin M₁, β-cyclodextrin, food safety, HPLC, milk

Úvod

Kontaminácia potravín chemickými, mikrobiologickými a fyzikálnymi kontaminantmi predstavuje významný celosvetový problém, ktorý sa priamo dotýka bezpečnosti potravín a verejného zdravia. Medzi najviac sledované chemické kontaminanty patria mykotoxíny, ktoré sú toxickými sekundárnymi metabolitmi produkovanými mikroskopickými vláknitými hubami patriacimi najmä do rodov *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* a *Alternaria* (Okechukwu a kol., 2024). Z mykotoxínov sú osobitne nebezpečné aflatoxíny (AF), predovšetkým aflatoxín B₁ (AFB₁), ktorý je považovaný za jeden z najsilnejších prírodných hepatokarcinogénov. Po konzumácii krmiva kontaminovaného AFB₁ u dojnic dochádza k jeho metabolizácii v pečeni na AFM₁, ktorý sa následne vylučuje do mlieka (Kolarič a kol., 2024). AFM₁ síce vykazuje len približne 10 % karcinogenity AFB₁, no stále ide o látku s významnými genotoxickými účinkami (Iqbal a kol., 2015). Z tohto dôvodu sa jeho výskyt v mlieku prísne legislatívne kontroluje, pričom v Európskej únii (EÚ) je limit 0,050 µg/kg pre surové mlieko, tepelne ošetrované mlieko a mlieko na výrobu mliečnych výrobkov a 0,025 µg/kg pre dojčenskú výživu a potraviny na osobitné lekárske účely určené pre dojčatá a malé deti (Európska komisia, 2023). Obavy z prítomnosti AFM₁ v mlieku sú vážne najmä kvôli vysokej toxicite pri nízkych koncentráciách, súvislosti s rakovinou pečene a obličiek a tepelnej stabilite pri pasterizácii či sterilizácii.

Najnovšie hodnotenie rizík aflatoxínov v potravinách, ktoré zverejnil panel Európskeho úradu pre bezpečnosť a bezpečnosť potravín (EFSA) (EFSA CONTAM Panel, 2020), popisuje, že obilniny a výrobky na báze obilnín najviac prispeli k expozícii AFB₁, zatiaľ čo tekuté mlieko a fermentované mliečne výrobky boli hlavnými komoditami priemernej expozície AFM₁. V mlieku sa AFM₁ silne viaže na kazeín, takže vyššie hladiny AFM₁ možno očakávať v mliečnych výrobkoch s vysokým obsahom bielkovín, ako je syr (Silva a kol., 2023). Ku kontaminácii aflatoxínmi dochádza najmä po zbere a pri nevhodnom riadení prepravy a skladovania, napríklad pri vysokej vlhkosti (>65 %) a teplotách (Azam a kol., 2021). V minulosti boli kontaminácie s aflatoxínmi hlavne problémom tropických a subtropických oblastí sveta. Do roku 2004 sa kontaminácia aflatoxínmi v EÚ obmedzovala len na dovážané potraviny. Za posledných 15 rokov však niekoľko horúcich a suchých období viedlo k závažným infekciám kukurice s *Aspergillus flavus* vo viacerých krajinách Európy vrátane

Talianska, Rumunská, Srbska a Španielska. Pokiaľ ide o nedávne problémy so zmenou klímy, v scenári +2 °C existuje zvýšená pravdepodobnosť rizika aflatoxínov v mnohých oblastiach v celej Európe (Moretti a kol., 2019).

Najpoužívanejšími metódami na analýzu AFM₁ sú kvapalinová chromatografia (LC) kombinovaná s fluorescenčnou detekciou (FLD) alebo enzýmové imunosorbentné testy (ELISA) (EFSA CONTAM Panel, 2020). Vo všeobecnosti sa chromatografické metódy používajú hlavne na potvrdenie výsledkov získaných z rýchlych skriningových testov alebo na presné kvantitatívne stanovenie obsahu aflatoxínov. Imunochemické metódy sa používajú na rýchly skrining aflatoxínov v rôznych matriciach vzoriek (Bellio a kol., 2016). Referenčnou metódou a v súčasnosti najpoužívanejšou metódou na kvalitatívne a kvantitatívne stanovenie obsahu AFM₁ v mlieku je vysokoúčinná kvapalinová chromatografia (HPLC) s detekciou FLD pomocou prípadnej postkolónovej derivatizácie (Maggira a kol., 2021).

Jedným z najefektívnejších spôsobov ako znížiť akumuláciu AFM₁ v mlieku a v mliečnych výrobkoch je zlepšiť poľnohospodárske postupy a podmienky skladovania krmív určených pre laktujúce zvieratá. Tieto postupy sú dôležité na zníženie koncentrácií AFM₁ v mlieku, ale neodstránia ho úplne. Vzhľadom k tomu, že kontaminácia potravín AFM₁ predstavuje hrozbu pre ľudské zdravie, bolo uskutočnených mnoho štúdií, ktorých cieľom bolo nájsť účinné metódy na zníženie koncentrácie tohto toxínu v mlieku. V súčasnosti sa na detoxikáciu mlieka a mliečnych výrobkov využívajú fyzikálne, chemické, fyzikálnochemické metódy, alebo biologická degradácia (de Oliveira a Corassin, 2014; Masrhall a kol., 2020). Medzi najviac ekologické účinné metódy znižovania AFM₁ patrí biodegradácia pomocou enzýmov mikrobov, alebo jeho adsorpcia na vhodný druh baktérií alebo kvasiniek (de Oliveira a kol., 2021). Veľmi efektívne a účinné sa javia tiež metódy založené na adsorpcii na rôzne materiály, napr. aktívne uhlie, bentonit, zeolit a hydratovaný hlinitokremičitan vápenato sodný (Giovati a kol., 2015). Jednou z možností na odstránenie nežiaducich alebo kontaminujúcich zložiek z potravín je tiež aplikácia rôznych foriem cyklodextrínov (CD). CD sú oligosacharidy tvorené α -(1,4) glukózovými jednotkami v tvare zrezaného kužeľa s vonkajšou hydrofilnou a vnútornou lipofilnou časťou. Vďaka ich amfifilnej povahe sú schopné enkapsulovať do svojej dutiny nežiadúce látky a vytvárať tzv. „inklúzne komplexy“ (Astray a kol., 2009).

Cieľom tejto práce je teda poukázať na riziko kontaminácie mliečnych výrobkoch s AFM₁ na slovenskom trhu a popísať vhodné metódy znižovania jeho koncentrácie.

Materiál a metodika

Vzorky pre stanovenie obsahu AFM₁ sa získavali v období rokov 2023 – 2025 z rôznych fariem, podnikových predajní a obchodov na území Slovenska. Jednalo sa najmä o vzorky surového kravského mlieka (počet 40) a syrov (počet 36). Analytický štandardný roztok AFM₁ v acetonitrile (0,5 µg/ml) bol získaný zo spoločnosti Sigma-Aldrich (USA) s čistotou $\geq 99,9$ %. Acetonitril a metanol boli HPLC a boli zakúpené od spoločností Fisher Chemical (Veľká Británia) a Lab-Scan Analytical Sciences (Poľsko). β -CD a β -CD nerozpustný guľôčkový polymér (BBP) boli získané od Cyclolab R&D Laboratory Ltd. (Maďarsko). Príprava sieťovaného β -CD s kyselinou adipovou resp. vínou prebiehala podľa postupu od Han a kol. (2007). Do kadičky sa navážilo 50 g práškoveho natívneho β -CD a pridalo sa 40 ml destilovanej vody. Po 2 hodinách miešania sa k zmesi pridalo 2,5 g kyseliny adipovej resp. vínnej a s vodným roztokom NaOH ($c = 1$ mol/l) sa upravilo pH na 10. Po úprave pH sa zmes 1,5 h miešala a potom sa pomocou 5 % kyseliny octovej upravilo pH na 5. Takto pripravená zmes sa prefiltrovala cez filtračný papier, zrazenina sa trikrát premyla s destilovanou vodou a sieťovaný polymér sa vysušil pri 60 °C a relatívnej vlhkosti 10 %.

Stanovenie obsahu AFM₁ v mliečnych vzorkách sa uskutočňovalo podľa skôr publikovaných postupov a bolo realizované validovanou metódou HPLC-FLD (Kolarič a Šimko, 2023; Kolaric et al., 2025). Separácia analytu prebiehala na zariadení HPLC 1260 Infinity (Agilent

Technologies, Nemecko) s fluorescenčným detektorom (FLD). Ako separačná kolóna bola použitá kolóna so stacionárnou fázou typu C18 ($2,1 \times 150$ mm, veľkosť častíc $5,0 \mu\text{m}$) spolu s ochrannou predkolónou Zorbax SB-C18 ($4,6 \times 12,5$ mm, veľkosť častíc $5,0 \mu\text{m}$). Mobilná fáza bola zložená z vody a acetonitrilu v objemovom pomere 80:20. Objemový prietok bol počas analýzy nastavený na $0,7 \text{ ml/min}$ a celkový čas jednej analýzy bol 7 minút. Každá vzorka sa nastrekla do HPLC systému trikrát. Detekcia AFM₁ prebiehala pomocou FLD pri excitačnej vlnovej dĺžke 360 nm a emisnej vlnovej dĺžke 440 nm .

Na odstraňovanie AFM₁ z mlieka sa použil natívny β -CD, BBP a β -CD zosieťovaný pomocou kyseliny adipovej. Najprv sa pripravil roztok mlieka s koncentráciou AFM₁ $0,5 \text{ ng/ml}$. Následne sa pridal daný typ CD a vzorky sa nechali miešať na magnetickom miešadle 40 min s rýchlosťou otáčok 1000 rpm pri teplote prostredia. Následne sa roztok mlieka preliel do centrifugačných skúmaviek a odstredoval sa pri otáčkach 1020 g počas 15 min. Po odstredení sa oddelil nerozpustný komplex CD s AFM₁ od zvyšného roztoku (Abdelnaby a kol., 2022). Štatistické vyhodnotenie bolo vykonané pomocou programu Microsoft Excel 365 (verzia 2012). Všetky výsledky sú vyjadrené ako priemerná hodnota $\pm$ smerodajná odchýlka alebo v percentách a zopakovali sa najmenej dvakrát. Údaje podrobené jednosmernej analýze rozptylu (ANOVA) sa považovali za významne odlišné pri $p < 0,05$.

Výsledky a diskusia

Množstvo AFM₁, ktoré sa nachádza v mlieku, závisí od rôznych faktorov, ako je plemeno zvierat, obdobie laktácie, infekcie mliečnych žliaz, atď. Úroveň kontaminácie AFM₁ sa ďalej líši v horúcich a studených ročných obdobiach v dôsledku skutočnosti, že tráva, pasienky, burina a iné prírodné krmivá sa vyskytujú častejšie na jar a v lete ako v zime. Na konci leta konzumuje hovädzí dobytok viac trávy a zelene ako koncentrovaného krmiva, tým sa znižuje koncentrácia AFB₁ v krmive a rovnako dochádza k zníženiu hladiny AFM₁ v mlieku. Po prenesení AFM₁ do surového mlieka je menej pravdepodobné, že sa jeho koncentrácia zníži rutinnými tepelnými spracovaniami, ako sú pasterizácia, sterilizácia, UHT, alebo iným tepelným spracovaním (odparenie, sušenie), z dôvodu jeho vysokej termostability (Muaz a kol., 2022). Existuje množstvo štúdií, ktoré sa zaoberajú meraním hladín AFM₁ v surovom mlieku a ukazujú rôzne výsledky po celom svete. Min a kol. (2021) analyzovali celosvetový výskyt kontaminácie AFM₁ v surovom mlieku v období rokov 2009 - 2019. Ich výsledky ukázali, že riziko vysokých koncentrácií AFM₁ v surovom mlieku bolo hlásené z rôznych krajín a v mnohých prípadoch prekračovalo maximálny limit $0,5 \mu\text{g/kg}$ určený Správou potravín a liečiv (FDA). Vysoké hladiny AFM₁ boli zistené napríklad v Etiópii ($4,98 \mu\text{g/kg}$), v Indii ($3,80 \mu\text{g/kg}$), v Pakistane ($2,61 \mu\text{g/kg}$), v Sudáne ($2,52 - 6,90 \mu\text{g/kg}$) a v Tanzánii ($2,01 \mu\text{g/kg}$). Vo všeobecnosti možno predpokladať, že variabilita obsahu AFM₁ v mliečnych výrobkoch úzko súvisí s geografickou polohou, úrovňou rozvoja krajiny, ročným obdobím, hospodárstvom a systémami spracovania mlieka (Kolarič a kol., 2024). Podľa Muaz a kol. (2022), prehľad o výskyte AFM₁ v mlieku a mliečnych výrobkoch v rôznych krajinách v rokoch 2016 až 2020 ukázal, že prítomnosť AFM₁ bola zistená vo viac ako 50 % testovaných vzoriek. Vysoký počet kontaminovaných vzoriek bol zaznamenaný najmä v ázijských a afrických krajinách. Žiadna zo štúdií v Európe nepreukázala priemerné hladiny AFM₁ vyššie ako $0,050 \mu\text{g/kg}$ (Muaz a kol., 2022). Niekoľko ďalších štúdií však naznačilo aj kontaminované vzorky mlieka v Európe, ako napríklad Bilandžić a kol. (2022), Jajić a kol. (2019) a Ferrari a kol. (2023) uvádzali 109, 245 a 667 pozitívnych vzoriek surového mlieka v Chorvátsku, Srbsku a Taliansku. V tejto práci sa analyzovalo celkovo 40 vzoriek surového kravského mlieka, ktoré boli získané v období rokov 2023 a 2025 z rôznych fariem, najmä na západnom a východnom Slovensku. Výsledky potvrdili, že úroveň kontaminácie mlieka s AFM₁ nie je zatiaľ na území Slovenska významná. Z celkového počtu vzoriek bolo iba 5 pozitívnych na obsah AFM₁, a to v rozmedzí od $0,013 \mu\text{g/kg}$ do $0,057 \mu\text{g/kg}$ s priemernou hodnotou $0,026 \mu\text{g/kg}$. Jedna vzorka presahovala povolený

limit EÚ 0,050 µg/kg. Naša ďalšia práca sa tiež zamerala na hodnotenie kontaminácie syrov s AFM₁. Pokiaľ ide o distribúciu AFM₁ v mlieku, spája sa s rôznymi zložkami mlieka, najmä s mliečnym sérom a kazeínom, zatiaľ čo tuková frakcia môže obsahovať menšie množstvo (Muaz a kol., 2022). Uvádza sa tiež, že hladina AFM₁ môže byť v syre približne 3 - 5-krát vyššia ako v pôvodnom mlieku kvôli vysokej afinite k hydrofilným častiam kazeínových alebo srvátkových proteínov (Khaneghah a kol., 2021). Podľa systematického prehľadu, ktorý uverejnili Campagnollo a kol. (2016), je miera kontaminácie syra s AFM₁ ovplyvnená mnohými faktormi, ako je druh syra, typ jednotkových operácií, teplota syridla, pH, vystavenie kontaminovaného mlieka svetlu alebo analytickou metódou použitou na kvantifikáciu obsahu AFM₁. V našej štúdii bolo testovaných 36 druhov syrov získaných z rôznych slovenských mliekarní alebo miestnych supermarketov. Z Levíc bolo dodaných 18 vzoriek, väčšina z nich bol syr s ušľachtitou plesňou vyrobený v období január až apríl v roku 2024. Ostatné syry pochádzali z regiónov Liptov, Orava alebo Bánovce nad Bebravou na Slovensku. Boli to vzorky mäkkých čerstvých syrov, tvarohov alebo parených syrov vo forme guľôčok alebo nití. Experimentálne výsledky ukázali, že všetky vzorky boli negatívne na prítomnosť AFM₁ (pod limitom stanovenia (6,0 ng/kg)) (Kolarič a kol., 2025). Montagna a kol. (2008) analyzovali 256 vzoriek syra v južnom Taliansku vyrobeného z mlieka rôznych druhov (kravské, byvolie, kozie, ovčie, kozie) a s rôznym štádiom dozrievania (nezrelé, stredne a dlhodobo vyzreté syry). AFM₁ bol stanovený v 16,6 % analyzovaných vzoriek, pričom najvyšší pozitívny výskyt bol zaznamenaný u stredne a dlhodobo dozrievajúcich vzoriek syrov vyrobených z ovčieho a kozieho mlieka. V roku 2012 Anfossi a kol. (2012) zverejnili jednoročný prieskum o hladinách AFM₁ v syroch zakúpených na talianskom trhu. Analyzovali celkovo 102 vzoriek, ktoré boli rozdelené do štyroch kategórií podľa dozrievania, výroby, výrobných sezón a typu mlieka. Detekovateľné množstvo AFM₁ bolo zaznamenané vo viac ako 83 % vzoriek, väčšina z nich však obsahovala AFM₁ medzi 0,050 a 0,15 µg/kg. Škrbič a kol. (2015) analyzovali 23 vzoriek bieleho a 10 tvrdých syrov zakúpených v srbských supermarketoch počas mája a júna 2013. Výsledky odhalili, že 54 % vzoriek syra bolo pozitívnych na kontamináciu AFM₁, zatiaľ čo v 13 % vzoriek bola hladina AFM₁ stanovená nad limitom 0,25 µg/kg stanoveným niektorými európskymi krajinami pre tolerovateľnú hladinu AFM₁ v syroch. Kontamináciu syra s AFM₁ v Srbsku v rokoch 2019 – 2020 skúmali aj Torović a kol. (2021). Až 70 % všetkých hodnotených vzoriek syrov bolo pozitívnych na prítomnosť AFM₁ (65,2 % mäkkých a 73 % polotvrdých syrov, ale bez štatistického rozdielu). Okrem toho z vyhľadávania v databáze systému RASFF vyplynulo, že v roku 2023 bolo doručené jedno oznámenie o AFM₁ v syrovej nátierke zo Srbska s maximálnym obsahom 0,37 µg/kg (RASFF, 2023).

Vzhľadom k tomu, že kontaminácia potravín s AFM₁ predstavuje hrozbu pre ľudské zdravie, bolo uskutočnených mnoho štúdií, ktorých cieľom bolo nájsť účinné metódy na zníženie koncentrácie tohto toxínu v mlieku. Doteraz objavené detoxikačné metódy sa môžu rozdeliť do štyroch skupín na fyzikálne (aplikácia pulzného svetla, ultrafialového žiarenia, studenej plazmy, atď.), chemické (degradácia s amoniakom, peroxidom vodíka, ozonizáciou, pridaním kyseliny/zásady), biologické (enzymatická degradácia, biotransformácia, odstraňovanie AFM₁ pomocou mikrobiálnych buniek) a fyzikálnochemické (adsorpciou na organické a anorganické sorbenty) (de Oliveira a Corassin, 2014; Kolarič a kol., 2024). V našom systematickom prehľade o aktuálnych metódach eliminácie AFM₁ v mlieku (Kolarič a kol., 2024) sme charakterizovali rozhodujúce kritériá, ktoré ovplyvňujú ich uplatniteľnú implementáciu do mliekarenstva pomocou konceptu SCUFEERS (bezpečnosť, kapacita, univerzálnosť, financie, ekológia, efektívnosť, rýchlosť a selektivita, z ang. *Safety, Capacity, Universality, Finance, Ecology, Efficiency, Rapidity, and Selectivity*). Ako vyplynulo z hodnotenia, najdôležitejšie obmedzenia sú spojené s kritériom bezpečnosti, keď chemické ani biologické postupy nespĺňali legislatívne požiadavky súvisiace s otázkami bezpečnosti potravín. Zásada predbežnej opatrnosti by sa mala zväžiť aj v súvislosti s fyzikálnymi metódami, ktoré môžu vytvárať nové

neznáme zlúčeniny, ktoré môžu potenciálne poškodiť ľudské zdravie. Podľa konceptu SCUFEERS existuje aj nesúlad s inými kritériami, ako je selektivita, kapacita, ekológia a efektívnosť. Preto sa zdá, že fyzikálnochemické postupy majú vo všeobecnosti najvyšší použiteľný potenciál vďaka splneniu kritérií SCUFEERS. Fyzikálno-chemické postupy sú skupinou techník, ktoré využívajú fyzikálne a chemické procesy na odstránenie kontaminantov z potravín a vôd. Tieto techniky možno rozdeliť do štyroch hlavných kategórií: adsorpcia, membránová filtrácia, chemická oxidácia a pokročilé oxidačné procesy. Adsorpcia je jednou z najpoužívanejších metód odstraňovania kontaminantov, ktorá nachádza uplatnenie v mnohých priemyselných procesoch (Wu a kol., 2023). V našej práci sme vykonávali adsorpciu AFM₁ na molekuly rôznych CD. Najunikátnejšou vlastnosťou CD je schopnosť vytvárať inkluzívne komplexy so širokou škálou hostujúcich molekúl vďaka amfifilnej povahe s hydrofilnou vonkajšou časťou (tvorenou hydroxylovými skupinami) a prevažne lipofilnou dutinou (Matencio a kol., 2020). Výsledky odstraňovania AFM₁ zo surového mlieka sú zobrazené v Tab. 1. Doteraz existuje len jeden článok týkajúci sa poklesu koncentrácie AFM₁ v mlieku, ktorý publikovali Šimko a Kolarič (2022), podľa ktorého bol pokles koncentrácie AFM₁ v mlieku medzi 33 až 45 % s priemerom 39,1 % pri použití natívneho β -CD. V tejto sa práci sa sledovala účinnosť aj dvoch ďalších foriem CD, a to laboratórne pripravených sieťovaných β -CD s kyselinou adipovou resp. vínou a nerozpustného BBP. Z výsledkov sa ukázalo, že prídavok 2 % (w/v) BBP do surového mlieka spôsobil zníženie obsahu AFM₁ o 58,6 %, sieťovaného β -CD s kyselinou adipovou o 6,5 %, sieťovaného β -CD s kyselinou vínou o 4,0 % a natívneho β -CD o 22,0 %.

Tab. 1. Aplikácia rôznych foriem CD (2%, w/v) pre znižovanie obsahu AFM₁ v surovom mlieku

Druh β -CD	Počiatočná koncentrácia AFM ₁ [ng/ml]	Konečná koncentrácia AFM ₁ [ng/ml] ¹	% odstránenia AFM ₁ ¹
BBP	0,50	0,21 $\pm$ 0,010	58,6 $\pm$ 1,9*
Natívny	0,50	0,39 $\pm$ 0,002	22,0 $\pm$ 0,3*
β -CD + KA	0,57	0,53 $\pm$ 0,001	6,5 $\pm$ 0,1*
β -CD + KV	0,57	0,55 $\pm$ 0,004	4,0 $\pm$ 0,6*

Pozn.: ¹Výsledky sú vyjadrené ako priemer $\pm$ štandardná odchýlka, *vyjadruje štatisticky významné rozdiely pre $p < 0,05$, $n = 2$; AFM₁ – aflatoxín M₁, β -CD – β -cyklodextrín, BBP – β -CD guľôčkový polymér, KA – kyselina adipová, KV – kyselina vínna

Záver

Mlieko predstavuje jednu z najdôležitejších zložiek ľudskej výživy, a to predovšetkým pre svoj vysoký obsah dôležitých živín, ako sú bielkoviny, vitamíny, minerálne látky a tuky. Celosvetovo patrí medzi základné potraviny konzumované všetkými vekovými skupinami – od dojčiat až po seniorov. Vzhľadom na jeho výživový a zdravotný význam je zabezpečenie jeho kvality a zdravotnej bezchybnosti nevyhnutné z hľadiska ochrany verejného zdravia a potravinovej bezpečnosti. V tejto práci sa analyzovalo niekoľko vzoriek surového mlieka a syrov na prítomnosť AFM₁, ale iba jedna presiahla legislatívny limit EÚ. V experimentoch znižovania AFM₁ sa testovali 4 formy β -CD. Najvyššia účinnosť bola zaznamenaná v surovom

mlieku, čo možno pripísať prítomnosti nehomogenizovaných tukových guľôčok, ktoré môžu napomáhať väzbe toxínu na β -CD. Na účinnosť môže vplývať aj kompetícia s cholesterolom, ktorý má podobnú štruktúru a môže súťažiť s AFM₁ o väzbové miesta v β -CD.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-22-0102.

Literatúra

- Abdelnaby, A., Abdelaleem, N. M., Elshewy, E., Mansour, A. H., Ibrahim, S. 2022. The efficacy of clay bentonite, date pit, and chitosan nanoparticles in the detoxification of aflatoxin M1 and ochratoxin A from milk. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29(14), pp. 20305-20317, Article No. 11356-021-17254-3. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17254-3>
- Anfossi, L., Baggiani, C., Giovannoli, C., D'Arco, G., Passini, C., Giraudi, G. 2012. Occurrence of aflatoxin M1 in Italian cheese: Results of a survey conducted in 2010 and correlation with manufacturing, production season, milking animals, and maturation of cheese, *Food Control*, vol. 25, pp. 125-130. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.10.027>
- Astray, G., Gonzalez-Barreiro, C., Mejuto, J. C., Rial-Otero, R., Simal-Gandara, J. (2009). A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloids*, vol. 23(7), pp. 1631 - 1640. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.01.001>
- Azam, M.S., Ahmed, S., Islam, M.N., Maitra, P., Islam, M.M., Yu, D. 2021. Critical Assessment of Mycotoxins in Beverages and Their Control Measures, *Toxins*, vol. 13, 323. <https://doi.org/10.3390/toxins13050323>
- Bellio, A., Bianchi, D.M., Gramaglia, M., Loria, A., Nucera, D., Gallina, S., Gili, M., Decastelli, L. 2016. Aflatoxin M1 in Cow's Milk: Method Validation for Milk Sampled in Northern Italy, *Toxins* vol. 8, 57. <https://doi.org/10.3390/toxins8030057>
- Bilandžić, N., Varga, I., Varenina, I., Kolanović, B.S., Luburić, Đ.B., Đokić, M., Sedak, M., Cvetnić, L., Cvetnić, Ž. 2022. Seasonal Occurrence of Aflatoxin M1 in Raw Milk during a Five-Year Period in Croatia: Dietary Exposure and Risk Assessment, *Foods*, vol. 11, pp. 1-16. Article no. 1959. <https://doi.org/10.3390/foods11131959>
- Campagnollo, F.B., Ganey, K.C., Khaneghah, A.M., Portela, J.B., Cruz, A.G., Granato, D., Corassin C. H., Oliveira, C. A. F., Sant'Ana, A. S. 2016. The occurrence and effect of unit operations for dairy products processing on the fate of aflatoxin M1: A review. In *Food Control*, vol. 68, pp. 310-329. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.007>
- Commission regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006. Available on <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj/eng>.
- de Oliveira, C. A. F., Corassin, C. H. 2014. Aflatoxins. In *Mycotoxins and their implications in food safety*, pp. 7-21. ISSN: 2047-332X. Available on https://www.academia.edu/104659176/Mycotoxins_and_their_Implications_in_Food_Safety
- de Oliveira, C. A. F., de França, M. M., Corassin, C. H., Muaz, K. 2021. Biological Decontamination of Aflatoxins. In *Aflatoxins in Food: A Recent Perspective*, pp. 259 - 273. ISBN 978-3-030-85761-5. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85762-2_12
- EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Leblanc JC, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Schwerdtle T, Vleminckx C, Marko D, Oswald IP, Piersma A, Routledge M, Schlatter J, Baert K, Gergelova P and Wallace H. 2020. Risk assessment of aflatoxins in food. *EFSA Journal*, vol. 18, 6040.
- Ferrari, L., Rizzi, N., Grandi, E., Clerici, E., Tirloni, E., Stella, S., Bernardi, C.E.M., Pinotti, L. 2023. Compliance between Food and Feed Safety: Eight-Year Survey (2013–2021) of Aflatoxin M1 in Raw Milk and Aflatoxin B1 in Feed in Northern Italy, *Toxins*, vol. 15, pp. 1-10. Article no. 168. <https://doi.org/10.3390/toxins15030168>
- Giovati, L., Magliana, W., Ciociola, T., Santinoli, C., Conti, S., Polonelli, L. 2015. AFM₁ in milk: Physical, biological, and prophylactic methods to mitigate contamination. In *Toxins*, vol. 7, pp. 4330-4349. <https://doi.org/10.3390/toxins7104330>
- Han, E.-M., Kim, S.-H., Ahn, J., Kwak, H.-S. 2007. Optimizing cholesterol removal from cream using β -cyclodextrin cross-linked with adipic acid. *International Journal of Dairy Technology*, vol. 60(1), pp. 31-36, Article no. 00296. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2007.00296.x>
- Iqbal, S. Z., Jinap, S., Pirouz, A. A., & Ahmad Faizal, A. R. 2015. Aflatoxin M1 in milk and dairy products, occurrence and recent challenges: A review. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 46(1), p. 110-119, Article No. 08.005. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.08.005>

- Jajić, I., Glamočić, D., Krstović, S., Polovinski Horvatić, M. 2019. Aflatoxin M1 occurrence in Serbian milk and its impact on legislative. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, vol. 69(4), pp. 1283–1290. <https://doi.org/10.12681/jhvms.19618>
- Khaneghah, A.M., Moosavi, M., Omar, S.S., Oliveira, C.A.F., Karimi-Dehkordi, M., Fakhri, Y., Huseyn, E., Nematollahi, A., Farahani, M., Sant'Ana, A.S. 2021. The prevalence and concentration of aflatoxin M1 among different types of cheeses: A global systematic review, meta-analysis, and meta-regression, *Food Control*, vol. 125, pp. 1-8. Article no. 107960. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107960>
- Kolarič, L., Minarovičová, L., Lauková, M., Kohajdová, Z., Šimko, P. 2024. Elimination of aflatoxin M₁ from milk: Current status, and potential outline of applicable mitigation procedures. *Trends in Food Science and Technology*, vol. 150. Article no. 104603. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104603>
- Kolarič, L., Šimko, P. 2023. Development and validation of HPLC-FLD method for aflatoxin M1 determination in milk and dairy products. *Acta Chimica Slovaca*, vol. 16(1), p. 99-108, Article No. 0010. <https://doi.org/10.2478/acs-2023-0010>
- Kolarič, L., Vinohradská, E., Šimko, P. 2025. Aflatoxin M1 in cheese: situation on the Slovak market, *Acta Chimica Slovaca*, vol. 18, pp. 32-40. <https://doi.org/10.2478/acs-2025-0004>
- Maggira, M., Ioannidou, M., Sakaridis, I., Samouris, G. 2021. Determination of Aflatoxin M1 in Raw Milk Using an HPLC-FL Method in Comparison with Commercial ELISA Kits—Application in Raw Milk Samples from Various Regions of Greece, *Veterinary Sciences*, vol. 8, 46.
- Marshall, H., Meneely, J. P., Quinn, B., Zhao, Y., Bourke, P., a kol. 2020. Novel decontamination approaches and their potential application for post-harvest aflatoxin control. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 106, pp. 489 - 496. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.001>
- Matencio, A., Navarro-Orcajada, S., Garcia-Carmona, F., López-Nicolás, J. M. 2020. Applications of cyclodextrins in food science. A review. In *Trends in Food Science and Technology*, vol. 104, pp. 132-143. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.009>
- Min, L., Fink-Gremmels, J., Li, D., Tong, X., Tang, J., a kol. 2021. An overview of aflatoxin B1 biotransformation and aflatoxin M1 secretion in lactating dairy cows. *Animal Nutrition*, vol. 7(1), pp. 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.11.002>
- Montagna, M.T., Napoli, C., De Giglio, O., Iatta, R., Barbuti, G. 2008. Occurrence of Aflatoxin M1 in Dairy Products in Southern Italy, *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 9(12), pp. 2614-2621. <https://doi.org/10.3390/ijms9122614>
- Moretti, A., Pascale, M., Logrieco, A.F. 2019. Mycotoxin risks under a climate change scenario in Europe. *Trends in Food Science and Technology*, vol. 84, pp. 38-40.
- Muaz, K., Riaz, M., de Oliveira, C.A.F., Akhtar, S., Ali, S.W., Nadeem, H., Park, S., Balasubramanian, B. 2022. Aflatoxin M1 in milk and dairy products: global occurrence and potential decontamination strategies. In *Toxin Reviews*, vol. 41, pp. 588-605. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1873387>
- Okechukwu, V. O., Adelusi, O. A., Kappo, A. P., Njobeh, P. B., & Mamo, M. A. 2024. Aflatoxins: Occurrence, biosynthesis, mechanism of action and effects, conventional/emerging detection techniques. *Food Chemistry*, vol. 436, pp. 1-12, Article No. 137775. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137775>
- RASFF (2023). Available on: <https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/screen/notification/645846>.
- Silva, I.M.M., da Cruz, A.G., Ali, S., Freire, L.G.D., Fonseca, L.M., Rosim, R.E., Corassin, C.H., de Oliveira, R.B.A., de Oliveira, C.A.F. 2023. Incidence and Levels of Aflatoxin M1 in Artisanal and Manufactured Cheese in Pernambuco State, Brazil. *Toxins*, vol. 15, 182.
- Šimko, P., Kolarič, L. 2022. Decrease in Aflatoxin M1 Concentration in Milk during Cholesterol Removal by Application of β -Cyclodextrin. In *Toxins*, vol. 14(6), Article no. 379. <https://doi.org/10.3390/toxins14060379>
- Škrbić, B., Antić, I., Živančev, J. 2015. Presence of aflatoxin M1 in white and hard cheese samples from Serbia. *Food Control*, vol. 50, pp. 111-117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.08.031>
- Torović, L., Popov, N., Živkov-Baloš, M., Jakšić, S. 2021. Risk estimates of hepatocellular carcinoma in Vojvodina (Serbia) related to aflatoxin M1 contaminated cheese. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103, 104122. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104122>
- Wu, Y., Liu, Y., Kamyab, H., Rajasimman, M., Rajamohan, N., Ngo, G. H., & Xia, Ch. 2023. Physico-chemical and biological remediation techniques for the elimination of endocrine-disrupting hazardous chemicals. *Environmental Research*, vol. 232, p. 1-9, Article No. 116363. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116363>

Kontaktná adresa: Lukáš Kolarič Ing. PhD., Ústav potravinárstva a výživy, Oddelenie potravinárskej technológie, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, e-mail: lukas.kolaric@stuba.sk

STANOVENIE POLYCYKlickÝCH AROMATICKÝCH UHĽOVODÍKOV V SLADKOVODNÝCH RYBÁCH NA SLOVENSKU – PREHĽADOVÝ ČLÁNOK

DETERMINATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN FRESHWATER FISH FROM SLOVAKIA - REVIEW

Jana Lakatošová, Marek Helczman, Marián Tomka, Anton Kováčik

Abstract: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) pose proven health risks and are widespread environmental contaminants. This review summarizes the characteristics of individual PAHs, their health effects, and current legislative frameworks. It focuses on analytical methods for PAH determination in fish and fish products and highlights the lack of data for river fish in Slovakia, Eastern Europe, and the EU. As a next step, the team plans to develop and validate method for PAH monitoring in environmental settings.

Keywords: polyaromatic hydrocarbon, environment, food contamination, gas chromatography, river fish

Úvod

Termín polycyklické aromatické uhľovodíky (PAUs) označuje skupinu viac než 100 chemických látok, ktoré sú tvorené rôznym počtom atómov uhlíka a vodíka usporiadaných do spojených aromatických kruhových štruktúr s obsahom aspoň dvoch benzénových jadier (Ehigiamusoe a kol., 2015). PAUs, ktorých karcinogénne, mutagénne a bioakumulačné schopnosti boli zdokumentované Svetovou zdravotníckou organizáciou (WHO), Medzinárodnou agentúrou pre výskum rakoviny (IARC), Európskym úradom pre bezpečnosť potravín (EFSA) a Americkou agentúrou na ochranu životného prostredia (US EPA), sa dostávajú do ľudských organizmov tromi spôsobmi: prostredníctvom potravín, životného prostredia alebo kombináciou oboch (Ledesma a kol., 2015). Vznikajú predovšetkým ako dôsledok pyrolýznych procesov, najmä pri neúplnom spaľovaní organických materiálov počas priemyselných alebo ľudských činností, ako sú spracovanie uhlia a ropy, spaľovanie zemného plynu (vrátane vykurovania), spaľovanie odpadu, cestná doprava, varenie, sušenie, údenie, praženie a fajčenie tabaku, ako aj prirodzených procesov, akým je karbonizácia (Lewtas, 2007; Ehigiamusoe a kol., 2015; Nisha a kol., 2015). V roku 1976 Agentúra US EPA vybrala na ochranu životného prostredia 16 PAUs na posúdenie zdravotných rizík pitnej vody a od vtedy je týchto 16 zlúčenín monitorovaných po celom svete a slúžia ako referenčné štandardy pre výskum PAUs v environmentálnych aj potravinárskych štúdiách (Sun a kol., 2019).

Táto práca má za cieľ charakterizovať významné PAU zlúčeniny, poukázať na ich toxické účinky, určiť mieru znečistenia prostredia skrz monitoring riečnych rýb a poukázať na vhodné analytické metódy ich stanovenia.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

PAUs majú relatívne nízku rozpustnosť vo vode, no sú vysoko lipofilné. Väčšina PAUs s nízkym tlakom pár vo vzduchu je adsorbovaná na časticiach. Keď sú vo vode naviazané na pevné častice, môžu podliehať fotodegradácii pri vystavení ultrafialovému žiareniu zo slnečného svetla. V atmosfére môžu PAUs reagovať so znečisťujúcimi látkami ako ozón, oxidy dusíka a oxid siričitý, čím vznikajú dióny, nitro- a dinitro-PAUs a sírové kyseliny. PAUs sa tiež dokážu rozkladať pomocou niektorých mikroorganizmov v bunkovom prostredí. Ich fyzikálno-chemické vlastnosti, tlak pár a rozpustnosť sa líšia v závislosti od ich molekulovej

hmotnosti. PAUs obsahujúce do šesť benzénových jadier a nízkou molekulovou hmotnosťou sa často nazývajú „malé“ alebo „ľahké“ a PAUs obsahujúce viac ako šesť benzénových jadier sa nazývajú „veľké“ alebo „ťažké“. PAUs majú vysoké charakteristické ultrafialové absorpčné spektrá, hoci niektoré vykazujú fluorescenciu (Nisha a kol., 2015).

Americká agentúra na ochranu životného prostredia vybrala 16 PAUs: naftalén Nap, acenaftylén Ap, acenaftén Ac, fluorén F, fenantrén Phe, antracén Ant, fluorantén Flu, pyrén Pyr, benzo(a)antracén BaA, chrysén CHR (alebo Chry), benzo(b)fluorantén BbFA, benzo(k)fluorantén BkFA, benzo(a)pyrén BaP, dibenzo(a,h)antracén DBahA, indeno(1,2,3-cd)pyrén IP a benzo(g,h,i)perylén BghiP. V potravinách bývajú sledované aj ďalšie PAUs, ako je 5-metylchrysén 5-MCH (alebo 5-MC), benzo(c)fluorén BcFL, benzo(j)fluorantén BjFA, cyclopenta(c,d)pyrén CPP, dibenzo(a,e)pyrén DBaeP, dibenzo(a,h)pyrén DBahP, dibenzo(a,i)pyrén DBaiP alebo dibenzo(a,l)pyrén DBalP (Drabova a kol., 2012), označované za karcinogénne alebo potencionálne karcinogénne (Menichini a Merli, 2012).

Benzo[a]pyrén (BaP), všadeprítomný kontaminant životného prostredia prítomný vo vzduchu, vode a sedimentoch, je päťkruhový PAU, ktorý vzniká spaľovaním organického materiálu (Carlson a kol., 2002). Celkovo existuje 33 zlúčenín izomérov dibenzo- a nafto- derivátov fluoranténu a pyrénu, pričom sa väčšinou sledujú len štyri DBalP, DBaeP, DBaiP a DBahP a to z dvoch dôvodov. Prvým je, že tieto zlúčeniny boli v roku 1983 Medzinárodnou agentúrou pre výskum rakoviny klasifikované ako „možno karcinogénne pre ľudí“, aj keď neskôr bol DBalP preklasifikovaný ako „pravdepodobne karcinogénny pre ľudí“ a DBaeP ako „neklasifikovateľný ako karcinogénny pre ľudí“. Druhým dôvodom bolo, že tieto zlúčeniny je možné zakúpiť ako čisté štandardy (Menichini a Merli, 2012).

Vplyv na zdravie

Hlavným problémom PAUs je schopnosť reaktívnych metabolitov, ako sú epoxidy a dihydrodioly, viazať sa na bunkové proteíny a DNA. Výsledné biochemické poruchy a poškodenie buniek vedú k mutáciám, vývojovým malformáciám, nádorom a rakovine. Alteratívnu dráhu karcinogenézy je jedoelektrónová oxidačná dráha, ktorá vedie k tvorbe labilných aduktov DNA. Táto dráha bola preukázaná pre niektoré PAU zlúčeniny, vrátane dibenzo(a)pyrénu a benzénu. Tieto aromatické zlúčeniny sa metabolizujú na fenoly, oxidujú na katecholy, a potom na chiníny. Chinóny reagujú s DNA za vzniku depurinačných aduktov (N-7-guanín a N-3-adenín depurinačné adukty), čo vedie k apurínovým miestam a mutáciám. Je zrejmé, že PAU vrátane aromatických amínov a heterocyklických zlúčenín dusíka sú pravdepodobne pôvodcami toxicity spojenej s emisiami z rôznych zdrojov spaľovania a v konečnom dôsledku aj so znečistením ovzdušia (Lewtas, 2007). Hematúria a nakoniec rakovina sú najvýznamnejším koncovým ukazovateľom toxicity PAUs. U pracovníkov vystavených PAUs bol popísaný zvýšený výskyt rakoviny kože, močového mechúra, pľúc a gastrointestinálneho traktu. Množstvo zlúčenín z radu PAU je imunotoxických a niektoré potláčajú selektívne zložky imunitného systému (Lewtas, 2007; Nisha a kol., 2015).

Sladkovodné ryby

Zvýšené hladiny BaP a iných PAU boli zistené v kontaminovaných sedimentoch v celých USA. Zdá sa, že živé organizmy môžu byť vo vodnom prostredí nepretržite vystavené BaP a príbuzným PAU (Flu, Ant, Phe) (Carlson a kol., 2002). Ololade a kol. (2014) skúmali prítomnosť PAUs v riečnej rybe (Sumček africký, *Clarias gariepinus*) z Nigérie v období sucha a dažďa. Priemerné koncentrácie celkových PAUs prekročili predpísané bezpečné hladiny odporúčané WHO vo všetkých šiestich skúmaných riekach v juhozápadnej Nigérii v oboch obdobiach. Matos a kol. (2025) hodnotili toxické účinky Phe a BaP a ich zmesi na Pražmu kráľovskú (*Sparus aurata*) po 42 dňoch expozície pri koncentrácii 0,2 nmol/l. Na prítomnosť PAUs boli študované aj ryby z jazera Sabine v Texase: žralok belavý

(*Carcharhinus leucas*), aligátorová garra (*Atractosteus spatula*), bubonovec škvrnitý (*Scaenops ocellatus*) a sumec morský (*Bagre marinus*) výskumným tímom Hernout a kol. (2020). Kým u žraloka dominovali „ľahšie“ PAUs, u ostatných troch druhoch tie „ľahšie“. Rascón a kol. (2019) sledovali PAU v morských plodoch (losos, morský oštiež, sardely, krevety, merlúza, mečúň, treska belasá a sardinka) z EU trhu a len v merlúze nestanovili PAUs v detekovateľnom množstve. Avšak v žiadnom prípade neboli PAUs prítomné v koncentráciách presahujúcich maximálny povolený limit. Z oblasti Bahia Blanka, južne od provincie Buenos Aires, v južnom Atlantickom oceáne bol sledovaný juhoamerický sled' (*Ramnogaster arcuata*) vzhľadom na obsah PAUs, biomarkery oxidačného stresu a možný vplyv environmentálnych faktorov (Recabarren-Villalón a kol., 2024). Zistili, že akumulácia PAUs je ovplyvnená ročnými obdobiami a vekom rýb, pričom vyššie koncentrácie boli detegované v lete, zime a u dospelých jedincoch. Zistili tiež úzke vzťahy medzi PAUs, biomarkermi a environmentálnymi faktormi, čo naznačuje, že zvýšenie teploty a zníženie pH v morskej vode môže ovplyvniť toxické účinky PAUs. Tieto výsledky môžu byť varovným signálom v obzvlášť zraniteľných prostrediach, ako sú ústia riek.

Štatistický úrad SR uvádza, že priemerná spotreba rýb a rybích výrobkov na obyvateľa v roku 2023 bola 5,9 kg. V porovnaní s predchádzajúcimi rokmi ide o mierny nárast (datacube.statistics.sk). Medzi najznámejšie riečne ryby na Slovensku patrí kapor, štika, sumec, zubáč, lieň, nosáľ, jalec hlavatý a pleskáč. V súčasnosti však neexistujú vedecké štúdie venované stanoveniu PAUs v riečnych rybách na Slovensku.

Ako spomíname v úvode, PAUs môžu vznikať v potravinách ako dôsledok varenia, sušenia, grilovania a údenia. Údenie je jednou z najstarších metód používaných na konzervovanie a dochucovanie potravín, najmä mäsa, rýb a syrov. Avšak, dym vznikajúci spaľovaním dreva môže obsahovať PAUs. Štúdie ukázali, že obsah lignínu v dreve určenom na spaľovanie, obsah tuku v potravinách, čas spracovania a teplota pozitívne korelujú s koncentráciou PAUs (Sun a kol., 2019). Komisia Európskych spoločenstiev (EC) novelizovala nariadenie (ES) č. 1881/2006 prostredníctvom nariadenia (EÚ) č. 835/2011 zo dňa 19. augusta 2011, ktorým sa stanovujú nové najvyššie hladiny PAU v potravinách. Pre čerstvé ryby bol zrušený samostatný limit, a teda sa nestanovuje maximálna hladina PAU — využívanie limitov je ponechané vo forme odporúčaní či monitoringu, nie ako povinné normy. Na druhej strane, pre údené ryby a rybie výrobky platia konkrétne limity (súčet PAU4: benzo(a)pyrén (BaP), benzo(a)antracén, benzo(b)fluorantén a chryzén max. 12 µg/kg a BaP max. 2 µg/kg) od 1. 9. 2014.

Stanovenie PAUs

Na stanovenie PAUs v potravinách sa používajú rôzne staršie aj modernejšie metódy predúpravy vzorky a analytické metódy. Staršie metódy predúpravy, ako je saponifikácia, kvapalinovo-kvapalná extrakcia a Soxhletova extrakcia v kombinácii s gélovou permeačnou chromatografiou (GPC), sú časovo náročné a vyžadujú veľkú spotrebu rozpúšťadiel. Moderné metódy, ako mikrovlnná extrakcia (MAE), urýchlená extrakcia rozpúšťadlom (ASE), mikroextrakcia na tuhej fáze (SPME) a zariadenia na priamu extrakciu (DED), si vyžadujú použitie drahých technológií. Kombinácia sonikácie (ultrazvukovej extrakcie) s extrakciou na tuhej fáze (SPE) bola testovaná na niektorých druhoch potravín a poskytla rýchle a cenovo dostupné výsledky (Ledesma a kol., 2015). Drabova a kol. (2012) testovali rôzne spôsoby predúpravy vzorky, vrátane QuEChERS s kombináciou SPE, za pomoci ktorých validovali metódu stanovenia 16 PAU v čajových listoch. Typické analytické metódy na identifikáciu PAUs sú: vysokotlaková kvapalinová chromatografia (HPLC) v kombinácii s fluorescenčným (FLD) alebo ultrafialovým detektorom (UVD) a plynová chromatografia (GC) v kombinácii s plameňovo ionizačným detektorom (FID), hmotnostnou spektrometriou (MS) (Rascón a kol., 2019) alebo hmotnostnou spektrometriou doby letu (TOFMS) (Drabova a kol., 2012). V prehľadovej štúdii Sun a kol. (2019), v ktorej spravili 20 ročný prehľad v trendoch výskumu

PAUs, bola ako najčastejšie zvolená metóda plynová chromatografia. V štúdií sa uvádza, že sa často používa GC-MS, vďaka vyššiemu rozlíšeniu a detekcii PAU s nízkymi (Nap a Ac) alebo žiadnymi (Ap) fluorescenčnými účinkami. Stanovenie viacerých PAU v jednej analýze si vyžaduje dlhšie GC kolóny a dlhšie separačné časy. Dvojrozmerná GC (GCxGC) môže výrazne zlepšiť rozlíšenie, avšak chromatogramy sú náročnejšie na vyhodnotenie. Pre rozlíšenie „ťažkých“ PAU je vhodnejší hmotnostný spektrometer s trojitým kvadrupolom GC-MS/MS (Sun a kol., 2019).

Tri izoméry benzofluoranténu (BbFA, BkFA a BjFA) sa bežne uvádzajú ako súčet koncentrácií, alebo sa uvádzajú len koncentrácie BbFA a BkFA. A to z toho dôvodu, že sú nerozlíšiteľné pomocou konvenčných GC kolón, zatiaľ čo pri HPLC-FLD sa BjFA nestanovuje kvôli nízkej fluorescencii. Ak sa stanovujú iba koncentrácie BbFA a BkFA jednotlivo, alebo ako súčet, očakáva sa, že ich inštrumentálna odozva zahŕňa aj koeluujúci BjFA. Celkovo sú informácie o výskyte BjFA a relatívnych koncentráciách troch benzofluorénov obmedzené, aj napriek tomu, že sú prítomné v prostredí (Menichini a Merli, 2012). Rascón a kol. (2019) validovali metódu na stanovenie 16 PAUs v rybách (losos, morský ostriež, sardely, krevety, merlúza, mečúň, treska belasá a sardinka) extrahovaných pomocou ultrazvukovej extrakcie a SPE, pričom na ich analýzu použili GC-MS s nepolárnou HP-5ms kolónou. Firma Agilent Technologies vyvinula GC kolónu špeciálne pre stanovenie PAUs, DB-EUPAH, ktorá bola využitá už v niekoľkých vedeckých štúdiách (Baek a kol., 2021; Min a kol., 2023). Vedecké práce sa líšia aj v používaní organických rozpúšťadiel použitých na extrakciu (n-hexán, cyclohexán, dichlórmetán, toluén ai) (Rascón a kol., 2019; Baek a kol., 2021).

Záver

Polycyklické aromatické uhľovodíky (PAUs) sú perzistentné znečisťujúce látky vo vodných ekosystémoch, zhromažďujúce sa v živých organizmoch, ktoré sa vyskytujú ako komplexné zmesi s nepredvídateľnou toxicitou. Málo štúdií sa venuje ich stanoveniu v riečnych rybách. Je však možné nájsť štúdie venované stanoveniu PAUs v morských živočíchoch. A ako uvádza legislatíva, limity pre PAUs sú stanovené len pre údené ryby a rybie výrobky. Štúdie obsahu týchto nebezpečných zlúčenín v slovenských riečnych rybách absentujú. Do budúca vidíme potenciál pre optimalizovanie a validovanie metodiky stanovenia PAUs v riečnych rybách a monitorovania stavu kontaminácie PAUs na Slovensku.

Podakovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky, projekt VEGA 1/0571/23 a Agentúry na podporu výskumu a vývoja, projekt APVV-21-0168. Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- Baek, S-Y., Lim, D.K., Han, J., Lee, S., Kim, B. 2021. Method development for accurate determination of eight polycyclic aromatic hydrocarbons in extruded high-impact polystyrene. *Chemosphere* 272, 129909. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.129909
- Carlson, EA., Li, Y., Zelikoff, J.T. 2002. Exposure of Japanese medaka (*Oryzias latipes*) to benzo[a]pyrene suppresses immune function and host resistance against bacterial challenge. *Aquatic Toxicology* 56(4), 289-301. Datacube.statistics.sk https://datacube.statistics.sk/#!/view/sk/vbd_sk_win2/ps1867rs/v_ps1867rs_00_00_00_sk [Citované 20/06/2025].
- Drabova, L., Pulkrabova, J., Kalachova, K., Tomaniova, M., Kocourek, V., Hajslova, J. 2012. Rapid determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in tea using two-dimensional gas chromatography coupled with time of flight mass spectrometry. *Talanta* 100, 207-2016.

- Ehigiamusoe, P.E., Oguazu, C.E., Ezech, C.O., Martins, F.O. 2015. Determination of some polycyclic aromatic hydrocarbons in commercially prepared roasted foods in Oredo Lga of Edo State, South South Nigeria. *Nigerian Journal of Experimental and Clinical Biosciences* 3, 99-103. DOI: 10.4103/njecp.njecp_36_15
- Hernout, B., Leleux, J., Lynch, J., Ramaswamy, K., Faulkner, P., Matich, P., Hala, D. 2020. The integration of fatty acid biomarkers of trophic ecology with pollutant body-burdens of PAHs and PCBs in four species of fish from Sabine Lake, Texas. *Environmental Advances* 1, 100001. DOI: 10.1016/j.envadv.2020.100001
- Ledesma, E., Rendueles, M., Díaz, M. 2015. Spanish smoked meat products: Benzo(a)pyrene (BaP) contamination and moisture. *Journal of Food Composition and Analysis* 37, 87-94. DOI: 10.1016/j.jfca.2014.09.004
- Lewtas J. 2007. Air pollution combustion emissions: characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects, *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 636(1), 95-133.
- Matos, B., Bramatti, I., Santos, C.D., Branco, V., Martins, M. 2025. Mutli-biomarker analysis of sub-chronic PAH mixture effects in fish at environmentally relevant levels. *Aquatic Toxicology* 283, 107350. DOI: 10.1016/j.aquatox.2025.107350
- Menichini, E., Merli, F. 2012. Dibenzopyrenes, other PAHs with molecular weight 302, and selected carcinogenic PAHs seldom determined: identification and one-year quantification in urban air. *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry* 92(14), 1609-1625. DOI: 10.1080/03067319.2011.554979
- Min, S-W., Lim, D.K., Lee, S, Kim, J, Baek, S-Y. 2023. Accurate determination of 11 representative phthalates and di (2-ethylhexyl) terephthalate in polyvinyl chloride using isotope dilution-gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1711, 464-454. DOI: 10.1016/j.chroma.2023.464454
- Nariadenie Komisie (EÚ) č. 835/2011 z 19. augusta 2011, ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie (ES) č. 1881/2006, pokiaľ ide o maximálne hladiny polycyklických aromatických uhľovodíkov v potravinách. Dostupné na internete: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0835](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0835)
- Nisha, A.R., Dinesh Kumar, V., Arivudainambi, S., Umer, M., Khan, M.S. 2015. Review Paper: Polycyclic aromatic hydrocarbons in processed meats: A toxicological perspective. *Research Journal of Chemistry and Environment* 19(6), 72-76.
- Ololade, I.A., Apata, A.O., Alabi, B.A., Akindumila, O.I., Oloyede, O.J., Obasusi, B.A. 2024. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in fish (*Clarias gariepinus*) of southwestern rivers, Nigeria: Occurrence, distribution, and potential human exposure risks. *Regional Studies in Marine Science* 77, 103687. DOI: 10.1016/j.rsma.2024.103687
- Rascón, A.J., Azzouz, A., Ballesteros, E. 2019. Trace level determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in raw and processed meat and fish products from European markets by GC-MS. *Food Control* 101, 198-208. DOI: 10.1016/j.foodcont.2019.02.037
- Recabarren-Villalón, T., Ronda, A.C., Girones, L., Marcovecchio, J., Amodeo, M., Arias, A.H. 2024. Can environmental factors increase oxidative responses in fish exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)?. *Chemosphere* 355, 141793. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.141793
- Sun, Y., Wu, S., Gong, G. 2019. Review: Trends of research on polycyclic aromatic hydrocarbons in food: A 20-year perspective from 1997 to 2017. *Trends in Food Science and Technology* 83, 86-98. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.11.015

Kontaktné adresy autorov:

Jana Lakatošová, Výskumné centrum AgroBioTech, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

Marek Helczman a Anton Kováčik, Ústav aplikovanej biológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

Marián Tomka, Ústav biotechnológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

INHIBÍCIA TVORBY VOĽNÝCH RADIKÁLOV PÔSOBNÍM ASTAXANTÍNU

INHIBITION OF FREE RADICAL FORMATION BY ASTAXANTHIN

Silvia Martiniaková, Tatiana Holkovičová, Ladislav Staruch

Abstract: Astaxanthin is a novel type of naturally occurring antioxidant. It belongs to the group of carotenoids and is naturally found in aquatic organisms such as salmon, trout, shrimp, and fish roe. The largest natural producer of astaxanthin is the freshwater microalga *Haematococcus pluvialis*. The health benefits of astaxanthin lie primarily in its superior antioxidant capacity compared to other antioxidants, which is reflected in its positive effects on certain diseases and the overall condition of the body. The experimental part includes the determination of the ability of astaxanthin to inhibit free radicals against alpha-tocopherol using the DPPH method.

Keywords: astaxanthin, antioxidant, DPPH method, radical inhibition, α -tocopherol

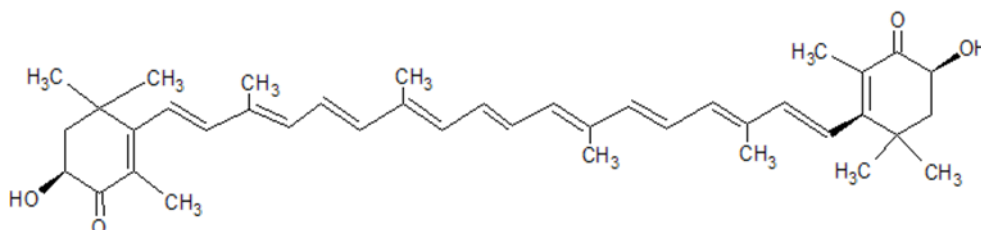
Úvod

V súčasnej dobe je antioxidačným látkam venovaná rastúca pozornosť. Hlavnou príčinou je schopnosť eliminovať voľné radikály, a tým podporovať imunitný systém a celkové zdravie organizmu. Antioxidanty, a to najmä tie, ktoré prijímame potravou tvoria v ľudskom tele ochranu pred oxidačným poškodením. Antioxidanty sa v potravinách vyskytujú ako prirodzené zložky, napr. vitamíny, flavonoidy, alkaloidy. Konzumácia týchto antioxidantov je často spájaná so znížením rizikom vzniku rakoviny a kardiovaskulárnych ochorení. Zabraňujú aj poruchám nervovej sústavy, poškodeniu buniek a starnutiu (Acsová a kol., 2022; Fagot a kol., 2018).

Astaxantín je ketokarotenoid, a patri do skupiny xantofylov – karotenoidové zlúčeniny, ktoré obsahujú nie len uhlík a vodík ale aj kyslík. Astaxantín úzko súvisí s inými karotenoidmi, ako je β -karotén, zeaxantín a luteín. Astaxantín je červená prášková látka, dobre rozpustný je v tukoch a olejoch. Molekulová hmotnosť je 596.852 g/mol. Nerozpustný je vo vode, ale ľahko rozpustný v etanole. Astaxantín je stály pri teplotách do 100 °C, pričom pri teplotách nad 120 °C bolo pozorovaná denaturácia (Rammuni a kol., 2019).

Astaxantín nemôže byť syntetizovaný ľuďmi a preto jediný jeho zdroj môžu byť rastliny, baktérie, niektoré huby a riasy. Tieto organizmy sú v závislosti na obsahu astaxantínu sfarbené do oranžova až červená. Astaxantín je produkován riasou *Haematococcus pluvialis* a kvasinkou *Phaffia rhodozyma*, pričom riasa *Haematococcus pluvialis* obsahuje najvyššiu koncentráciu astaxantínu. Môžeme ho nájsť aj v lososoch, krevetách, či v perí plameniakov (Pružinská a kol., 2024; Landry a kol., 2022). Aby bola riasa schopná produkovať astaxantín, musí byť kultivovaná v živnom prostredí ktoré vyvoláva oxidačný stres. Faktory vyvolávajúce oxidačný stres sú: hladovanie, slnečné žiarenie, vysoká teplota alebo vysoká koncentrácia soli v danom prostredí (Gupta a kol., 2021). Špecifická antioxidačná účinnosť astaxantínu súvisí so štruktúrou jeho molekuly. Molekula astaxantínu (obr. 1) je tvorená z dvoch jonónových kruhov spojených polyénovým reťazcom. Každý jonónový kruh obsahuje hydroxylové (-OH) a keto skupiny (C=O), ktoré sú schopné rezonančne stabilizovať vytvorený radikál astaxantínu. Radikál astaxantínu vzniká počas jeho antioxidačnej účinnosti. Polyénový reťazec má tiež vplyv na antioxidačné vlastnosti astaxantínu. Polyénový reťazec odovzdáva elektróny voľnými radikálmi s cieľom konvertovať ich na stabilnejšie produkty, pričom sa ukončí reťazová reakcia. Z tohto je dedukovateľné to, že astaxantín má unikátnu molekulárnu štruktúru, ktorá

je zodpovedná za jeho vysokú antioxidačnú schopnosť (Ambati, 2014). Dva najvýznamnejšie antioxidačné účinky astaxantínu sú zhasanie singletového kyslíka a inhibícia lipidovej peroxidácie. Polyénový reťazec v astaxantíne zhasá radikály v bunkovej membráne, zatiaľ čo terminálne kruhy astaxantínu môžu zachytávať radikály na povrchu aj vo vnútri fosfolipidovej membrány, čím zabráňujú oxidácii bunkovej membrány. Na základe týchto charakteristík literatúra uvádza, že jeho antioxidačná aktivita je 550-krát vyššia jeho antioxidačná aktivita ako vitamínu E a 6000-krát vyššia ako vitamínu C (Chávez-Crooker a kol., 2011; Fassett a Coombes, 2012).



Obrázok 1. Chemická štruktúra astaxantínu

Okrem antioxidačných a antibakteriálnych účinkov, u astaxantínu bolo tiež preukázané, že má priaznivé účinky na centrálnu nervovú sústavu, zrakový organ, protinádorové pôsobenie, imunitný systém, fyzickú výkonnosť a iné (Visioli a Artaria, 2017; Lakey-Beitia a kol., 2019; Medoro a kol., 2023; Giannaccare a kol., 2020). Jeho prínosy v ochrane pred UV žiarením a schopnosť znižovať výskyt vrások, našli uplatnenie aj v kozmetickom priemysle. Okrem toho sa preukázalo, že astaxantín môže znížiť hladiny degradujúcich enzýmov vo fibroblastoch a makrofágoch (Lin a kol., 2020; Davinell a kol., 2018; Eren a kol., 2019).

Astaxantín bol schválený Úradom pre potraviny a liečivá v Spojených štátoch (US FDA), ako aj Európskym úradom pre bezpečnosť potravín (EFSA) pre použitie ako zložky potravín a krmnej doplnkovej látky. Ako ľudský výživový doplnok bol schválený len astaxantín z *H. pluvialis* a *P. carotinifaciens*, a to v dávkach od 12 do 24 mg / deň a 6 mg / deň, najviac 30 dní (EFSA, 2014).

Cieľom práce bolo porovnať inhibíciu voľných radikálov α -tokoferolom a astaxantínom, DPPH metódou.

Materiál a metodika

Astaxantín (štandard); sumárny vzorec: $C_{40}H_{52}O_4$; názov podľa IUPAC: 3,3'-Dihydroxy-b,b-carotene-4,4'-dione (COSING, 2018); CAS číslo: 472-61-7; kód EÚ: E 161j; dodávateľ: Sigma-Aldrich, Nemecko; čistota: $\geq 97\%$ (HPLC); vzhľad: tmavočervený prášok; rozpustnosť: nerozpustný vo vode, rozpustný v etanole, chloroforme, tukoch, olejoch; molárna hmotnosť: 596.84 g/mol

α -tokoferol (štandard); sumárny vzorec: $C_{29}H_{50}O_2$; názov podľa IUPAC: (pre alfa tokoferol; vitamín E) (COSING, 2018) 3,4-Dihydro-2,5,7,8-tetramethyl-2-(4,8,12-trimethyltridecyl)-2H-benzopyran-6-ol; CAS číslo: 10191-41-0; kód EÚ: E 307

dodávateľ: Sigma-Aldrich, Nemecko; čistota: $\geq 96\%$ (HPLC); vzhľad: sirupovitá kvapalina; rozpustnosť: nerozpustný vo vode, rozpustný v etanole a v acetóne, tukoch, olejoch; molárna hmotnosť: 430.71 g/mol

DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl); sumárny vzorec: $C_{18}H_{12}N_5O_6$; CAS číslo: 1898-66-4; dodávateľ: Sigma-Aldrich, Nemecko; čistota: $\geq 99\%$; rozpustnosť: nerozpustný vo vode, rozpustný v etanole; molárna hmotnosť: 394.32 g/mol

Etanol (Etylalkohol pre UV); sumárny vzorec: C_2H_6O ; názov podľa IUPAC: Ethanol; CAS číslo: 64-17-5; kód EÚ: E1510; dodávateľ: Centralchem, Slovensko; čistota: $\geq 96\%$; rozpustnosť: rozpustný vo vode; molárna hmotnosť: 46,07 g/mol

Použitá metóda bola založená na postupe podľa autorov Brand-Williams a kol. (1995) s miernymi úpravami. Pripravili sme roztok DPPH radikálu v etanole s koncentráciou 0,5 mM. Rozpúšťanie radikálu sme podporili ultrazvukom na niekoľko desiatok sekúnd. Celý proces prípravy roztoku radikálu prebiehal v miestnosti bez prístupu svetla, kvôli jeho svetl citlivosti.

Analyzované vzorky sme pripravili ich rozpustením v etanole, a to v koncentráciách 0,25 – 20 µM. V prípade potreby sme ich dokonalé rozpustenie podporili ultrazvukom. Následne sme pripravené roztoky dávkovali do 96-jamkových platničiek v pomere 200 µl testovanej látky a 50 µl DPPH. Stanovenie prebiehalo pri nasledovnom nastavení programu Gen 5: vlnová dĺžka 517 nm, čas 60 min., interval merania každých 10 min., 27 °C, orbitálny typ miešania.

Na základe nameraných hodnôt absorbancie sme vypočítali antiradikálovú aktivitu skúmaných látok, ako percento inhibície DPPH radikálu (z angl. Scavenging effect - % SE) pomocou rovnice:

$$\% SE = \frac{[A_{blank} - A_{test}]}{A_{blank}} * 100$$

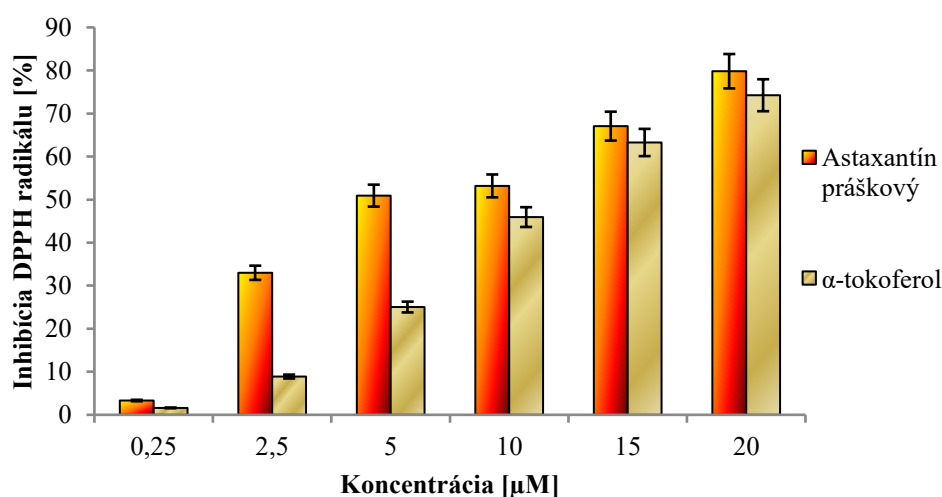
$$A_{blank} = A_{DPPH+rozpúšťadlo} - A_{rozpúšťadlo}$$

$$A_{test} = A_{antioxidant+DPPH} - A_{antioxidant+rozpúšťadlo}$$

Výsledky a diskusia

DPPH metóda je jednou zo základných metód stanovenia antioxidačnej aktivity, pri ktorej dochádza reakciou DPPH radikálu s potenciálne antioxidačnou látkou k postupnému znižovaniu koncentrácie a absorbancie radikálu. Pozitívom tejto metódy je najmä jej jednoduchosť. Výsledky sme vyjadrili ako percento inhibície DPPH radikálu (SE %).

Z grafu 1 je zrejmé, že obe hodnotené látky sú schopné účinne zhasť DPPH radikál a správajú sa ako antioxidanty pri uvedených koncentráciách (0,25 µM – 20 µM). Je evidentné, že s rastúcou koncentráciou antioxidantu sa zvyšuje aj ich schopnosť inhibovať DPPH radikál za daných podmienok.



Graf 1. Inhibícia DPPH radikálu (0,3 mM) hodnotenými látkami v čase 60 min (n=3).

Na základe nameraných a vyhodnotených údajov konštatujeme, že astaxantín vykazoval vo všetkých koncentráciách lepšiu schopnosť zhasťovania (inhibície) DPPH radikálov oproti α-tokoferolu.

V rozmanitých populárnych a poloodborných materiáloch je propagovaný až 550-násobne silnejší antioxidačný účinok tejto látky v porovnaní s α-tokoferolom (Chávez-Crooker a kol.,

2011; Fassett a Coombes, 2012; Kurashige a kol., 1990). Toto v predmetnej štúdií potvrdené nebolo. To však v žiadnom prípade neznamená, že vyššie uvedené tvrdenia sú jednoznačne zavádzajúce. Je možné, že inou metódou sa preukáže lepší antioxidačný účinok astaxantínu, prípadne, že sa jeho antioxidačná aktivita prejavuje *in vivo*.

Záver

Aj keď samoobránné mechanizmy organizmu človeka sú schopné brániť sa miernemu oxidačnému stresu, pri nadmernej expozícii voľným radikálom zlyhávajú. Sekundárnou ochranou môže byť príjem látok zneškodňujúcich voľné radikály – topicky cestou kozmetických výrobkov alebo perorálne cestou výživových doplnkov. V súčasnosti je astaxantín propagovaný ako jeden z najúčinnějších antioxidantov v prírode. V našej práci sme s použitím DPPH metódy síce potvrdili dobrú antioxidačnú aktivitu astaxantínu, ale táto je rádovo iba porovnateľná s aktivitou α -tokoferolu. Napriek tomu, vzhľadom na ďalšie zdravotné a kozmetické benefity, naďalej považujeme astaxantín za látku s veľkým aplikačným potenciálom.

Podakovanie

Táto záverečná práca vznikla s podporou projektu: grant Vedeckej agentúry Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky VEGA 1/0141/23.

Literatúra

- Toronyi A, Hojerová J, Hergesell K, Hideg E, Csepregi K, Bauerová K, Pružinská K, Martiniaková S. Antioxidant and Anti-Pollution Effect of Naturally Occurring Carotenoids Astaxanthin and Crocin for Human Skin Protection. *ChemistrySelect*. 2022;7:e202201595. doi: 10.1002/slct.202201595.
- Fagot D, Pham DM, Laboureau J, Planel E, Guerin L, Nègre C, Donovan M, Bernard BA. Crocin, a natural molecule with potentially beneficial effects against skin ageing. *Int J Cosmet Sci*. 2018 Aug;40(4):388-400. doi: 10.1111/ics.12472. Epub 2018 Aug 9. PMID: 29893408.
- Rammuni MN, Ariyadasa TU, Nimarshana PHV, Attalage RA. Comparative assessment on the extraction of carotenoids from microalgal sources: Astaxanthin from *H. pluvialis* and β -carotene from *D. salina*. *Food Chem*. 2019 Mar 30;277:128-134. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.10.066. Epub 2018 Oct 13. PMID: 30502128.
- Pružinská K, Chrastina M, Khademnematollahi S, Vyletelová V, Gajdošová L, Pastvová L, Dráfi F, Poništ S, Pašková L, Kucharská J, Sumbalová Z, Muchová J, Martiniaková S, Bauerová K. Astaxanthin, Compared to Other Carotenoids, Increases the Efficacy of Methotrexate in Rat Adjuvant Arthritis. *Int J Mol Sci*. 2024 Aug 9;25(16):8710. doi: 10.3390/ijms25168710. PMID: 39201397; PMCID: PMC11354740.
- Landry JD, Torley PJ, Blanch EW. Quantitation of carotenoids and fatty acids from Atlantic salmon using a portable Raman device. *Analyst*. 2022;147:4379–4388. doi: 10.1039/D2AN01140A.
- Gupta AK, Seth K, Maheshwari K, Baroliya PK, Meena M, Kumar A, Vinayak V., Harish Biosynthesis and extraction of high-value carotenoid from algae. *Front. Biosci*. 2021;26:171–190. doi: 10.52586/4932.
- Ambati RR, Phang SM, Ravi S, Aswathanarayana RG. Astaxanthin: sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications--a review. *Mar Drugs*. 2014 Jan 7;12(1):128-52. doi: 10.3390/md12010128. PMID: 24402174; PMCID: PMC3917265.
- Chávez-Crooker P, Obreque J, Vera J, Moya K. Role of Astaxanthin in Cosmeceutical Applications. *Marine Cosmeceuticals: Trends and Prospects*. 2011, 2(1), 119–124.
- Fassett RG, Coombes JS. Astaxanthin in cardiovascular health and disease. *Molecules*. 2012 Feb 20;17(2):2030-48. doi: 10.3390/molecules17022030. PMID: 22349894; PMCID: PMC6268807.
- Visioli F, Artaria C. Astaxanthin in cardiovascular health and disease: mechanisms of action, therapeutic merits, and knowledge gaps. *Food Funct*. 2017 Jan 25;8(1):39-63. doi: 10.1039/c6fo01721e. PMID: 27924978.
- Lahey-Beitia J, Kumar D J, Hegde ML, Rao KS. Carotenoids as Novel Therapeutic Molecules Against Neurodegenerative Disorders: Chemistry and Molecular Docking Analysis. *Int J Mol Sci*. 2019 Nov 7;20(22):5553. doi: 10.3390/ijms20225553. PMID: 31703296; PMCID: PMC6888440.
- Medoro A, Davinelli S, Milella L, Willcox BJ, Allsopp RC, Scapagnini G, Willcox DC. Dietary Astaxanthin: A Promising Antioxidant and Anti-Inflammatory Agent for Brain Aging and Adult Neurogenesis. *Mar Drugs*. 2023 Dec 16;21(12):643. doi: 10.3390/md21120643. PMID: 38132964; PMCID: PMC10744637.
- Giannaccare G, Pellegrini M, Senni C, Bernabei F, Scoria V, Cicero AFG. Clinical Applications of Astaxanthin in the Treatment of Ocular Diseases: Emerging Insights. *Mar Drugs*. 2020 May 1;18(5):239. doi: 10.3390/md18050239. PMID: 32370045; PMCID: PMC7281326.

Lin CW, Yang CM, Yang CH. Protective Effect of Astaxanthin on Blue Light Light-Emitting Diode-Induced Retinal Cell Damage via Free Radical Scavenging and Activation of PI3K/Akt/Nrf2 Pathway in 661W Cell Model. *Mar Drugs*. 2020 Jul 25;18(8):387. doi: 10.3390/md18080387. PMID: 32722441; PMCID: PMC7459684.

Davinelli S, Nielsen ME, Scapagnini G. Astaxanthin in Skin Health, Repair, and Disease: A Comprehensive Review. *Nutrients*. 2018 Apr 22;10(4):522. doi: 10.3390/nu10040522. PMID: 29690549; PMCID: PMC5946307.

Eren B, Tuncay Tanrıverdi S, Aydın Köse F, Özer Ö. Antioxidant properties evaluation of topical astaxanthin formulations as anti-aging products. *J Cosmet Dermatol*. 2019 Feb;18(1):242-250. doi: 10.1111/jocd.12665. Epub 2018 May 10. PMID: 29745467.

EFSA, 2014. EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, Scientific Opinion on the safety of astaxanthin rich ingredients (AstaREAL A1010 and AstaREAL L10) as novel food ingredients1. *EFSA J*. 12, 1–35. Dostupné aj na: <http://dx.doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3757>

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. In *Lebensm. Wiss. Technol*. 1995 28, 25–30.

Kurashige M, Okimasu E, Inoue M, Utsumi K. Inhibition of oxidative injury of biological membranes by astaxanthin. *Physiol Chem Phys Med NMR*. 1990;22(1):27-38. PMID: 2084711.

Kontaktná adresa autorov:

Silvia Martiniaková, Tatiana Holkovičová, Ladislav Staruch, Ústav potravinárstva a výživy, Oddelenie potravinárskej technológie, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, e-mail: silvia.martiniakova@stuba.sk, tatiana.holkovicova@stuba.sk, ladislav.staruch@stuba.sk,

HODNOTENIE KVALITY MCT KOKOSOVÉHO OLEJA PO PRÍDAVKU EXTRAKTOV Z VYBRANÝCH PLODOV *CAPSICUM* SPP.

EVALUATION OF THE QUALITY OF MCT COCONUT OIL AFTER THE ADDITION OF EXTRACTS FROM SELECTED *CAPSICUM* SPP. FRUITS

Matej Mázor, Eva Ivanišová

Abstract: This study is focused on the evaluation of the quality of MCT coconut oil with the addition of extracts from the fruits of *Capsicum annum* L. 4 different samples were used in this study, which differed in composition and each of them was evaluated separately. Three analyses were performed: acidity number, peroxide value and antimicrobial activity. We found out that the shelf life of these oils is significantly affected by the presence of the extract, and it also depends on the form in which it was introduced into the oil. The peroxide value ranged from $0.2 \pm 0.14 \text{ mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$ to $0.5 \pm 0.14 \text{ mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$. After repeated analysis after 2 months, these values ranged from $2.6 \pm 0.85 \text{ mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$ to $7.0 \pm 0.28 \text{ mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$, with the lowest value shown by the sample with freeze dried extract. The acidity number ranged from $0.67 \pm 0.14 \text{ mg KOH.g}^{-1}$ for oil with freeze dried extract up to $7.74 \pm 0.14 \text{ mg KOH.g}^{-1}$ for a sample with encapsulated extract. After storage for two months, these values did not change significantly in the samples, except for the sample with pure encapsulate where the value increased to $8.64 \pm 2.06 \text{ mg KOH.g}^{-1}$. Antimicrobial activity showed that pure MCT coconut oil had significant antimicrobial activity, especially against bacterial pathogens except *E. coli*, which was resistant to all samples tested. After further testing it was all samples showed significantly stronger antimicrobial activity against yeast pathogens.

Keywords: MCT oil, quality, shelf life, storage

Úvod

Kokosový olej je bežne dostupná surovina v obchodných sieťach s veľmi širokými možnosťami jeho využitia či už v potravinárskom alebo kozmetickom priemysle. Bežný kokosový olej je však tuhého skupenstva, veľmi podobnému živočišným tukom. Je to spôsobené vďaka jeho chemickej štruktúre, keďže sa skladá z prevažne mastných kyselín s dlhým reťazcom. Kokosový olej je bohatý na mastné kyseliny so stredne dlhým reťazcom (MCFA) s počtom uhlíkov medzi 6 a 12. Obzvlášť vysoké zastúpenie má kyselina laurová (C12:0), tým pádom kokosový olej slúži ako jeden z primárnych zdrojov tejto kyseliny medzi jedlými olejmi (Wong et al., 2020).

Pomerne čerstvou novinkou na trhu sú MCT oleje, ktoré vznikajú hydrogenáciou alebo inou chemickou úpravou klasických rastlinných tukov ako je kokosový alebo palmový, pri čom dochádza k štiepeniu dlhých reťazcov na stredne dlhé, alebo krátke. MCT sú lipidy obsahujúce mastné kyseliny so stredne dlhým reťazcom (MCFA), ktoré obsahujú šesť až desať atómov uhlíka, ktoré sú nasýtené a neoxidovateľné (Amft et. al., 2020). Od tohto sa aj odvíja ich názov „MCT“, čo je skratka pre „medium chain triacyl glycerides“. Tieto oleje majú tekutú konzistenciu a iné fyzikálno-chemické vlastnosti od olejov z ktorých boli vyrobené. Takýto olej dokáže telo jednoduchšie stráviť, a preto ho využívajú najmä priaznivci zdravej stravy, športovci alebo ľudia stravujúci sa podľa rôznych diét. MCT oleje sa úspešne používajú na formuláciu nanoemulzií vhodných ako koloidné systémy na dodávanie potravín (Qian et al., 2012). MCT oleje majú neutrálny chuťový profil, čo znamená, že môžu byť vhodné na použitie v širokej škále produktov (Walker et al., 2017).

Keďže MCT kokosový olej má jednoduchšie zloženie a je stráviteľnejší ako pôvodné tuky z ktorých bol vyrobený, poskytuje možnosť na jeho fortifikáciu rôznymi zložkami. Medzi najnovšie skúmané zložky pre fortifikáciu patrí extrakt z chilli. Podľa doposiaľ preskúmaných zistení, dokáže vďaka svojmu zloženiu predĺžiť trvanlivosť tým, že znižuje rýchlosť oxidácie, a zabezpečuje množstvo ďalších zdravotných benefitov. Vzhľadom na nižšiu molekulárnu veľkosť sa MCFA ľahko absorbujú a transportujú do pečene v rozpustnej forme viazanej na sérový albumín cez portálnu žilu (Bach, Babayan, 1982). MCT sa považuje ako nutraceutikum určené na zvládnutie malabsorpčných komplikácií už od roku 1996. Odvtedy vzniklo množstvo nových štúdií týkajúcich sa jeho liečivej hodnoty, ktoré rozšírili rozsah jeho použitia. Medzi aktuálne zdravotné tvrdenia týkajúce sa MCT patrí: napomáhajú pri správnom raste a vývoji novorodencov (najmä predčasne narodených detí a dojčiat) (Roy et al. 1975), napomáha potláčaniu detskej epilepsie rezistentnej na lieky (Neal et al., 2009), znižovanie miery obezity (St-Onge, Jones 2003); zlepšenie kognitívnych funkcií (Reger et al., 2004; Sharma et al., 2014); antivírusové terapeutické účinky (Soliman et al., 2020) iné (napr. znížiť alergénosť) (Li et al., 2013).

Do MCT kokosového oleja sa môže pridávať ako čistý extrakt, alebo aj enkapsulovaný v kapsulách zo sacharidov, ktoré zabráňujú rozloženiu dôležitých látok v žalúdku ale uvoľnia sa až v tenkom čreve kde dochádza k ich priamemu vstrebaniu do organizmu a tým dokážeme maximalizovať ich účinok.

V našej práci sa venujeme hodnoteniu kvality MCT kokosového oleja po prídavku extraktov z chilli, kde skúmame ako sa menia fyzikálno-chemické a senzorické vlastnosti tohto oleja po pridaní čistého extraktu, enkapsulovaného extraktu a po pridaní len čistých kapsúl. Zároveň skúmame aj zmenu trvanlivosti týchto olejov, ako sa mení v závislosti od prídavku danej látky v konkrétnej forme.

Materiál a metodika

Príprava vzoriek

Na prípravu extraktov sme použili papriky druhu Habanero Red (*Capsicum chinense* L.), ktoré sme získali z Botanickej záhrady Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre. Maltodextrín (ekvivalent dexrózy v rozmedzí 4,0–7,0) a arabská guma (z akácie) boli získané zo Sigma-Aldrich (SaintLouis, Missouri, USA). Ostatné chemikálie boli zakúpené od spoločnosti Merck KGaA (Darmstadt, Nemecko) alebo Centralchem, Ltd. (Bratislava, Slovensko) a boli analytickej kvality.

Plne zrelé plody sme zozbierali, očistili od nečistôt a nejedlých častí a takto pripravené plody sme nakrájali na menšie časti ktoré sme následne sušili v konvektomate, pri teplote 40 °C v časovom intervale v rozmedzí od 72 až 96 hodín podľa potreby. Po vysušení sme papriky rozomleli na elektrickom mlynčeku ETA Gratus 0028 90030, ETA-Slovakia s.r.o.. Rozomletý prášok sme zabalili do uzatvárateľných polyetylénových vrecúšok a tie sme skladovali v exikátore aby sme zamedzili prístupu vlhkosti a zabránili znehodnoteniu vzoriek.

Konkrétny extrakt použitý v našej práci bol vyrobený zmiešaním paprikového prášku s 50 % etanolom v pomere 1:3. Následne tento roztok bol vo vodnom kúpeli zahriaty na teplotu 80 °C po dobu 2 hodín. Po uplynutí tohto času sme roztok prefiltrovali vo vákuovej filtračnej sústave a filtrát sme odstredili pri 4000 otáčok za minútu po dobu 20 minút. Následne sme zvyšný etanol odstránili odparovaním pri teplote 40 °C.

Mikroenkapsuláciu extraktov sme vykonali podľa metodiky Hoskina et al. (2023), kde sme zmes maltodextrínu a arabskej gummy v koncentráciách 4,5 % a 3 % v pomere 3:2 rozprašovali pomocou laboratórnej rozprašovacej sušičky B-290 (BÜCHI Labortechnik AG, Švajčiarsko) s priemerom dýzy 0,7 mm, priamo do koncentrovaného extraktu Habanero. Tento roztok sme následne miešali magnetickým miešadlom až do úplného vysušenia. Vysušené častice sme zozbierali a uložili na ďalšie použitie.

Antimikrobiálna aktivita

Antimikrobiálnu aktivitu sme skúmali diskovou difúznou metódou. Princípom metódy je vznik inhibičných zón na Petriho miske. Táto metóda však neurčuje stupeň citlivosti, ale iba či mikroorganizmy citlivé na antimikrobiálne látky alebo naopak rezistentné.

Ako živnú pôdu sme použili Mueller- Hinton agar. Do Petriho misiek sme napipetovali 100 μl mikrobiálnej suspenzie ktorú sme upravili tak, že táto suspenzia obsahovala 10^5 buniek. ml^{-1} . Následne sme ju rozotreli po celom povrchu živnej pôdy L-tyčinkou. Analýzu sme vykonali s 10 druhmi mikroorganizmov: *Staphylococcus aureus* CCM 2461, *Enterococcus faecalis* CCM 3956, *Listeria monocytogenes* CCM 4699, *Yersinia enterocolitica* subsp. *enterocolitica* CCM 7204, *Salmonella enterica* CCM 3807, *Escherichia coli* CCM 3954, *Candida glabrata* CCM 8270, *Candida krusei* CCM 8271, *Candida tropicalis* CCM 8268 a *Candida albicans* CCM 8311. Pre každý mikroorganizmus sme použili 3 Petriho misky. Každú naočkovanú misku sme rozdelili na 4 rovnaké časti a do každej časti sme vložili krúžok z filtračného papiera o priemere 6 mm napustenými v každej časti inou vzorkou z našich vzoriek oleja. Po 24 hodinovej kultivácii sme zmerali priemery inhibičných zón v milimetroch.

Stanovenie čísla kyslosti

Číslo kyslosti udáva, koľko mg KOH je potrebných na neutralizáciu voľných mastných kyselín ktoré sa nachádzajú v 1 g tuku. Tento parameter poukazuje na stav tukov, ktorý priamo ovplyvňuje kvalitu surovín a výsledných potravín.

Vzorku o hmotnosti 5g sme rozpustili v 100 ml roztoku etanol – chloroformu. Roztok sme priviedli do varu a následne sme urýchlene titrovali za horúca roztokom hydroxidu draselného na indikátor (fenolftaleín) do slaboružového sfarbenia ktoré vydrží aspoň 30 sekúnd (Príbela, 1993).

Stanovenie čísla kyslosti sme vykonali 2-krát a to v dvoch meraniach, v novembri a po uplynutí dvoch mesiacov, aby sme zistili zmenu týchto atribútov pri skladovaní olejov.

Stanovenie peroxidového čísla

Peroxidové číslo charakterizuje obsah vytvorených tukových peroxidov a hydroxiperoxidov. Udáva množstvo kyslíka schopného oxidovať jodid na jód za podmienok metódy. Pri pôsobení kyslíka na mastné kyseliny v tukoch, dochádza k oxidácií, čo má za následok zhoršenie senzorických a kvalitatívnych vlastností tukov. Dôvodom zhoršenia senzorických vlastností je tvorba aldehydov a ketónov a hromadenie peroxidov a nízko molekulárnych mastných kyselín. Vyjadruje sa v μg aktívneho kyslíka v 1 g tuku.

Stanovenie peroxidového čísla sme vykonali spoločne so stanovením čísla kyslosti v dvoch osobitných meraniach, v novembri a v januári.

Výsledky a diskusia

Antimikrobiálna aktivita

Podľa nameraných hodnôt ktoré sú uvedené v tabuľke 1-4, sme zistili že pri čistom MCT oleji je rezistentná bakteria *E. coli* a rezistentnou kvasinkou bola *Candida crusei*. Najmenej rezistentnou baktériou a zároveň baktériou s najväčšími inhibičnými zónami bola *Salmonella enterica*, a najmenej rezistentnou kvasinkou bola *Candida tropicalis*. Rovnaké výsledky ale s odlišnými inhibičnými zónami nám vyšli aj pri vzorke s mikroenkapsulovaným extraktom. Pri vzorke s lyofilizovaným extraktom sme zistili rezistentné baktérie aj kvasinky rovnaké, jediný rozdiel nastal pri najmenej rezistentnej baktérii, ktorou bola *Staphylococcus aureus*. Rovnaké výsledky nám vyšli aj pri vzorke s čistým mikroenkapsulátom.

Z našich zistených výsledkov môžeme vyvodiť, že proti baktériám bola takmer vždy najúčinnější vzorka čistého MCT oleja. Priemery zón boli približne rovnaké pri všetkých vzorkách a druhoch baktérií. Veľký zvrat nastal pri kvasinkách, kde inhibičné zóny boli oveľa väčšie ako pri baktériách, čo naznačuje zvýšenú antimikrobiálnu aktivitu MCT olejov proti kvasinkám.

Autori štúdie pozorovali po dvoch dňoch inkubácie lesklé, krémovo sfarbené kolónie *Candida kefir*. Prostredníctvom diskovej difúznej metódy bolo možné pozorovať antibakteriálnu aktivitu kokosového oleja v emulzii s vodou, pričom pozoruhodný je baktericídny účinok proti *S. epidermidis* a *E. coli*. Stojí za zmienku, že proces sterilizácie zahrievaním kokosového oleja posilňuje antimikrobiálnu aktivitu. Taktiež autori pozorovaním objavili otvory v bunkových stenách baktérií, ako aj prítomnosť určitých štruktúr pripomínajúcich pavúčiu sieť obklopujúcu baktériu, ktorá predstavovala rozpad bunkovej steny (de Oliveira et al., 2018).

Tabuľka 1. Antimikrobiálna aktivita čistého MCT oleja

Druh MO	PM1	PM2	PM3	Priemer	Odchýlka
<i>Staphylococcus aureus</i>	6	5	6	5,67	0,58
<i>Enterococcus faecalis</i>	5	5	6	5,33	0,58
<i>Listeria monocytogenes</i>	6	7	7	6,67	0,58
<i>Yersinia enterocolitica</i>	6	6	7	6,33	0,58
<i>Salmonella enterica</i>	8	7	7	7,33	0,58
<i>Escherichia coli</i>	0	0	0	0	0
<i>Candida glabrata</i>	8	9	9	8,67	0,58
<i>Candida krusei</i>	0	0	0	0	0
<i>Candida tropicalis</i>	9	10	9	9,33	0,58
<i>Candida albicans</i>	8	7	8	7,6	0,58

Tabuľka 2. Antimikrobiálna aktivita MCT oleja s enkapsulovaným extraktom

Druh MO	PM1	PM2	PM3	Priemer	Odchýlka
<i>Staphylococcus aureus</i>	5	5	6	5,33	0,58
<i>Enterococcus faecalis</i>	2	3	3	2,33	0,58
<i>Listeria monocytogenes</i>	5	5	6	5,33	0,58
<i>Yersinia enterocolitica</i>	5	5	4	4,67	0,58
<i>Salmonella enterica</i>	6	5	6	5,67	0,58
<i>Escherichia coli</i>	0	0	0	0	0
<i>Candida glabrata</i>	10	9	9	9,33	0,58
<i>Candida krusei</i>	0	0	0	0	0
<i>Candida tropicalis</i>	10	11	10	10,33	0,58
<i>Candida albicans</i>	6	7	7	6,67	0,58

Číslo kyslosti

V novembri 2024 boli namerané hodnoty čísla kyslosti v rozmedzí od 0,79 po 7,74 ± 0.14 mg KOH.g⁻¹. Podrobne uvedené výsledky sú v tabuľke 5. Najvyššie číslo kyslosti sme namerali pri vzorke s enkapsulovaným extraktom s chilli pri čom najnižšie číslo kyslosti sme zistili pri vzorke oleja s lyofilizovaným extraktom. Pri pohľade na ostatné výsledky môžeme vidieť, že kapsule v oleji výrazne zvyšovali číslo kyslosti. Tieto hodnoty však neprevyšovali legislatívne maximum v žiadnej z testovaných vzoriek podľa vyhlášky 424/2012 Z. z. Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky.

Tabuľka 3. Antimikrobiálna aktivita MCT oleja s lyofilizovaným extraktom

Druh MO	PM1	PM2	PM3	Priemer	Odchýlka
<i>Staphylococcus aureus</i>	6	7	7	6,67	0,58
<i>Enterococcus faecalis</i>	4	3	3	3,33	0,58
<i>Listeria monocytogenes</i>	6	5	6	5,67	0,58
<i>Yersinia enterocolitica</i>	4	5	5	4,67	0,58
<i>Salmonella enterica</i>	5	4	4	4,33	0,58
<i>Escherichia coli</i>	0	0	0	0	0
<i>Candida glabrata</i>	8	7	7	7,33	0,58
<i>Candida krusei</i>	0	0	0	0	0
<i>Candida tropicalis</i>	8	9	9	8,67	0,58
<i>Candida albicans</i>	8	7	7	7,33	0,58

Tabuľka 4. Antimikrobiálna aktivita MCT oleja s čistým enkapsulátom

Druh MO	PM1	PM2	PM3	Priemer	Odchýlka
<i>Staphylococcus aureus</i>	7	6	6	6,33	0,58
<i>Enterococcus faecalis</i>	3	3	4	3,33	0,58
<i>Listeria monocytogenes</i>	3	4	4	3,67	0,58
<i>Yersinia enterocolitica</i>	4	3	4	3,67	0,58
<i>Salmonella enterica</i>	5	4	5	4,67	0,58
<i>Escherichia coli</i>	0	0	0	0	0
<i>Candida glabrata</i>	6	7	7	6,67	0,58
<i>Candida krusei</i>	0	0	0	0	0
<i>Candida tropicalis</i>	8	8	9	8,33	0,58
<i>Candida albicans</i>	5	5	6	5,33	0,58

Tabuľka 5. Číslo kyslosti november 2024

Označenie vzorky	Objem č. 1	Objem č. 2	Výsledok č. k. 1 (mg KOH.g ⁻¹)	Výsledok č. k. 2 (mg KOH.g ⁻¹)	Priemer výsledkov (mg KOH.g ⁻¹)	Smerodajná odchýlka
Čistý MCT	0,70	0,70	0,79	0,79	0,79	0,00
Enkaps. extrakt	6,80	7,00	7,63	7,86	7,74	0,14
Lyofyl. extrakt	0,70	0,5	0,79	0,56	0,67	0,14
Čistý enkapsulát	3,00	2,7	3,37	3,03	3,20	0,21

Podobné výsledky s takmer rovnakými hodnotami boli aj v meraní vykonanom po dvoch mesiacoch, ako je uvedené v tabuľke 6. Výrazný rozdiel nastal pri vzorke oleja s čistým mikroenkapsulátom a to o hodnote $8,64 \pm 2,06 \text{ mg KOH.g}^{-1}$, vzorka s enkapsulovaným extraktom chilli dosahovala hodnotu $7,97 \pm 0,79 \text{ mg KOH.g}^{-1}$ a najnižšiu hodnotu sme opäť namerali pri oleji s lyofilizovaným extraktom z chilli $0,56 \pm 0,16 \text{ mg KOH.g}^{-1}$.

Ako môžeme vidieť podľa našich meraní obsah extraktov z chilli mierne spomaľoval vzrast čísla kyslosti, pretože vzorka s lyofilizovaným extraktom dosahovala nižšie hodnoty v januári, ale naopak obsah mikroenkapsulátu výrazne zvyšuje tento parameter, keďže v novembri najvyššiu hodnotu dosahoval olej s enkapsulovaným chilli, no v januári to bol olej s čistým enkapsulátom a v oleji s enkapsulovaným extraktom chilli sa zvýšil len mierne. V čistom oleji číslo kyslosti zostalo nezmenené.

Zhao et al. (2024), uviedli, že čísla kyslosti pre kokosový olej získané enzymatickou hydrolýzou a Soxhletovou extrakciou boli $0,39 \text{ mg KOH.g}^{-1}$ a $0,18 \text{ mg KOH.g}^{-1}$. Kratšie trvanie spracovania pri enzymatickej hydrolýze a Soxhletovej extrakcii pravdepodobne prispeli k zníženiu oxidácie lipidov. Vyššie číslo kyslosti by mohlo potenciálne znížiť bod dymenia a zhoršiť kvalitu oleja.

Tabuľka 6. Stanovenie čísla kyslosti po 2 mesiacoch

Označenie vzorky	Objem č. 1	Objem č. 2	Výsledok č. 1 (mg KOH.g ⁻¹)	Výsledok č. 2 (mg KOH.g ⁻¹)	Priemer výsledkov (mg KOH.g ⁻¹)	Smerodajná odchýlka
Čistý MCT	0,3	0,4	0,67	0,9	0,79	0,16
Enkaps. extrakt	3,30	3,8	7,41	8,53	7,97	0,79
Lyofyl. extrakt	0,2	0,3	0,45	0,67	0,56	0,16
Čistý enkapsulát	4,5	3,2	10,1	7,18	8,64	2,06

Peroxidové číslo

Peroxidové číslo sme opäť stanovovali dvakrát v rozmedzí dvoch mesiacov aby sme zistili ako sa zmení počas skladovania pri teplotách bežne vyskytujúcich sa v chladničkách, a to v rozmedzí 4-8°C.

V meraní z novembra 2024 sme zistili pri všetkých vzorkách veľmi podobné výsledky, no najvyššie peroxidové číslo sme namerali pri vzorke MCT oleja s čistým enkapsulátom a najnižšie pri MCT oleji s lyofilizovaným extraktom. Tieto veľmi podobné hodnoty vyšli aj z toho dôvodu že sme pracovali s čerstvým olejom. Tabuľka 7 obsahuje zoznam výsledkov z novembra 2024.

Tabuľka 7. Stanovenie peroxidového čísla november 2024

Označenie vzorky	Objem č. 1	Objem č. 2	Výsledok p. č. 1 (mmol O ₂ .kg ⁻¹)	Výsledok p. č. 2 (mmol O ₂ .kg ⁻¹)	Priemer výsledkov (mmol O ₂ .kg ⁻¹)	Smerodajná odchýlka
Čistý MCT	0,4	0,3	0,4	0,2	0,3	0,14
Enkaps. extrakt	0,3	0,5	0,2	0,6	0,4	0,28
Lyofyl. extrakt	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,00
Čistý enkapsulát	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,14

V meraní z januára 2025 sa výsledky veľmi výrazne odlišujú od prvého merania. Tabuľka 8 znázorňuje všetky namerané hodnoty stanovenia peroxidového čísla z januára 2025. Po skladovaní nastal mnohonásobný nárast peroxidového čísla a zároveň vznikli aj výrazné

odlišnosti medzi vzorkami. Najvyššie peroxidové číslo vykazovala vzorka MCT s čistým enkapsulátom a najnižšie sme namerali pri vzorke s lyofilizovaným extraktom.

V porovnaní s číslom kyslosti opäť môžeme sledovať rovnaký trend kde mikroenkapsulát výrazne ovplyvňoval namerané hodnoty negatívnym spôsobom, pri čom extrakt z plodov či už mikroenkapsulovaný alebo lyofilizovaný znižoval peroxidové číslo MCT oleja.

Peroxidové číslo kokosových olejov extrahovaných metódami lisovania za tepla bolo výrazne vyššie ako peroxidové číslo olejov lisovaných za studena, čo naznačuje zrýchlenú oxidáciu v dôsledku vyšších teplôt. Najvyššia hodnota peroxidového čísla bola zistená vo vzorke oleja z vyzretého kokosu ($0,14 \text{ mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$) vyrobenom lisovaním za tepla a ktorá výrazne prekročila hodnotu oleja vyextrahovaného z mladého kokosu ($0,08 \text{ mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$) lisovaním za studena. Rozdiely v hodnotách peroxidového čísla medzi metódami možno pripísať úrovni ohrevu počas spracovania (Guo et al., 2025).

Tabuľka 8. Stanovenie peroxidového čísla po 2 mesiacoch

Označenie vzorky	Objem č. 1	Objem č. 2	Výsledok p.č. 1 ($\text{mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$)	Výsledok p.č. 2 ($\text{mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$)	Priemer výsledkov ($\text{mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$)	Smerodajná odchýlka
Čistý MCT	1,6	1,7	5,6	6,0	5,8	0,28
Enkaps. extrakt	1,8	1,8	6,4	6,4	6,4	0,00
Lyofyl. extrakt	0,7	1,00	2,00	3,2	2,6	0,85
Čistý enkapsulát	2,0	1,9	7,2	6,8	7,0	0,28

Záver

Naša práca mala za cieľ zhodnotiť kvalitu MCT kokosových olejov po pridaní extraktov z chilli. Pracovali sme so 4 vzorkami a to: čistý MCT olej, MCT olej s enkapsulovaným extraktom, olej s lyofilizovaným extraktom a olej s čistým enkapsulátom. Každá z týchto vzoriek bola hodnotená samostatne. Trvanlivosť týchto olejov je významne ovplyvnená obsahom extraktu a jeho formou, v akej bol zavedený do oleja. Hodnoty peroxidového čísla sa pohybovali v rozmedzí $0,2 \pm 0,14 \text{ mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$ až $0,5 \pm 0,14 \text{ mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$. Po dvoch mesiacoch sa hodnoty rapídne zmenili a pohybovali sa v rozmedzí od $2,6 \pm 0,85 \text{ mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$ do $7,0 \pm 0,28 \text{ mmol O}_2.\text{kg}^{-1}$, pri čom najnižšiu hodnotu vykazovala vzorka s lyofilizovaným extraktom. Číslo kyslosti dosahovalo hodnoty $0,67 \pm 0,14 \text{ mg KOH.g}^{-1}$ pri oleji s lyofilizovaným extraktom až po $7,74 \pm 0,14 \text{ mg KOH.g}^{-1}$ pri vzorke s enkapsulovaným extraktom. Po skladovaní sa tieto hodnoty vo vzorkách výrazne nezmenili, okrem vzorky s čistým enkapsulátom kde sa hodnota zvýšila na $8,64 \pm 2,06 \text{ mg KOH.g}^{-1}$. Z týchto zistení môžeme tvrdiť, že obsah chilli extraktu pozitívne ovplyvňuje trvanlivosť MCT olejov.

Antimikrobiálna aktivita ukázala, že samotný čistý MCT kokosový olej má výraznú antimikrobiálnu aktivitu, najmä proti baktériám okrem *E. coli*, ktorá bola rezistentná voči všetkým testovaným vzorkám. Jediná kvasinka, ktorá bola rezistentná proti našim vzorkám bola *Candida crusei*.

Z našich výsledkov vyplýva, že prídavok extraktov z chilli do MCT kokosových olejov mení kvalitu týchto olejov najmä z hľadiska oxidácie, tvorby peroxidov a radikálov čím sa zlepšuje ich trvanlivosť. Pre budúcnosť by sme odporúčali rozšírenie povedomia verejnosti o MCT olejoch a ich implementáciu do gastronómie, a zároveň zvýšiť informovanosť o benefitoch používania a konzumácie týchto olejov.

Literatúra

- Amft, Jonas, Bauer, Jonas L. A Rostek, Jens. 2020. MCT oil coating improves the oxidative stability of surface lipids in corn extrudates. In *European Journal of Lipid Science and Technology* [on-line]. Vol. 122, no. 7. DOI 10.1002/ejlt.201900350.
- Bach, A., Babayan. 1982. Medium-chain triglycerides: an update. *American Journal of Clinical Nutrition* [on-line]. Vol. 36, no. 5, pp. 950–962. Dostupné na: DOI 10.1093/ajcn/36.5.950.
- De Oliveira, Susy Ferraz, Ivon Pinheiro Lôbo, Rosenira Serpa Da Cruz, João Luciano Andrioli, Camila Pacheco S.M. Da Mata, Glêydison Amarante Soares, Edvan Do Carmo Santos, Elizama Aguiar-Oliveira, Marcelo Franco and Aline Oliveira Da Conceição, 2018. Antimicrobial activity of coconut oil-in-water emulsion on *Staphylococcus epidermidis* and *Escherichia coli* EPEC associated to *Candida kefyr*. *Heliyon* [on-line], vol. 4, no. 11, p. e00924. Dostupné na: doi:10.1016/j.heliyon.2018.e00924
- Guo, Xingyang; Huang, He a Jiang, Xiaoming, 2025. Comparative analysis of cold-pressed and hot-pressed coconut oil extraction: implications for quality and antioxidant capacity. In *LWT* [on-line]. Article number. 117614. Dostupné na: DOI 10.1016/j.lwt.2025.117614.
- Henderson, David E, Slickman, Adam M., Henderson, Susan K. 1999. Quantitative HPLC Determination of the Antioxidant Activity of Capsaicin on the Formation of Lipid Hydroperoxides of Linoleic Acid: 1999 A Comparative Study against BHT and Melatonin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [on-line]. Vol. 47, no. 7, pp. 2563–2570. Dostupné na: DOI 10.1021/jf980949t.
- Hoskin, Roberta Targino; Xiong, Jia, Lila, Mary Ann. 2019. Comparison of berry juice concentrates and pomaces and alternative plant proteins to produce spray dried protein–polyphenol food ingredients. *Food & Function* [on-line]. Vol. 10, no. 10, pp. 6286–6299. Dostupné na: DOI 10.1039/c9fo01587f.
- Neal, E. G., H. Chaffe, R. H., Schwartz, M. S., Lawson, N., Edwards, G., Fitzsimmons, A., Whitney, J. H. Cross. 2009. A randomized trial of classical and medium-chain triglyceride ketogenic diets in the treatment of childhood epilepsy. In *Epilepsia* vol. 50 no. 5 pp. 1109–1117. Dostupné na: doi: 10.1111/j.1528-11672008.01870.x
- Príbela, A. 1993. *Analýza potravín*. Bratislava: STU, vyd. 2., s. 394. ISBN 80-227-0398-2.
- Sharma, A., Bemis, M., Desilets, A. R. 2014. Role of medium chain triglycerides (AxonaVR) in the treatment of mild to moderate Alzheimer's disease. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias VR* vol. 29 no. 5 pp. 409–14
- Soliman, S., Faris, M. E., Ratemi, Z. A R. Halwani, R 2020. Switching host metabolism as an approach to dampen SARS-CoV-2 Infection. In *Annals of Nutrition & Metabolism* [on-line] vol. 76 no. 5 pp. 297–7. Dostupné na: doi: 10.1159/000510508.
- St-Onge, M., P. Jones. 2003. Greater rise in fat oxidation with medium-chain triglyceride consumption relative to long-chain triglyceride is associated with lower initial body weight and greater loss of subcutaneous adipose tissue. *International Journal of Obesity* [on-line] vol. 27 no. 12 pp. 1565–1571. Dostupné na: doi: 10.1038/sj.ijo.0802467.
- Reger, M. A., Henderson, S. T., C. Hale, C., B. Cholerton, B., Baker, L.D., Watson, G.S., Hyde, K., Chapman, D., Craft S. 2004. Effects of b-hydroxybutyrate on cognition in memory-impaired adults. In *Neurobiology of Aging* vol. 25 no. 3 pp. 311–314. Dostupné na: doi: 10.1016/S0197- 4580(03)00087-3
- Qian, Cheng, Decker, Eric Andrew, Xiao, Hang. 2012. Nanoemulsion delivery systems: Influence of carrier oil on β -carotene bioaccessibility. *Food Chemistry* [on-line] Vol. 135, no. 3, pp. 1440–1447. Dostupné na: DOI 10.1016/j.foodchem.2012.06.047.
- Roy, Claude C., Ste-Marie, Micheline, Chartrand, Liette, 1975. Correction of the malabsorption of the preterm infant with a medium-chain triglyceride formula. In *The Journal of Pediatrics* [on-line]. March 1975, Vol. 86, no. 3, pp. 446–450. Dostupné na: DOI 10.1016/s0022-3476(75)80983-8
- Vyhláška č. 424/2012 Z. z. Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú požiadavky na jedlé rastlinné tuky a jedlé rastlinné oleje a výrobky z nich.
- Walker, Rebecca M., Gumus, Cansu E., Decker, Eric A. 2017. Improvements in the formation and stability of fish oil-in-water nanoemulsions using carrier oils: MCT, thyme oil, & lemon oil. *Journal of Food Engineering* [on-line]., Vol. 211, pp. 60–68. Dostupné na: DOI 10.1016/j.jfoodeng.2017.05.004
- Wong, Chung Yiin, Aris, Muhammad Naeim Mohd, Daud, Hanita, Man Kee Lam, Ching Seong Yong, Hadura Abu Hasan, Siewhui Chong, Pau Loke Show, Oetami Dwi Hajoeningtjas, Yeek Chia Ho. 2020. In-Situ Yeast Fermentation to Enhance Bioconversion of Coconut Endosperm Waste into Larval Biomass of *Hermetia illucens*: Statistical Augmentation of Larval Lipid Content. In *Sustainability* [on-line]. Vol. 12, no. 4, pp. 1558. Dostupné na: DOI 10.3390/su12041558
- Zhao J. H.; Zhang, Y. F. a Dong, Z. L. 2024. Research progress on processing technology and functional activity of virgin coconut oil. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, vol. 39 no. 1 pp. 226–234. Dostupné na: <https://doi.org/10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.000176>

Kontaktná adresa: Ing. Matej Mázor., Ústav potravinárstva, FBP SPU v Nitre. Tr. . Hlinku 2, 949 76 Nitra, Email: xmazor@uniag.sk

GENERATION Z AND PLANT-BASED MEAT ALTERNATIVES: EXPLORING CONSUMPTION PATTERNS AND SENSORY ATTRIBUTES

GENERÁCIA Z A RASTLINNÉ NÁHRADY MÄSA: SKÚMANIE SPOTREBITEĽSKÉHO SPRÁVANIA A SENZORICKÝCH ATRIBÚTOV

Kristína Predanócyová, Patrícia Joanidis

Abstract: The current food market faces significant challenges related to health and environmental sustainability, with animal production being one of the most discussed sectors. It is expected that in the future it will be necessary to partially replace meat and meat products with plant-based alternatives. The study is focused on the consumer attitudes of Generation Z towards the plant-based meat substitutes consumption and to identify consumption patterns affecting the shaping of the future market for meat and meat alternatives. The results can be applied in the development of new food products and in supporting consumer behaviour oriented towards healthy and sustainable eating.

Keywords: plant based meat substitutes, Generation Z, consumption, consumer perception, sensory attributes

Introduction

In recent years, there has been a significant increase in interest in plant-based meat alternatives, which are gradually establishing themselves as a significant segment in the current food market. The indicated trend is the result of a complex interplay of several factors, including the growing emphasis on a healthy lifestyle, environmental sustainability and ethical aspects related to the production of animal foods. Increased consumer awareness of the environmental consequences of intensive animal production, including deforestation and excessive greenhouse gas emissions contributes to a shift in consumer preferences towards alternative, plant-based sources of protein. In the context of the above, the aim of the paper is to examine the inclusion of plant-based alternatives in the diet of young consumers and to identify perceptions of aspects of the consumption of plant-based meat substitutes and their sensory attributes decisive for the choice of these foods with a perspective for the future.

Literature review

Meat and meat products play a significant role in consumers' diets. Their consumption is influenced by current trends in the food market and dynamic consumer behaviour. Meat and meat products provide important nutrients such as protein, vitamins and minerals that are essential for consumers (Pereira et al., 2013). On the other hand, excessive consumption of meat, especially red and processed meat, may pose health risks (Boutron-Ruault et al., 2017) and may be associated with an increased risk of chronic diseases such as cancer type-2 diabetes, and coronary heart disease (Budreviciute et al., 2020).

Meat consumption is controversial not only from a health perspective, but also from an environmental perspective. Gerber et al. (2013) point out in their study that sizeable share of greenhouse gas emissions come from livestock farming, which contributes to global warming and biodiversity loss. Also, livestock farming has a significant impact on soil and water resources, leading to deforestation and eutrophication (Aleksandrowicz, et al., 2016; Berardy et al., 2020). In the context of environmental challenges, there is also a discussion about meat

production that requires a greater amount of natural resources, especially water and land, compared to other foods (Szenderák et al., 2022).

In this context, health aspects of sustainability are gaining importance in the food market. Consumers are therefore increasingly preferring diets that reduce or completely eliminate the consumption of animal products. In response to these trends, different types of diets can be distinguished (Noguerol et al., 2021). Veganism is a diet that does not include any products of animal origin. Vegetarianism focuses on a plant-based diet without meat, but includes eggs, honey, and dairy products (Alcorta et al., 2021). Flexitarianism refers to a diet with reduced consumption of meat and meat products (Derbyshire, 2017). This approach can help eliminate environmental and health sustainability issues (Dagevos, 2021). Plant-based meat substitutes are being developed to meet consumer demand and compete with meat products (Boukid, 2021). Plant-based meat alternatives have similar nutritional value compared to animal products, although the development and production of these products face technological challenges. Consumer awareness of the negative impacts of meat and meat products consumption on the environment and human health may contribute to the increased demand for this type of food (Ahmad et al., 2022).

Material and methods

The consumer study is based on a questionnaire survey focused on the young consumers from Generation Z, who represents a key target group for plant-based meat substitutes consumption. The aim of the survey was to identify the inclusion of plant-based meat substitutes in their current diet, their preference for consuming types of these alternatives, their perception of aspects of their consumption and sensory attributes, as well as their willingness to continue consuming them in the future. The questionnaire survey was conducted in the Slovak Republic in the period 2022 - 2024 on a sample of 353 respondents, who were subsequently divided into categories according to gender, education, place of residence, number of household members and net monthly household income (Table 1).

Table 1. Socio-demographic profile of sample

		n	%
Gender	male	88	24.93
	female	265	75.07
Education	elementary	22	6.23
	secondary	119	33.71
	university	212	60.06
Members in household	1 member	4	1.13
	2 members	51	14.45
	3 members	95	26.91
	4 members	141	39.94
	≥ 5 members	62	17.56
Place of residence	urban	148	41.93
	rural	205	58.07
Monthly income of household	≤ 1,000 €	47	13.31
	1,001-2,000 €	187	52.97
	2,001-3,000 €	80	22.66
	3,001-4,000 €	24	6.80
	≥4,001€	15	4.25

The first part of the questionnaire focused on the eating habits and the inclusion of plant-based foods in daily diet of young consumers. Respondents classify themselves into one of four dietary categories: omnivore, moderate flexitarian, long-term flexitarian, vegetarian/vegan. In connection with this question, the influence of gender on the choice of diet was also analysed, using the Chi-square test of square contingency.

The next part of the survey focused on the importance of the aspect of sustainability in diet. Respondents expressed their level of agreement on a five-point Likert scale, where the value 1 represented high importance and 5 represented no importance.

In the context of sustainability, the survey also focused on the current inclusion of specific plant-based alternatives to meat in the respondents' diet. Consumption of products such as soy, tofu, tempeh, klaso, robi, quorn and seitan was assessed.

Subsequently, respondents rated the degree of agreement with statements expressing their attitudes towards plant-based meat substitutes. The statements concerned attributes such as: healthy food, tasty food, nutritious food, safe food, affordable food, moral food, ecological food and sustainable food, were evaluated on a scale from 1 (completely disagree) to 5 (completely agree). The Friedman test, followed by the Nemenyi post-hoc test, was used to analyze statistically significant differences between individual statements.

Respondents also determined the importance of sensory attributes in the process of decision-making. They rated attributes such as taste, smell, texture, colour, and appearance on a five-point scale, with 1 representing high importance and 5 representing low importance.

Data were obtained by the questionnaire survey and evaluated by statistical software XLSTAT 2022.4.1. For the purposes of statistical testing, a significance level was set to 0.05.

Results and discussion

The results of the consumer study indicate that more than 40% of Slovak consumers of generation Z classify themselves as omnivores. An interesting finding is that up to 38.0% of young consumers are starting to reduce their meat consumption, which indicates a growing interest in the flexitarian way of eating. Another 8.2% of consumers can be classified as strong and long-term flexitarians, as their diet consists of a balanced proportion of animal and plant foods. The results also show that 9.8% of respondents completely exclude animal products and prefer exclusively plant-based foods.

In the context of eating habits, a statistically significant influence of gender was examined. Based on the results of the Chi-square test of the square contingency (p -value = 0.013), we identified that men have a stronger tendency to consume meat and meat products compared to women. On the other hand, women are more inclined to follow a plant-based diet and are more frequently represented among flexitarians, vegetarians, and vegans compared to men (Figure 1).

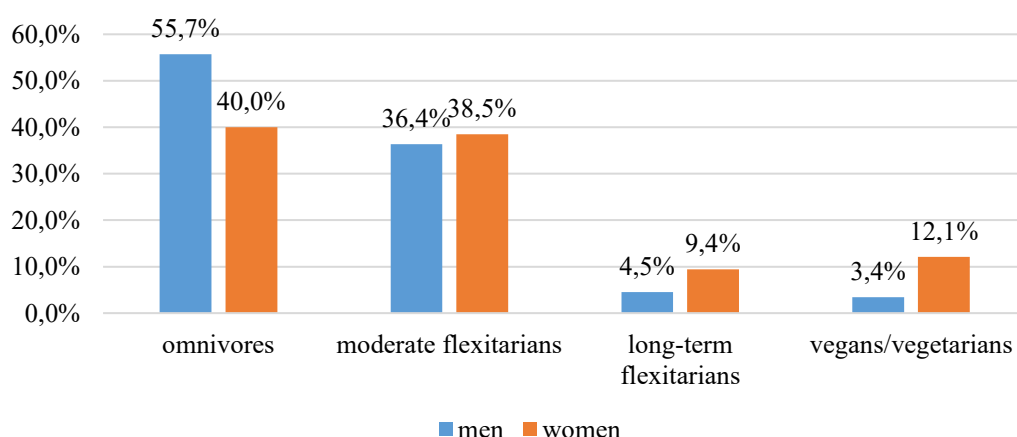


Figure 1. Incorporating plant-based alternatives into the diets of Generation Z consumers

In the context of the necessity to shift eating habits towards more sustainable consumption, including plant-based meat substitutes, the study aimed to evaluate the perception of the importance of the sustainability aspect among young consumers in the process of decision-making about meat consumption with a perspective for the future. The results showed that

approximately 40% of respondents consider the mentioned aspect to be extremely important. Approximately the same proportion of consumers expressed a neutral opinion. On the other hand, almost 20% of young consumers do not consider sustainability to be a key determinant influencing the future development of the meat market, nor as a relevant factor for changing eating habits towards plant-based alternatives.

The next part of the research focused on the current consumption of plant-based meat alternatives among young consumers of Generation Z. Based on the results obtained, it can be stated that the most commonly consumed plant-based meat substitutes are soy and tofu, which are preferred by approximately two-thirds of young consumers. Conversely, the least known and least consumed alternatives are products such as quorn, seitan, klaso and robi (Table 2).

Table 2. Consumption of plant-based alternatives by Generation Z consumers

Plant-based meat substitutes	Consumption		Non-consumption	
	n	%	n	%
soy	229	64.87	124	35.13
tempeh	59	16.71	294	83.29
tofu	244	69.12	109	30.88
quorn	16	4.53	337	95.47
klaso	20	5.67	333	94.33
robi	20	5.67	333	94.33
seitan	20	5.67	333	94.33

Another element examined in the research was the perception of plant-based meat alternatives by young consumers. The findings show that plant-based meat substitutes are perceived by this group predominantly positively and respondents describe them as morally acceptable, ecologically sustainable, as well as beneficial to health, nutritious and safe. On the other hand, consumers of Generation Z evaluate these products as less attractive in taste and less affordable compared to traditional meat and meat products. In the context of consumer evaluation of individual aspects of plant-based meat substitutes, the Friedman test was applied and statistically significant differences in the evaluation of individual characteristics were identified (p -value < 0.0001). The subsequent application of the Nemenyi post-hoc test revealed which specific aspects were evaluated significantly differently by consumers and which were assessed similarly (Figure 2).

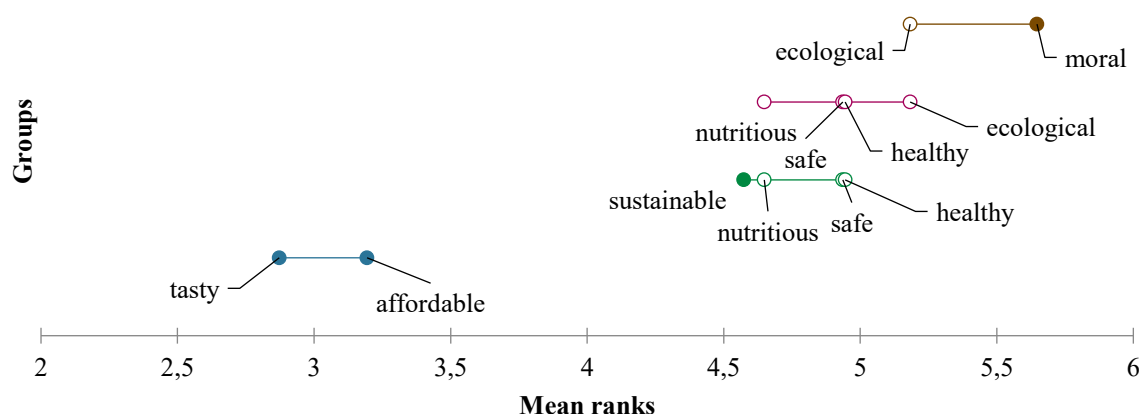


Figure 2. Consumer perception of consumption-related aspects of plant-based meat substitutes

A significant part of the survey was the evaluation of sensory attributes, which play a key role in the willingness of young consumers to consume plant-based alternatives to meat and meat

products. The results of the mean analysis (Figure 3) showed that the most important sensory attribute in the choice of these products is taste (mean = 2.30). This is followed by aroma (mean = 2.72), appearance (mean = 2.81), texture (mean = 2.85) and colour (mean = 2.91). By applying the Friedman test, statistically significant differences in the evaluation of individual sensory attributes were identified (p -value < 0.0001). These results confirm that taste represents a more significant motivational factor for the consumption of plant-based meat substitutes than other sensory attributes.

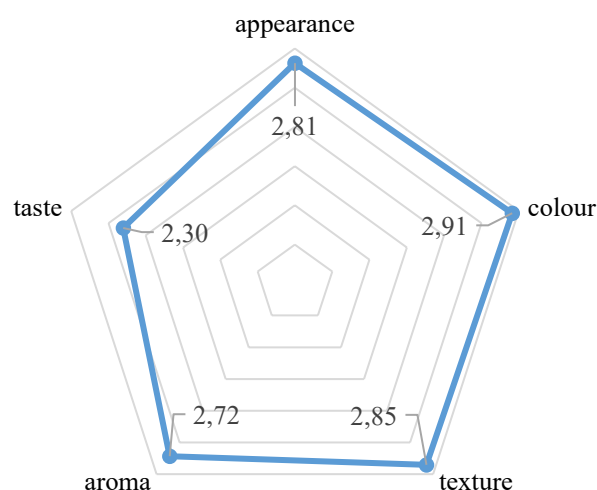


Figure 3. Sensory attributes as motivational factors for the consumption of plant-based meat substitutes

The last part of the survey was focused on the willingness of young consumers to consume plant-based meat alternatives in the future. The results of the study showed that almost 35% of respondents who already consume these products plan to continue consuming them. 41.9% of consumers expressed an interest in starting to consume plant-based alternatives, and the main reasons are considered to be mainly sustainability and health benefits associated with these products. On the other hand, almost 25% of Generation Z consumers do not plan to consume plant-based alternatives in the future. The main barriers include a strong habit of consuming traditional meat and meat products, as well as concerns about the taste properties of these alternatives.

The results of a study conducted among the younger generation of consumers point to the fact that women are currently including plant-based foods in their diet to a greater extent than men. Based on this finding, it can be assumed that women will play a key role in shaping the future market for plant-based alternatives to meat and meat products, representing its dominant consumer segment. Among the available plant-based alternatives, soy and tofu are the most commonly consumed, which can be attributed to their relatively stable and long-term presence in the food market. Other types of plant-based alternatives are currently consumed at a significantly lower rate. The potential for increasing their consumption exists primarily due to the growing interest of consumers in a healthy lifestyle and increasing emphasis on the quality of the food consumed as well as the ongoing shift towards sustainable consumer behaviour (Predanócyová et al., 2023; Horská et al., 2023). Plant-based meat substitutes could be one of the possible foods met the mentioned requirement, but a significant factor influencing consumer acceptance is the sensory properties of the products, especially their taste. The results of the study conducted by Vural et al. (2023) showed that plant-based meat alternatives can be accepted, although meat consumers perceive them as less tasty, but healthier. This finding is

also supported by the study conducted by Malila et al. (2025), according to which the optimization of the sensory attributes of products is a necessary.

Conclusion

The growing pressure to reduce environmental impact and improve health aspects of diet creates new opportunities for the development of plant-based meat substitutes. Despite technological progress and the expansion of these products on the market, their long-term acceptance by consumers remains a challenge. For this reason, the aim of the paper was to explore the possibilities of incorporating plant-based foods into the diet of the younger generation as a potential consumer segment for the plant-based meat alternatives market and to examine consumer patterns and sensory attributes as the main motives for increasing the acceptance of these products. The study allows for a better understanding of young consumers' preferences, taking into account the sensory properties of products for current and future consumption of plant-based meat substitutes. Manufacturers and marketing experts should reflect not only nutritional and environmental aspects, but also emotional and social factors influencing the acceptance of these products. Future research should focus on exploring consumer attitudes across age and cultural groups, testing factors influencing willingness to consumption, and examining the interaction between sensory attributes and consumers' value orientations, particularly in the context of their purchasing decisions.

Acknowledgements

This publication was supported by grant number 01-GA-SPU-2024 "Support of innovations in the food industry through the "Food Incubator", and by the Operational Program Integrated Infrastructure within the project: Demand-driven Research for the Sustainable and Innovative Food, Drive4SIFood 313011V336, cofinanced by the European Regional Development Fund.

References

- Ahmad, M., Qureshi, S., Akbar, M. H., Siddiqui, S. A., Gani, A., Mushtaq, M., Hassan, I., Dhull, S. B. 2022. Plant-based meat alternatives: Compositional analysis, current development and challenges. *Applied Food Research*, vol. 2, no. 2, p. 100154. ISSN 2772-5022. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100154>
- Alcorta, A., Porta, A., Tárrega, A., Alvarez, M. D., Vaquero, M. P. 2021. Foods for plant-based diets: Challenges and innovations. In *Foods*, vol. 10, no. 2, p. 293. ISSN 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods10020293>
- Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E. J., Smith, P., Haines, A. 2016. The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and Health: A Systematic Review. In *PLOS ONE*, vol. 11, no. 11, p. e0165797. ISSN 1932-6203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165797>
- Berardy, A., Fresán, U., Matos, R. A., Clarke, A., Mejia, A., Jaceldo-Siegl, K., Sabaté, J. 2020. Environmental impacts of foods in the adventist health study-2 dietary questionnaire. In *Sustainability*, vol. 12, no. 24, p. 10267. ISSN 2071-1050. <https://doi.org/10.3390/su122410267>
- Boukid, F. 2021. Plant-based meat analogues: from niche to mainstream. In *European Food Research and Technology*, vol. 247, pp. 297–308. ISSN 1438-2385. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03630-9>
- Boutron-Ruault, M.C., Mesrine, S., Pierre, F. 2017. Meat consumption and health outcomes. In *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention*. Academic Press, pp. 197–214, ISBN 9780128039687. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803968-7.00012-5>
- Budreviciute, A., Damiati, S., Sabir, D. K., Onder, K., Schuller-Goetzburg, P., Plakys, G., Katileviciute, A., Khoja, S., Kodzius, R. 2020. Management and prevention strategies for non-communicable diseases (NCDS) and their risk factors. In *Frontiers in Public Health*, vol. 8, p. 574111. ISSN 2296-2565. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.574111>
- Dagevos, H. 2021. Finding flexitarians: Current studies on meat eaters and meat reducers. In *Trends in Food Science & Technology*, vol. 144, pp. 530–539. ISSN 1879-3053. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.021>
- Pereira, P. M., Vicente, A. F. 2013. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. In *Meat Science*, vol. 93, no. 3, pp. 586–592. ISSN 0309-1740. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.018>
- Derbyshire, E. J. 2017. Flexitarian diets and health: A review of the evidence-based literature. In *Frontiers in Nutrition*, vol. 3, p. 55. ISSN 2296-861X. <https://doi.org/10.3389/fnut.2016.00055>
- Gerber, P. J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A. T., Yang, W. Z., Tricarico, J. M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., Oosting,

S. 2013. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: A Review. In *Animal*, vol. 7, pp. 220–234. ISSN 1751-732X. <https://doi.org/10.1017/s1751731113000876>

Horská, E., Janšto, E., Šedík, P. 2023. The role of iGeneration and silver generation in shaping sustainable food markets: A cross-generational analysis in Slovakia. In *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 7, p. 1240750. ISSN 2571-581X. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1240750>

Malila, R.-M., Pennanen, K., Luomala, H. T. 2025. Meat alternative consumers still frowned upon in Europe: Analysis of stereotypical, emotional and behavioral responses of observing others. In *Food Quality and Preference*, vol. 125, p. 105380. ISSN 0950-3293. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2024.105380>

Noguerol, A. T., Pagán, M. J., García-Segovia, P., Varela, P. 2021. Green or clean? perception of clean label plant-based products by omnivorous, vegan, vegetarian and Flexitarian consumers. In *Food Research International*, vol. 149, p. 110652. ISSN 0963-9969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110652>

Predanócyová, K., Šedík, P., Horská, E. 2022. Exploring consumer behavior and attitudes toward healthy food in Slovakia. In *British Food Journal*, vol. 125, no. 6, pp. 2053–2069. ISSN 1758-4108. <https://doi.org/10.1108/bfj-06-2022-0517>

Szenderák, J., Fróna, D., Rákos, M. 2022. Consumer acceptance of plant-based meat substitutes: A narrative review. In *Foods*, vol. 11, no. 9, p. 1274. ISSN 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods11091274>

Vural, Y., Ferriday, D., Rogers, P. J. 2023. Consumers' attitudes towards alternatives to conventional meat products: Expectations about taste and satisfaction, and the role of disgust. In *Appetite*, vol. 181, p. 106394. ISSN 1095-8304. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2022.106394>

Contact Address: Ing. Kristína Predanócyová, PhD., Patrícia Joanidis, AgroBioTech Research Centre, Slovak University of Agriculture in Nitra, Trieda A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia, kristina.predanocyova@uniag.sk

DEVELOPMENT AND PROSPECTS OF WALNUT PRODUCTION IN THE SLOVAK REPUBLIC

VÝVOJ A PERSPEKTÍVY PRODUKCIE VLAŠSKÝCH ORECHOV V PODMIENKACH SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Kristína Predanócyová

Abstract: Walnuts are an important raw material in the food industry and human nutrition due to their nutritional profile and health benefits. Given their high potential, this paper presents a comprehensive analysis of walnut production in Slovakia, focusing on its development, prospects, and the factors influencing its dynamics, as well as trends in walnut consumption. The results indicate low walnut consumption in Slovakia but high production possibilities, thanks to which it is possible to use walnuts in the food industry and for expanding the range of healthier food products.

Keywords: walnuts, market, production, consumption, Slovakia

Introduction

Walnuts represent an important raw material in the field of nutrition and the food industry due to their high content of health-promoting substances. Walnut consumption can positively impact consumer health and is associated with beneficial effects on cardiovascular function, metabolism, and the prevention of chronic diseases.

Despite these benefits, walnut consumption in Slovakia remains relatively low, which may be a consequences of changing consumer preferences, limited product availability, or the presence of alternative food products. At the same time, changes in walnut production and trade have been observed, influenced by both global trends and local conditions.

In the context of these factors, the aim of this paper is to analyse the current state of walnut production in Slovakia and explore production opportunities and prospects to enhance walnut consumption. The findings will contribute to a better understanding of production dynamics and to identify opportunities for developing innovative food products from walnuts.

Literature review

Nuts have been considered an integral part of the human diet for many years and, thanks to their composition, they have been used in medicine since ancient times. From a botanical point of view, nuts are diversified into two basic groups, namely nuts and peanuts. Peanuts are classified as legumes, but from a nutritional and compositional point of view they show a high similarity to nuts such as walnuts, almonds, hazelnuts, cashews and pistachios (Balakrishna et al., 2022; Gonçalves et al., 2023; De Souza et al., 2017).

In the coming years, walnuts have a significant potential for growth, which have a favourable composition and a positive impact on the health of consumers, especially the walnut kernels have a high nutritional value (Jarai and Koller, 2024; Jahanban-Esfahlan et al., 2019). Walnuts are currently consumed worldwide due to their availability, but also due to their content of important nutritional components, high lipid content consisting mainly of unsaturated fatty acids, but also carbohydrates, fiber, proteins, sterols, minerals (potassium, calcium, magnesium, phosphorus) and vitamins C, B and E (Tlais et al., 2020; Mir et al., 2016). However, Binici et al. (2021) emphasize that the composition of nuts, the content of vitamins, minerals and fatty acids of walnuts depends on climatic conditions, such as temperature and humidity. Wu et al. (2021) further emphasize that walnuts also contain polyphenolic substances, which are

responsible for antioxidant and antimicrobial activity, have anti-inflammatory effects and prevent cellular damage caused by oxidative stress. Walnuts are considered a very valuable food and play an important role in cognitive performance and improving memory. A diet enriched with walnuts has a positive impact on consumers suffering from brain disorders and other chronic diseases (Chauhan and Chauhan, 2020).

High nutritional benefits offer the possibility of incorporating walnuts into innovative products, which could also be used as an alternative to other foods (Popovici et al., 2024). Currently, there is a tendency worldwide to produce healthier foods and use walnuts as a healthier alternative, e.g. to chocolate-nut spreads (Covaliov et al., 2022), to meat products (Spence et al., 2023), etc. The above approach could make the traditional walnuts more attractive to consumers and strengthen the consumption of healthy foods.

Material and methods

The object of the study is the walnut market, while the subject of the analysis is production parameters (production area, number of trees, harvest area, production volume), as well as the level of domestic consumption. The aim is to identify development trends and the main factors determining changes in the walnut production in the Slovak market.

Time series analysis methods were used to analyse the development, including the calculation of the average growth/decline coefficient ($\bar{k}$), which is defined as follows:

$$k = \sqrt[n-1]{k_2 * k_3 * \dots * k_n}$$

In connection with the identified trends, a regression analysis of selected economic indicators was also carried out, with the following types of regression functions applied:

Linear function is expressed by the formula: $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$ $i=1,2, \dots, n$

Quadratic function is expressed by the formula: $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \varepsilon_i$ $i=1,2, \dots, n$

where: y_i - i -th observed value of the explained variable,

β_0, β_1 - unknown parameters of the regression model,

x_i - i -th value of the explanatory variable,

ε_i - number of observations (Pacáková et al., 2009).

The data were obtained from the Statistical Office of the Slovak Republic and the Ministry of Agriculture and Regional Development of the Slovak Republic. The obtained data were subsequently processed and analysed in Microsoft Excel.

Results and discussion

The walnut production area in Slovakia showed a significant increase between 2009 and 2023 (Figure 1). While in 2009 it covered only 193 hectares, by 2023 it had reached 1,538 hectares, representing an increase of more than 800%. The average annual growth coefficient of the production area reached 1.16. The most significant year-on-year increase occurred between 2013 and 2014, when the production area by almost 130 % (from 313 ha to 719 ha). This increase can be explained by a significant increase in the number of trees, which increased from 50,993 to 86,110 in the same period. grew almost continuously throughout the monitored period, from the original 40,919 (2009) to 277,974 (2023), which represents a growth of more than 600 %, with an average annual growth rate of 1.15. This trend is evidenced by the continuous expansion of plantations, particularly through the establishment of new intensive orchards. If this trend continues, we can assume a gradual increase in walnut production areas. The development of production areas with a forecast until 2026 was described using a linear regression function as follows:

$$q_t = 10.19 + 117.29 \cdot t \quad R^2 = 0.949$$

The harvesting area has experienced even more dynamic growth than the production area (Figure 1). In 2009, the harvesting area covered only 88 hectares, but by 2023 it had reached 1,261 hectares, representing an increase of more than 1,400%. The average annual growth rate was 1.21, indicating a faster rate of bringing plantations into production compared to the overall expansion of production area. The trend in harvesting area development was described using the following quadratic regression function, and it is likely that this growth will continue in the coming years:

$$q_t = 156 - 66.132 \cdot t + 10.093 \cdot t^2 \quad R^2 = 0.9242$$

It is essential to emphasize the proportion of the harvesting area relative to the total production area, as it reflects both the fertility of the plantations and the efficiency of land use. This share fluctuated significantly in the early years, starting at 45.6% in 2009, dropping to 17.5% in 2010, and then increasing gradually in the following years. The lowest levels were recorded during the period of extensive new plantings (2014–2017), when the share repeatedly fell below 25%—a consequence of young plantations not yet reaching fertility. Since 2018, the situation has changed notably. Between 2019 and 2023, the share of the harvested area stabilized and grew, peaking at 93.91% in 2020, which represents exceptionally high utilization of production areas. In subsequent years, the share slightly declined to 86.99% (2021), 77.00% (2022), and 81.99% (2023). This development reflects the maturation of plantations, a shift from the investment phase to stable production, and improvements in management efficiency.

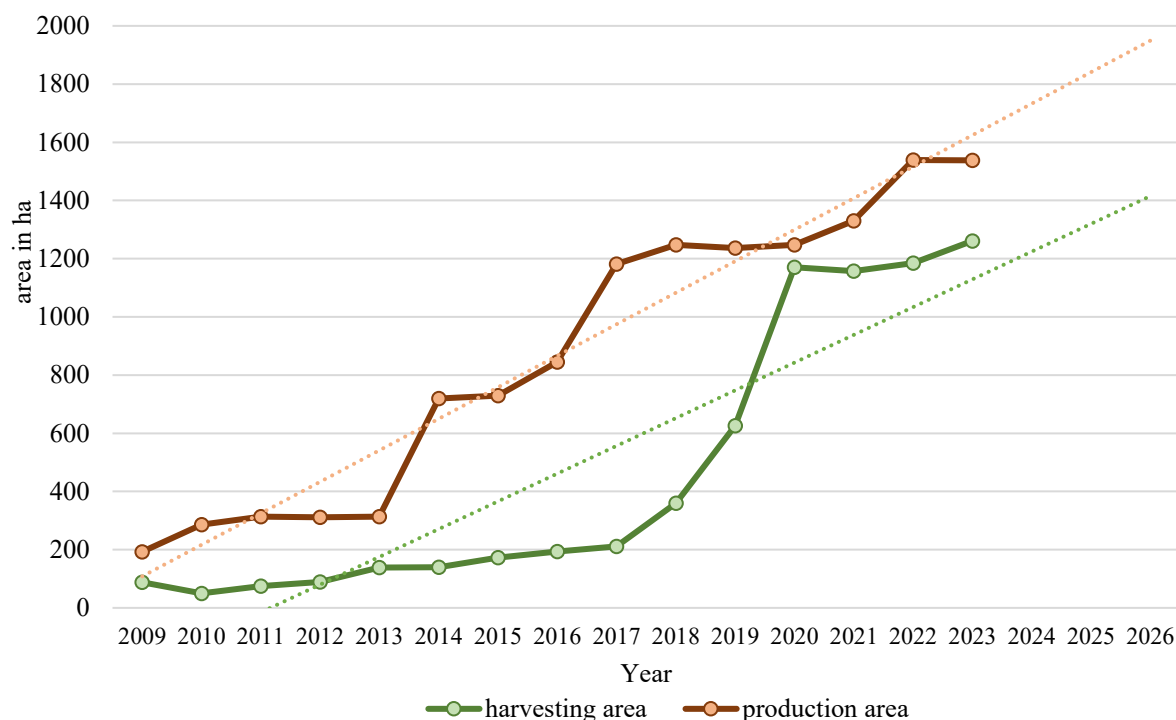


Figure 1. Development of walnut production area and walnut harvesting area
Source: Ministry of Agriculture and Rural Development of the Slovak Republic, 2025

Walnut production in the monitored period from 2009 to 2023 shows two different development periods, on the one hand, long-term stagnation and on the other hand, a subsequent increase (Figure 2). From 2009 to 2017, production remained very low and stable, ranging mainly between 5 and 9 tonnes, with a short-term decrease to 2 tonnes in 2010. The mentioned period

can be characterized as a phase of stagnation, probably due to limited planting of new walnut orchards, lack of investment in cultivation, or unfavourable climatic and growing conditions. In 2018, production increased to 28 tonnes and the growth may be related to the maturation of plantations established several years earlier, improved cultivation technologies, or favourable climatic conditions. However, production declined again in 2019 and 2020 to 16 and 13 tonnes, possibly reflecting natural fluctuations caused by frost, disease, or drought. After that, walnut production increased again in 2021 to 34 tonnes, followed by sharp increases in 2022 and 2023, reaching 137 and 183 tonnes. This growth should be the result of several factors, including the gradual maturation of large walnut plantations, intensified agriculture, increased demand for walnuts, and favourable weather during the growing seasons. Over the monitored period, the average growth rate reached 29.3%, indicating an increasing trend in walnut production. Given these favourable developments, continued growth is expected in the coming years, with walnut production potentially exceeding 200 tonnes per year. The trend in production development was described by the following regression function:

$$q_t = 44.053 - 19.689 \cdot t + 1.7451t^2 \quad R^2 = 0.7745$$

However, the growth in walnut production was driven not only by the expansion of harvesting areas but also by increased yields from existing plantations. Possible factors include improved agricultural technology, the maturation of intensive plantations, and more targeted protection against pests and diseases. Yield per hectare increased from 0.05 tonnes to 0.14 tonnes during the monitored period, representing an increase of nearly threefold.

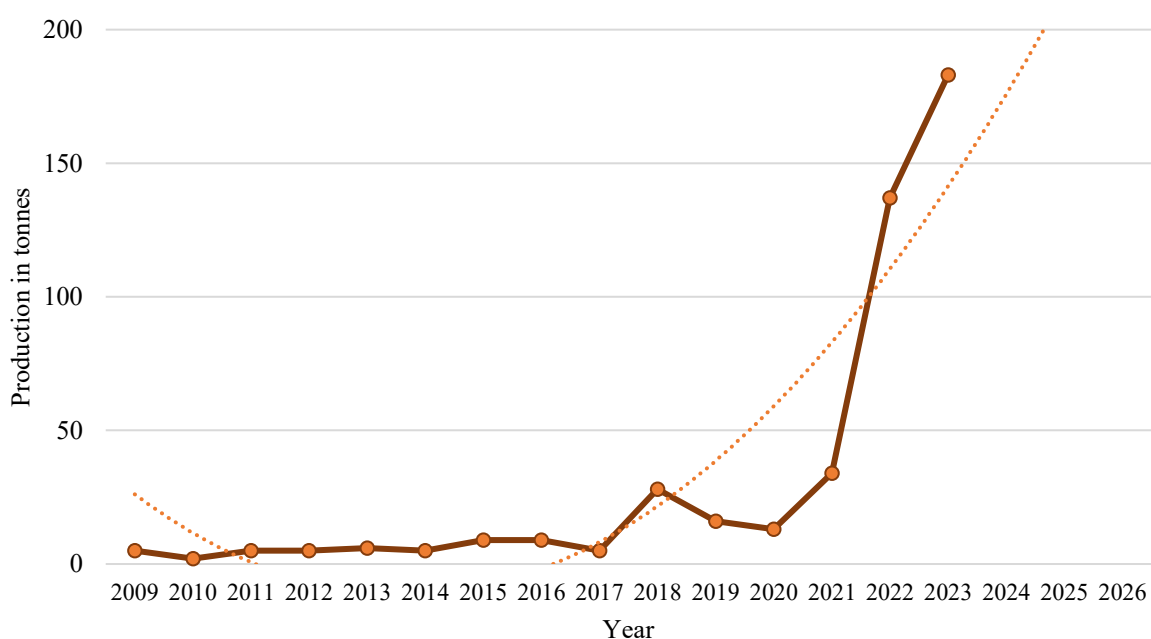


Figure 2. Development of annual walnut production

Source: Ministry of Agriculture and Rural Development of the Slovak Republic, 2025

Table 1. Development of walnut production in Slovakia

Year	Production area (ha)	Number of trees (pcs)	Harvesting area (ha)	Harvesting area / Production area (%)	Walnut production (t)	Hectare yield (t/ha)
2009	193.00	40919.00	88.00	45.60	5.00	0.05
2010	286.00	45783.00	50.00	17.48	2.00	0.05
2011	313.00	34088.00	75.00	23.96	5.00	0.07
2012	311.00	49945.00	89.00	28.62	5.00	0.06
2013	313.00	50993.00	139.00	44.41	6.00	0.05
2014	719.00	86110.00	140.00	19.47	5.00	0.04
2015	729.00	88952.00	173.00	23.73	9.00	0.05
2016	845.00	136610.00	194.00	22.96	9.00	0.05
2017	1181.00	198073.00	211.00	17.87	5.00	0.02
2018	1247.00	209350.00	360.00	28.87	28.00	0.08
2019	1237.00	209705.00	626.00	50.61	16.00	0.03
2020	1247.00	211883.00	1171.00	93.91	13.00	0.01
2021	1330.00	235156.00	1157.00	86.99	34.00	0.03
2022	1539.00	277863.00	1185.00	77.00	137.00	0.12
2023	1538.00	277974.00	1261.00	81.99	183.00	0.14
2023/22 %	-0.06	0.04	6.41	6.48	33.58	16.67

The analyzed data show that the Slovak Republic has favorable conditions and significant potential for walnut cultivation and production. Despite the positive trend in production growth, the country has not yet achieved self-sufficiency. According to the Statistical Office of the Slovak Republic (2025), current domestic walnut consumption is approximately 330 tonnes per year, so a significant portion of consumption must be covered by imports.

It is also important to highlight that annual walnut consumption per capita is very low—only 0.1 kg (Statistical Office of the Slovak Republic, 2025). Therefore, it is necessary to underscore the need to make walnuts more attractive to Slovak consumers by raising awareness of their nutritional and health benefits.

For these reasons, it is necessary to continue expanding walnut production capacities, support new plantings, and increase the Slovak Republic's level of self-sufficiency. Attention should also be given to innovations in walnut processing, particularly the development of new walnut-based food products, which could enhance their added value.

Conclusion

The results of the analysis confirm that Slovakia has significant potential for the development of walnut production, as evidenced by the steadily growing production and harvesting areas, along with favourable conditions. Nevertheless, domestic consumption of walnuts remains at a relatively low level.

The above indicates the need to strengthen support for domestic production and focusing attention on the development of innovative food products with added value, which could make walnuts attractive to consumers. Increasing awareness of the health benefits of walnuts and their integration into food products can significantly contribute to stimulating the domestic market.

Looking ahead, it is crucial, it is crucial to continue supporting walnut production and creating conditions for the development of new food products in order to ensure the sustainability of the analysed market. In the future, it is appropriate to monitor the situation on the walnut market and examine consumer acceptance of walnuts-based foods.

Acknowledgements: This publication was supported by the project VEGA No. 1/0369/25 “Consumer trends as an accelerator of innovation in the development of a food product from walnuts” from The Ministry of Education, Research, Development and Youth of the Slovak Republic, and by grant number 01-GA-SPU-2024 “Support of innovations in the food industry through the "Food Incubator"”.

References

- Balakrishna, R., Bjørnerud, T., Bemanian, M., Aune, D., Fadnes, L. T. 2022. Consumption of nuts and seeds and health outcomes including cardiovascular disease, diabetes and metabolic disease, cancer, and mortality: An Umbrella Review. *Advances in Nutrition*, vol. 13, no. 6, pp. 2136–2148. ISSN 2161-8313. <https://doi.org/10.1093/advances/nmac077>
- Binici, H. İ., Şat, İ., Aoudeh, E. 2021. Nutritional composition and health benefits of Walnut and its products. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 52, no. 2, pp. 224–230. ISSN 1300-9036.
- Covaliov, E., Siminiuc, R., Popovici, V. 2023. Walnut Paste: A healthy alternative for nutella consumers. *The Eurasia Proceedings of Health, Environment and Life Sciences*, vol. 8, pp. 28–35. ISSN 2791-8033. <https://doi.org/10.55549/ephels.49>
- De Souza, R., Schincaglia, R., Pimentel, G., Mota, J. 2017. Nuts and human health outcomes: A systematic review. *Nutrients*, vol. 9, no. 12, p. 1311. ISSN 2072-6643. <https://doi.org/10.3390/nu9121311>
- Gonçalves, B., Pinto, T., Aires, A., Morais, M. C., Bacelar, E., Anjos, R., Ferreira-Cardoso, J., Oliveira, I., Vilela, A., Cosme, F. 2023. Composition of nuts and their potential health benefits—an overview. *Foods*, vol. 12, no. 5, p. 942. ISSN 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods12050942>
- Chauhan, A., Chauhan, V. 2020. Beneficial effects of walnuts on cognition and Brain Health. *Nutrients*, vol. 12, no. 2, p. 550. ISSN 2072-6643. <https://doi.org/10.3390/nu12020550>

Jahanban-Esfahlan, A., Ostadrahimi, A., Tabibiazar, M., Amarowicz, R. 2019. A comparative review on the extraction, antioxidant content and antioxidant potential of different parts of walnut (*Juglans regia* L.) fruit and tree. *Molecules*, vol. 24, no. 11, p. 2133. ISSN 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules24112133>

Jarai, D., Koller, A. 2024. Walnut consumption may contribute to healthy cardiovascular/endothelial function by maintaining membrane integrity. *Life*, vol. 14, no. 11, p. 1426. ISSN 2075-1729. <https://doi.org/10.3390/life14111426>

Ministry of Agriculture and Rural Development of the Slovak Republic. 2025. *Komoditné situačné a výhľadové správy*. <https://www.mpsr.sk/strategie-analyzy-a-prierezove-cinnosti/komoditne-situacne-a-vyhľadove-spravy-od-2020/1-242-1530>

Mir, G., Owais, N., Uzma, I. 2016. Scientific Processing of walnuts necessary for amazing health benefits. *Journal of Chemistry and Chemical Sciences*, vol. 6, pp. 783-793. ISSN 2229-760X.

Pacáková, V., Labudová, V., Šipková, E., Šoltés, E., Vojtková, M. 2009. *Štatistické metódy pre ekonómov*. Bratislava: Iura Edition. 411 p. ISBN 978-80-8078-284-9.

Popovici, C., Teng, X., Jadeja, R. 2024. Walnut cheese-like alternatives as an innovation among dairy analogues. *Journal of EcoAgriTourism*, vol. 20, no. 2, pp. 5-12. ISSN 1844-8577.

Spence, L. A., Henschel, B., Li, R., Tekwe, C. D., Thiagarajah, K. 2023. A dietary model of partial meat replacement with walnuts demonstrates changes in the nutrient profile and quality of the United States population's Diet. *Nutrients*, vol. 15, no. 21, pp. 4518. ISSN <https://doi.org/10.3390/nu15214518>

Statistical Office of the Slovak Republic. 2025. DATAcube. Database. <https://datacube.statistics.sk/>

Tlais, A. Z., Fiorino, G. M., Polo, A., Filannino, P., Di Cagno, R. 2020. High-value compounds in fruit, vegetable and cereal byproducts: An overview of potential sustainable reuse and Exploitation. *Molecules*, vol. 25, no. 13, pp. 2987. ISSN 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules25132987>

Wu, M., Luo, Q., Nie, R., Yang, X., Tang, Z., Chen, H. 2020. Potential implications of polyphenols on aging considering oxidative stress, inflammation, autophagy, and gut microbiota. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 61, no. 13, pp. 2175–2193. ISSN 1549-7852. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1773390>

Contact Address: Ing. Kristína Predanócyová, PhD., AgroBioTech Research Centre, Slovak University of Agriculture in Nitra, Trieda A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia, kristina.predanocyova@uniag.sk

SLEDOVANIE OBSAHU REZÍDUIÍ ANTIBIOTÍK V HYDINOVOM MÄSE

MONITORING OF ANTIBIOTIC RESIDUES IN POULTRY MEAT

Ladislav Staruch, Martina Emma Spodniaková

Abstract: The work deals with the issue of antibiotic residues in foods of animal origin, with a focus on poultry meat. The theoretical part provides an overview of the use of antibiotics in veterinary medicine, their residual risks, impact on human health and the legislative framework for their control in the European Union. Attention is also paid to antimicrobial resistance and its relationship to the occurrence of residues in the food chain. In the experimental part, poultry meat samples from Slovakia and neighboring countries were analyzed using the Premi®Test microbiological test. None of the samples were found to contain inhibitory substances above the detection limit of the test.

Keywords: antibiotic residues, poultry meat, Premi®Test, antibiotic resistance, food safety

Úvod

Bezpečnosť potravín patrí medzi hlavné priority v oblasti verejného zdravia, pričom osobitnú pozornosť si zaslúži problematika rezíduí antibiotík v mäse a v ďalších živočíšnych produktoch. Antibiotiká sú spravidla využívané pri chove hospodárskych zvierat na prevenciu a hlavne liečbu bakteriálnych infekcií. Nesprávne a nadmerné užívanie antibiotík vedie k ich hromadeniu v tkanivách zvierat a stimulovaniu rastu dobytku. Tento problém sa objavil nielen na území Slovenskej republiky, ale je trendom po celom svete, keďže výskum ukazuje nárast rezíduí antibiotík, najmä v hydinovom mäse. Akákoľvek prítomnosť inhibičných látok v potravinách môže mať negatívne dôsledky na zdravie spotrebiteľov a podporuje rozvoj antimikrobiálnej rezistencie.

Dôsledky prítomnosti rezíduí antibiotík v mäse a v iných živočíšnych výrobkoch môžu byť závažné pre zdravie konzumentov. Medzi hlavné riziká patrí vznik alergických reakcií, narušenie črevnej mikroflóry, ktorej správna funkcia je významná pre udržanie dobrého zdravia a predovšetkým rozvoj antimikrobiálnej rezistencie. Táto rezistencia znižuje účinnosť liečby pri infekčných ochoreniach u ľudí, tým že sa baktérie stávajú odolnejšími voči antibiotikám. Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) upozorňuje, že antibiotická rezistencia predstavuje jednu z najväčších hrozieb pre globálne zdravie.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Vzhľadom na vyššie uvedené skutočnosti je nevyhnutné skúmať rezíduá antibiotík v mäse. Kontrola ich prítomnosti a dodržiavanie maximálnych povolených limitov stanovených legislatívou sú kľúčové na zabezpečenie bezpečnosti potravín a ochrany zdravia konzumentov. Táto bakalárska práca sa preto zameriava na detekciu rezíduí antibiotík a iných inhibičných látok v mäse, predovšetkým v hydinovom mäse, a na ich potenciálne dôsledky pre zdravie konzumentov. Približuje jednotlivé skupiny antibiotík, ich mechanizmus účinku a používanie vo veterinárnej medicíne, pričom zdôrazňuje význam správneho a regulovaného používania týchto látok s cieľom minimalizovať ich prítomnosť v potravinovom reťazci. V ďalšej časti práce sa zaoberá príčinami prítomnosti antibiotík v mäse, a analyzuje povolené limity stanovené legislatívou jednotlivých krajín.

V praktickej časti práce je využitý screeningový test Premi®Test, ktorý prostredníctvom živých spór mikroorganizmu *Bacillus stearothermophilus* dokáže detegovať obsah inhibičných látok vo vzorkách hydínového mäsa, ktoré boli kupované na Slovensku alebo boli dovezené

z okolitých krajín. Výsledky testovania poskytujú prehľad o kvalite dovážaného mäsa a o miere kontaminácie inhibičnými látkami.

Antibiotikum je chemická látka vytváraná živými organizmami, hlavne mikroorganizmami, ktorá inhibuje rastu baktérií alebo ich priamo ničí. Použitie je predovšetkým na liečbu bakteriálnych infekcií u ľudí a zvierat, ale taktiež majú využitie v poľnohospodárstve. Ich účinnosť je založená na narušení životne dôležitých procesov baktérií, pričom nepoškodzujú hostiteľské bunky.

Medzi prvé zmienky o používaní látok s antibakteriálnymi účinkami pochádzajú zo staroveku. Staroveké civilizácie ako Egyptania, Číňania a Gréci používali plesnivý chlieb ako liek na ošetrovanie otvorených rán. Zásadným rokom v medicíne bol rok 1928, keď škótsky bakteriológ Alexander Fleming objavil prvé prírodné antibiotikum, penicilín. Významný pokrok nastal počas druhej svetovej vojny, keď boli vyvinuté metódy masovej výroby penicilínu. Prvýkrát bol úspešne použitý na liečbu infekcie u človeka v roku 1941. Tento objav odštartoval tzv. zlatú éru antibiotík, 40. – 60. roky 20. storočia. Počas tejto éry boli objavené a vyvinuté ďalšie dôležité antibiotiká, ako streptomycín, tetracyklíny a cefalosporíny (Hutchings et al., 2019).

Pojem antibiotikum je odvodený od slova „*antibiosis*“, ktoré doslovne znamená „proti životu“. V minulosti sa tento termín vzťahoval len na látky, ktoré mali biologický pôvod a už pri nízkych koncentráciách dokázali potláčať rast alebo usmrtiť iný mikroorganizmus. V súčasnosti je táto definícia antibiotík rozšírená tak, aby zahŕňala aj antimikrobiálne látky, ktoré sú čiastočne alebo úplne synteticky vyrábané (Etebu a Ariekpar, 2016). Použitie antibiotík vo veterinárnej medicíne zahŕňa ich aplikáciu u domácich zvierat, hospodárskych druhov a zvierat chovaných v akvakultúre. U hospodárskych zvierat slúžia nielen na terapiu a prevenciu ochorení, ale aj na podporu rastu a efektívnejšie využitie krmiva. Medzi najčastejšie liečené infekčné ochorenia patria gastrointestinálne a respiračné infekcie, abscesy kože a orgánov, ako aj mastitída (Teuber, 2001).

Spektrum antibiotík najčastejšie používaných vo veterinárnej medicíne zahŕňa chinolóny, predovšetkým fluorochinolóny, aminopenicilíny podávané samostatne alebo s potenciátormi, ako aj cefalosporíny prvej a druhej generácie. Bežne sa využívajú aj tetracyklíny, sulfonamidy (s potenciátormi aj bez nich), cefalosporíny tretej a štvrtej generácie, makrolidy a glykopeptidy, ktoré patria medzi antibiotiká s najvyššou prioritou v rámci kriticky dôležitých liečiv (Caneschi et al., 2023). Po objave antibiotík a ich implementácii do humánnej medicíny v 40. rokoch 20. storočia sa začali uplatňovať aj v živočíšnej výrobe, najmä pri chove hydiny a ošipáných, kde sa využívali ako rastové stimulanty. V 50. rokoch sa dokázalo, že podávanie antibiotík v subterapeutických dávkach priamo v krmive zlepšujú produkčné parametre zvierat. Tento spôsob aplikácie pomáhal zvýšiť prírastky hmotnosti, znížiť úmrtnosť a zlepšiť reprodukčnú schopnosť hospodárskych zvierat. Medzi najčastejšie aplikované antibiotiká na tento účel patrili tetracyklíny, ionofóry a penicilíny (Oliveira et al., 2020). Zákaz antimikrobiálnych stimulantov rastu v Európskej únii, ktorý bol zavedený v roku 2006, bol motivovaný snahou o zníženie výskytu antibiotickej rezistencie u patogénnych baktérií a prirodzenej mikroflóry hospodárskych zvierat. Týmto opatrením sa malo zároveň znížiť riziko prenosu antibiotickej rezistencie na ľudskú populáciu (Laxminarayan et al., 2015). Codex Alimentarius definuje rezíduá veterinárnych liečiv ako pôvodné účinné látky ako aj ich metabolity nachádzajúce sa v jedlých tkanivách živočíšnych produktov. Súčasťou tejto definície sú aj zvyšky kontaminantov, ktoré súvisia s použitým veterinárnym liečivom (FAO/WHO, 2024).

Je nepopierateľné, že zvyšky antibiotík sa už objavili v ľudskom potravinovom reťazci, vrátane produktov živočíšneho pôvodu, ako sú mäso, mlieko, vajcia a produktov z vodných ekosystémov. Hlavnými faktormi kontaminácie potravín antibiotikami sú ich cielené používanie v živočíšnej výrobe a nepriama akumulácia v organizmoch vystavených znečistenému prostrediu. Z tohto dôvodu je nevyhnutné nielen prísne regulovať antibiotiká v

živočišnej výrobe, ale aj znižovať ich prítomnosť v ekosystémoch, aby sa zachovala bezpečnosť potravín (Chen et al., 2019).

Medzinárodné diskusie o používaní rastových promotérov a veterinárnych liečiv viedli k prijatiu nariadenia Rady Európskeho hospodárskeho spoločenstva (EHS) č. 2377/90, ktorým sa stanovili maximálne limity rezíduí (MRL) pre veterinárne liečivá v potravinách živočíšneho pôvodu. Toto nariadenie bolo neskôr nahradené nariadením (ES) č. 470/2009. Farmakologicky aktívne látky posúdené na základe tohto právneho rámca sú uvedené v nariadení Komisie (EÚ) č. 37/2010. Aktuálne je evidovaných 641 schválených farmakologicky aktívnych látok, pričom deväť látok je úplne zakázaných (Croubels et al., 2015).

Maximálne limity rezíduí antibiotík

Európska lieková agentúra (EMA) definuje MRL ako najvyššiu prípustnú koncentráciu rezíduí v potravinovom produkte pochádzajúcom zo zvierat, ktoré bolo liečené veterinárnym liečivom alebo vystavené biocídnemu prípravku používanému v živočišnej výrobe (EMA, 2009).

Cieľom politiky týkajúcej sa MRL je zabezpečiť vysokú mieru ochrany spotrebiteľov. Jeho určenie je možné iba v prípade, že riziková analýza neidentifikuje žiadne ohrozenie zdravia. MRL predstavuje najvyššiu legálne prípustnú koncentráciu rezíduí veterinárnych liekov v potravinách podľa legislatívy EÚ. Veterinárni lekári a chovatelia sú zodpovední za to, aby hladiny rezíduí neprekročili stanovené hodnoty pri použití schválených liečiv. Prekročenie povolených rezíduí môže nastať pri nesprávnej aplikácii registrovaného lieku alebo pri nelegálnom použití neschválených látok (Passantino a Russo, 2008).

Koncept MRL predstavuje kompromis medzi požiadavkami spotrebiteľov a potrebami výrobcov, umožňujúc bezpečné použitie antibiotík bez ich úplného zákazu. Pokiaľ sú hodnoty rezíduí pod stanovenou hranicou, odborné inštitúcie považujú ich prítomnosť za zdravotne neškodnú a bez vplyvu na potravinársku produkciu. Pri výpočte MRL sa zohľadňujú toxikologické aspekty a možné účinky rezíduí na črevnú mikrobiotú človeka (Ghimpețeanu et al., 2022).

Metódy stanovenia rezíduí antibiotík

Mikrobiologické testy slúžia na kvalitatívne alebo semikvantitatívne stanovenie prítomnosti antibiotík, pričom ich princíp spočíva v interakcii citlivého mikroorganizmu, najčastejšie baktérie, s antibiotikom nachádzajúcim sa vo vzorke. Ku ich kľúčovým výhodám patrí vysoká spoľahlivosť, nízke náklady a jednoduchá použiteľnosť, pričom sú široko dostupné na trhu. Hlavnou nevýhodou mikrobiologických testov je ich nižšia špecifickosť a v niektorých prípadoch dlhá doba inkubácie (Kilinc et al., 2007). Na rozdiel od imunologických alebo receptorových testov umožňujú identifikáciu širokého spektra antibiotík v rámci jedného testovania. Existujú dva hlavné typy týchto testov: (multi)platňový test a skúmavkový test (Pikkemaat, 2009).

Tabuľka 1. Zoznam maximálnych povolených reziduálnych limitov vybraných antibiotík v svalovine rôznych druhov potravinárskych zvierat (European Commission, 2009).

Skupina	Antibiotikum	MRL (µg/kg)		
		Hydina	Bravčovina	Hovädzina
β-laktámy	Amoxicilín	50	50	50
	Ampicilín	50	50	50
	Benzylpenicilín	50	50	50
	Kloxacilín	300	300	300
	Oxacilín	300	300	300
Cefalosporíny	Cefquinome		50	50
	Ceftiofur	1000	1000	1000
Makrolidy	Tylozín	100	100	100
	Erytromycín	200	200	200
	Linkomycín	100	100	100
	Tilmikozín	75	50	50
	Spiramycín	200	250	200
Tetracyklíny	Chlór-tetracyklín	100	100	100
	Oxytetracyklín	100	100	100
	Doxycyklín	100	100	100
	Tetracyklín	100	100	100
Sulfoamidy	Sulfónamidy (všetky látky patriace do skupiny sulfónamidov)	100	100	100
Aminoglykozidy	Gentamicín		50	50
	Streptomycín		500	500
	Neomycín	500	500	500
	Spektinomycín	300	300	300
Chinolóny	Kyselina oxolínová	100	100	100
	Enrofloxacin	100	100	100
	Flumechín	400	200	200
Polypeptidy	Bacitracín	nevyžaduje sa	nevyžaduje sa	nevyžaduje sa
	Kolistín	150	150	150
Ionofóry	Monenzín			2
	Lasalocid	20		
Oligosacharidy	Avilamycín	50	50	
Ostatné	Florfenikol	100	300	200
	Chloramfenikol	zakázaný	zakázaný	zakázaný
	Trimetoprím	50	50	50
	Furazolidon	zakázaný	zakázaný	zakázaný

Platňový test

Metóda platňového testu sa v Európe bežne využíva na detekciu rezíduí antibiotík u jatočných zvierat. Pri tomto postupe sa testovaná vzorka nanáša na povrch platne s Muller-Hintonovým agarom alebo živným agarom, ktorý bol inokulovaný baktériami citlivými na antibiotiká. Ak vzorka obsahuje antimikrobiálne látky, baktérie v jej okolí nebudú rásť, čím sa po inkubačnom období vytvorí viditeľná číra oblasť v kontraste s nepriehľadným rastom baktérií na zvyšku platne (Alewy Almashhadany et al., 2024).



Obr. 1. Metóda platňového testu
Prameň: (ASM, 2024)

Skúmaný test – Premi®Test

Premi®Test predstavuje jednoduchú a efektívnu metódu skríningového testovania rezíduí antibiotík, ktorá je určená pre všetkých účastníkov potravinového reťazca, vrátane farmárov, bitúnkov, spracovateľov mäsa a laboratórií vykonávajúcich analýzy. Princíp testu je založený na inhibícii rastu baktérie *Bacillus stearothermophilus*, termofilného mikroorganizmu vysoko citlivého na široké spektrum antibiotík a zlúčenín síry. Do agarového média s obsahom špecifických živín je pridané štandardizované množstvo spór tejto baktérie. Po zahriatí testu na 64 °C spóry vyklíčia a v neprítomnosti inhibičných látok dôjde k ich rozmnoženiu, čo vedie k produkcii kyseliny a farebnej zmene média z fialovej na žltú. Ak sú však v testovanej vzorke prítomné antimikrobiálne zlúčeniny v koncentrácii nad detekčný limit, spóry nevyklíčia a farebná reakcia nenastane (R-Biopharm, 2024).

Materiál a metódy

Premi®Test využíva schopnosť detegovať inhibičné látky prostredníctvom rastu *Bacillus stearothermophilus*. Spóry sa inkubujú v agarovom médiu pri 64 °C.



Obr. 2. Premi®Test
Prameň : (www.r-biopharm.com, 2025)

Pri absencii antibiotík baktérie produkujú kyselinu, čo spôsobí farebný prechod na žltú. Ak sú však prítomné antimikrobiálne látky nad detekčný limit, k farebnej zmene nedôjde. Test slúži

ako jednoduchá kvalitatívna metóda screeningu na široké spektrum antibiotík vrátane β -laktámových, makrolidových, tetracyklínových a sulfonamidových zlúčenín bežne prítomných v potravinách. Výhodou je, že test nevyžaduje rozsiahle laboratórne zázemie – postačí základné vybavenie ako inkubátor alebo vodný kúpeľ a bežný kuchynský mlynček na mäso. Citlivosť testu zaisťuje, že limity detekcie sú pre väčšinu antibiotík nižšie ako európske maximálne reziduálne limity. V rámci experimentálnej časti práce bolo podrobených analýze 10 vzoriek hydínového mäsa pochádzajúcich od rôznych výrobcov. Zo Slovenska pochádzali štyri vzorky, dve boli importované z Ukrajiny a po jednej vzorke sme získali z Maďarska, Českej republiky, Poľska a Rakúska. V nižšie uvedenej tabuľke sú uvedené presné názvy a výrobcovia použitých vzoriek.

Výsledky a diskusia

V rámci testovania nebola v žiadnej z desiatich zakúpených vzoriek hydínového mäsa zistená prítomnosť inhibičných látok pomocou Premi® Testu. Táto skutočnosť môže byť dôsledkom skutočnej neprítomnosti antibiotických rezíduí v testovaných vzorkách, alebo ich výskytu v tak nízkych množstvách, že neprekročili hranicu citlivosti použitého testu. Výsledky tak svedčia o vyhovujúcom stave z pohľadu screeningovej analýzy. Vo vykonaných analýzach sa prítomnosť inhibičných látok nepotvrdila, čo naznačuje, že testované vzorky mäsa, pochádzajúce zo slovenského trhu aj zo zahraničia, spĺňajú požiadavky na bezpečnosť z hľadiska rezíduí antibiotík. Tento výsledok je v súlade s platnou legislatívou, ktorá stanovuje prísne normy pre kontrolu potravín živočíšneho pôvodu, a svedčí o účinnosti vykonávaného dozoru.

Tabuľka 2. Výsledok testu inhibičných látok v jednotlivých vzorkách mäsa

Názov výrobku	Výrobca	Výsledok testu	
		Paralelka I	Paralelka II
Domáce kurča	Domáci chov	negatívny	negatívny
Kurča od Ďurkových	Farma u Ďurkových	negatívny	negatívny
Kura kráľovské	HSH spol. s r.o.	negatívny	negatívny
Kuracie prsné rezne	Domäsko s.r.o.	negatívny	negatívny
Friss csirke mellfilé	Tesco-Globál áruházak, Maďarsko	negatívny	negatívny
Bio kuře (biopark)	Biopark s.r.o., Česká republika	negatívny	negatívny
Henry, To je kura!	WE Trade s.r.o., Ukrajina	negatívny	negatívny
Henry, To je kura!	WE Trade s.r.o., Ukrajina	negatívny	negatívny
Kuracie filé	Wiipasz S.A., Poľsko	negatívny	negatívny
Maishendl innenfilets	Johann Titz GmbH, Rakúsko	negatívny	negatívny

Napriek tomu treba podotknúť, že záznamy v systéme RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed) dokumentujú, že výskyt rezíduí antibiotík v potravinách nie je v regióne výnimočný. Aj Slovensko a jeho susedné krajiny boli v nedávnej minulosti upozornené na nevyhovujúce nálezy, čo podčiarkuje dôležitosť neustáleho monitoringu a preventívnych opatrení. Tieto údaje naznačujú, že problém rezíduí, hoci v tejto štúdii nezachytený, zostáva aktuálnou výzvou pre bezpečnosť potravín v rámci Európy.

Tabuľka 3. Výsledky kontrol rezíduí vrámci NPKR za obdobie od roku 2018 do 2023 (ŠVPS SR, 2024)

	2018		2019		2020		2021		2022		2023	
Komodita	Počet odobr. vzoriek	Počet nevyh. vzoriek	Počet odobr. vzoriek	Počet nevyh. vzoriek	Počet odobr. vzoriek	Počet nevyh. vzoriek	Počet odobr. vzoriek	Počet nevyh. vzoriek	Počet odobr. vzoriek	Počet nevyh. vzoriek	Počet odobr. vzoriek	Počet nevyh. vzoriek
Mäso domácich kopytníkov	765	3	756	0	781	0	805	0	858	2	497	1
Mäso hydiny a králikov	557	0	659	0	643	0	677	1	708	0	557	2
Spolu	1322	3	1415	0	1424	0	1482	1	1566	2	1054	3

Podľa štúdie Mulchandani (2023) sa celosvetová spotreba antimikrobiálnych látok v hospodárskych zvieratách (hovädzí dobytok, ovce, hydina a ošípané) v roku 2020 odhadovala na približne 99 502 ton účinnej látky (95 % CI: 68 535 – 193 052 ton). Na základe aktuálnych trendov sa predpokladá, že do roku 2030 vzrastie o 8 % na 107 472 ton (95 % CI: 75 927 – 202 661 ton), pričom globálna intenzita používania by sa mala zvýšiť zo 79,3 mg/PCU na 85,6 mg/PCU. Výrazné rozdiely v spotrebe boli zaznamenané medzi jednotlivými krajinami – od 337,8 mg/PCU v Thajsku po 4,4 mg/PCU v Nórsku. Najvyššia miera spotreby na jednotku biomasy bola u oviec (243,3 mg/PCU), nasledovali ošípané (173,1 mg/PCU), hovädzí dobytok (59,6 mg/PCU) a hydina (35,4 mg/PCU). V roku 2020 boli najväčšími spotrebiteľmi antibiotík Čína, Brazília, India, USA a Austrália, pričom tieto krajiny tvorili spolu 58 % globálnej spotreby. Predpokladá sa, že tento trend pretrvá aj v roku 2030. Najvýraznejší relatívny nárast spotreby antibiotík sa predpokladá v Pakistane (44 %) a Austrálii (16 %), pričom vyšší percentuálny nárast sa očakáva aj v Afrike, Oceánii a Južnej Amerike (Mulchandani et al., 2023).

Záver

Výsledky tejto práce ukazujú, že v testovaných vzorkách hydínového mäsa zo Slovenska aj zo susedných krajín sa nezistila prítomnosť látok, ktoré by mohli brzdiť rast baktérií, a to nad hranicu, ktorú dokáže použitý test Premi®Test zachytiť. Tento výsledok naznačuje, že kontrolované mäso spĺňa požiadavky na bezpečnosť potravín a že sa pri jeho výrobe pravdepodobne dodržiavali pravidlá týkajúce sa používania veterinárnych liekov. Správne fungovanie testu sa podarilo potvrdiť aj pokusom, pri ktorom boli do vzorky cielene pridané antibiotiká, ktoré test spoľahlivo zachytil. Aj keď sa v tejto práci žiadne rizikové látky nezistili, téma zvyškov antibiotík v potravinách zostáva veľmi aktuálna. Používanie antibiotík v živočíšnej výrobe totiž celosvetovo rastie a s tým stúpa aj riziko vzniku rezistentných baktérií, proti ktorým bežné lieky prestávajú účinkovať. Aj preto je dôležité, aby sa podobné kontroly robili pravidelne a aby sa dodržiavali opatrenia, ktoré pomáhajú udržať potraviny bezpečné pre spotrebiteľa.

Literatúra

- ALEWY ALMASHHADANY, Dhary, Hero I. MOHAMMED, Thaera ABDULWAHID M. MUSLAT, Rzggar F. RASHID, Rawaz R. HASSAN a Abdullah O. HASSAN, 2024. Antimicrobial Residues in Meat and Meat Products. V: Muhammad SAJID ARSHAD a Waseem KHALID, ed. *Health Risks of Food Additives - Recent Developments and Trends in Food Sector* [online]. B.m.: IntechOpen [cit. 28.3.2025]. ISBN 978-1-83768-188-4. Dostupné na: doi:10.5772/intechopen.105784
- CANESCHI, Alice, Anisa BARDHI, Andrea BARBAROSSA a Anna ZAGHINI, 2023. The Use of Antibiotics and Antimicrobial Resistance in Veterinary Medicine, a Complex Phenomenon: A Narrative Review. *Antibiotics* [online]. 2023, roč. 12, č. 3, s. 487. ISSN 2079-6382. Dostupné na: doi:10.3390/antibiotics12030487
- CROUBELS, Siska, Els DAESELEIRE, Sarah DE SAEGER, Peter VAN EENOO a Lynn VANHAECKE, 2015. Hormone and veterinary drug residue analysis in food, feed, biological and environmental matrices. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* [online]. 2015, roč. 407, č. 15, s. 4339–4342. ISSN 1618-2650. Dostupné na: doi:10.1007/s00216-015-8655-9
- EMA, 2009. *Maximum residue limits (MRL) | European Medicines Agency (EMA)* [online] [cit. 2.5.2025]. Dostupné na: <https://www.ema.europa.eu/en/veterinary-regulatory-overview/research-development-veterinary-medicines/maximum-residue-limits-mrl>
- ETEBU, Ebimieowei a Ibemologi ARIKEKPAR, 2016. Antibiotics: Classification and mechanisms of action with emphasis on molecular perspectives. 2016.
- FAO/WHO, 2025. *Definitions for the Purposes of the Codex Alimentarius | CODEXALIMENTARIUS FAO-WHO* [online] [cit. 23.3.2025]. Dostupné na: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/procedural-manual/sections/section1/section1-4/en/>
- GHIMPEȚEANU, Oana Mărgărita, Elena Narcisa POGURSCHI, Dana Cătălina POPA, Nela DRAGOMIR, Tomița DRĂGOTOIU, Oana Diana MIHAI a Carmen Daniela PETCU, 2022. Antibiotic Use in Livestock and Residues in Food—A Public Health Threat: A Review. *Foods* [online]. 2022, roč. 11, č. 10, s. 1430. ISSN 2304-8158. Dostupné na: doi:10.3390/foods11101430
- HUTCHINGS, Matthew I, Andrew W TRUMAN a Barrie WILKINSON, 2019. Antibiotics: past, present and future. *Current Opinion in Microbiology* [online]. 2019, roč. 51, Antimicrobials, s. 72–80. ISSN 1369-5274. Dostupné na: doi:10.1016/j.mib.2019.10.008
- CHEN, Jun, Guang-Guo YING a Wen-Jing DENG, 2019. *Antibiotic Residues in Food: Extraction, Analysis, and Human Health Concerns | Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online] [cit. 23.3.2025]. Dostupné na: https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jafc.9b01334?casa_token=9Fk80Xj61AcAAAAA%3AG9305lrGo6lPHVeiWfmFcytUGOOcDTZRPC92bAeKVu6oEl5SUogdSiiJZ1-E9kzVlpmH1ug7mPWBvU2GXg
- KILINC, Berna, Carsten MEYER a Volker HILGE, 2007. Evaluation of the EEC four-plate test and Premi test for screening antibiotic residues in trout (*Salmo trutta*). *International Journal of Food Science and Technology* [online]. 2007, roč. 42, č. 5, s. 625–628. ISSN 0950-5423. Dostupné na: doi:10.1111/j.1365-2621.2007.01385.x
- LAXMINARAYAN, R, T VAN BOECKEL a A. TEILLANT, 2015. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers: The Economic Costs of Withdrawing Antimicrobial Growth Promoters from the Livestock Sector* [online]. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers 78. [cit. 23.3.2025]. Dostupné na: doi:10.1787/5js64kst5wv1-en
- MULCHANDANI, Ranya, Yu WANG, Marius GILBERT a Thomas P. Van BOECKEL, 2023. Global trends in antimicrobial use in food-producing animals: 2020 to 2030. *PLOS Global Public Health* [online]. 2023, roč. 3, č. 2, s. e0001305. ISSN 2767-3375. Dostupné na: doi:10.1371/journal.pgph.0001305
- OLIVEIRA, Naila A., Bruna L. GONÇALVES, Sarah H. LEE, Oliveira CAF a Carlos Humberto CORASSIN, 2020. Use of Antibiotics in Animal Production and its Impact on Human Health. *Journal of Food Chemistry & Nanotechnology* [online]. 2020, roč. 06, č. 01 [cit. 23.3.2025]. ISSN 24714291. Dostupné na: doi:10.17756/jfcn.2020-082
- PASSANTINO, Annamaria a C. RUSSO, 2008. Maximum Residue Levels of Veterinary Medicines in Relation to Food Safety: European Community Legislation and Ethical Aspects. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* [online]. 2008, roč. 3, č. 4, s. 351–358. ISSN 1661-5867. Dostupné na: doi:10.1007/s00003-008-0369-x
- PIKKEMAAT, Mariël G., 2009. Microbial screening methods for detection of antibiotic residues in slaughter animals. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* [online]. 2009, roč. 395, č. 4, s. 893–905. ISSN 1618-2642. Dostupné na: doi:10.1007/s00216-009-2841-6
- R-BIOPHARM, 2024. Premi®Test 25. *Food & Feed Analysis* [online] [cit. 29.3.2025]. Dostupné na: <https://food.r-biopharm.com/products/premitest-25/>
- TEUBER, Michael, 2001. Veterinary use and antibiotic resistance. *Current Opinion in Microbiology* [online]. 2001, roč. 4, č. 5, s. 493–499. ISSN 1369-5274. Dostupné na: doi:10.1016/S1369-5274(00)00241-1

Kontaktná adresa autora: Ladislav Staruch, Ing. PhD., Ústav potravinárstva a výživy, Oddelenie potravinárskej technológie, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, e-mail: ladislav.staruch@stuba.sk

Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti
pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy
pri Slovenskej akadémii vied v Bratislave, 2025

Veterinárska sekcia



VPLYV PODÁVANIA HUMÍNOVÝCH LÁTOK A FERMENTOVANÉHO KRMIVA NA ZRECIE PROCESY V SVALOVINE HYDINY

EFFECT OF ADMINISTRATION OF HUMIC SUBSTANCES AND FERMENTED FEED ON MATURATION PROCESSES IN POULTRY MUSCLE

Beáta Koréneková, Ivona Kožárová, Anna Reitznerová, Boris Semjon, Slavomír Marcinčák

Abstract: The aim of this study was to observe the effect of feed addition of 0.7 % humic substances (H), 10 % fermented feed (F) and mixture of both (HF) to broiler chickens (ROSS 308, 160 pieces) compared to control group (C) on the maturation process in muscle. Breast and thigh muscle samples of 8 pieces of slaughtered chicken were stored at 4 °C. On day 1 and 7 were samples analysed on the levels of lactic acid and pH values. Addition of H and F to broiler chickens in feed affected the levels of lactic acid and pH at different range of significance during maturation processes in the muscles of broiler chickens.

Keywords: humic substances, fermented feed, muscle, poultry

Úvod

Doplňky výživy prírodného charakteru predstavujú zložky, ktoré sa pridávajú do krmív brojlerových kurčiat za účelom zlepšenia rastových parametrov, zdravia zvierat alebo zlepšenia kvality produkovaného mäsa. K týmto prírodným doplnkom výživy kurčiat zaraďujeme humínové látky ako aj fermentované krmivo.

Humínové látky pozostávajú z humusu, humínových kyselín, humínu a niektorých mikroelementov (Arif a kol. 2019). Prídavok humínových látok vo výžive hydiny priaznivo zlepšuje využitie krmiva a jeho nutričných zložiek, čím sa zlepšuje konverzia krmiva a podporuje sa celkový rast hydiny. Prídavok humínových kyselín do krmiva má pozitívny vplyv aj na produkciu hydínového mäsa. Dosahuje sa vyššia jatočná hmotnosť a výťažnosť brojlerových kurčiat a dochádza aj k zvýšeniu kvality produkovaného mäsa (Ozturk a kol. 2012). Humínové látky patria tiež medzi meniče iónov redukčného charakteru. Z uvedeného dôvodu môžu hrať dôležitú úlohu pri uvoľňovaní alebo viazaní rôznych iónov, resp. úprave hodnôt pH (Celik a kol. 2008). Prídavky humínových látok v diéte hydiny zvyšujú obsah bielkovín a znižujú obsah tuku v prsných svaloch hydiny. Antioxidačné vlastnosti humínových látok zlepšujú tiež oxidačnú stabilitu mäsa počas skladovania. Humínové látky prispievajú takisto k zlepšeniu senzorických vlastností vyrobeného mäsa (Marcinčák a kol. 2023). Prídavok týchto látok ovplyvňujú tiež minerálne zloženie a farebnú charakteristiku prsnej a stehennej svaloviny brojlerových kurčiat (Ozturuk a kol. 2014).

Na druhej strane fermentované krmivá, ktoré sa môžu používať ako doplnky výživy hydiny sú krmivá, ktoré boli vystavené pôsobeniu mikroorganizmov v kontrolovanom prostredí. Tieto fermentačné procesy spôsobujú, že dané krmivo môže byť vo finálnej podobe výživnejšie, stráviteľnejšie a chutnejšie. Fermentované produkty predstavujú novú formu krmív vo výžive hydiny, v ktorých sa použili procesy biotechnológie. Fermentácia v tuhom stave je forma fermentácie využívajúca pevný substrát pre mikrobiálnu kultúru a produkciu metabolitov. Táto fermentačná technológia využíva pevné alebo polo-pevné substráty bez prítomnosti vody alebo s použitím nízkeho množstva vody (Soccol a kol. 2017). Pevné substráty používané pri fermentácii v tuhom stave často pochádzajú z agro - priemyselného odpadu a slúžia ako podporné materiály pre optimálny rast a proliferáciu jednobunkových organizmov. Bežne používané substráty pri fermentácii v tuhom stave sú materiály na báze obilnín, ako sú

jačmenné vločky, proso, pšeničné otruby, kukuričná múka alebo ovsené vločky (Čertík a kol. 2013, Postemsky a kol. 2015).

Fermentované krmivá sa pripravujú pomocou technológie polosuchej fermentácie na tuhej matrici, ktorá obsahuje dostatok vlhkosti na podporu mikrobiálnej aktivity a priblíženie podmienok prostredia najmä pre vláknité huby (Klempová a kol. 2022). Tieto vláknité huby, ktoré pochádzajú z čeľadí *Mucoraceae*, *Mortierellaceae*, *Umbelopsidaceae* dokážu nakumulovať veľké množstvo triacylglycerolov. Biomasa produkovaná týmito mikroskopickými vláknitými hubami obsahuje oleje s vysokým podielom esenciálnych n-3 a n-6 polynenasýtených mastných kyselín je fermentovaný produkt s aplikáciou v potravinárskom a krmovinárskom priemysle (Slaný a kol. 2020).

Prídavok fermentovaného krmiva významne ovplyvňuje profil vybraných mastných kyselín v mäse brojlerových kurčiat a zlepšuje pomer n-6 a n-3 mastných kyselín (Bartkovský a Marcinčák, 2022). Poukázal sa aj pozitívny vplyv fermentovaných krmív samostatne, ako aj v kombinácii s humínovými látkami pridanými do krmiva brojlerov vo vzťahu k oxidačným zmenám tukov pri skladovaní, ale aj na zloženie mastných kyselín v stehennej svalovine brojlerových kurčiat (Makiš a kol. 2022).

Postmortálne zmeny v mäse zahŕňajú sériu biochemických a fyzikálnych zmien, ktoré nastávajú pri premene svalového tkaniva na mäso, ale tiež zohrávajú dôležitú úlohu pri zlepšovaní jeho prijateľnosti ako potraviny. Medzi kľúčové zmeny patrí rýchly rozklad adenosíntrifosfátu na adenosínindifosfát a adenosínmonofosfát s následným zvýšením inozín-5'-monofosfátu, ktorý je hlavným prekursorom vône a chuti mäsa a kľúčovým ukazovateľom kvality a čerstvosti mäsa. Tieto zmeny spolu s vyčerpaním glykogénu v konečnom dôsledku ovplyvňujú textúru, chuť a schopnosť mäsa zadržiavať vodu (Aliani a kol. 2013). Doplnky výživy hydiny môžu ovplyvniť aj tieto procesy v mäse hydiny. Počas procesu zrenia mäsa dochádza ku kvantitatívnym zmenám metabolitov ako sú glykogén, kyselina mliečna a následne k zmene hodnôt pH mäsa (Dalle Zotte, 2002). Premena svaloviny na mäso je tak významný kontrolný bod v stanovení kvality mäsa (Tougan a kol. 2013).

Cieľom štúdie bolo zistiť vplyv prídavku humínových látok a fermentovaného krmiva jednotlivo, ale aj vo vzájomnej kombinácii na hladiny kyseliny mliečnej a hodnoty pH v prsnej a stehennej svalovine brojlerov, ktoré tvoria najcennejšie časti kurčiat v priebehu ich zrenia a uskladnenia.

Materiál a metodika

Kurčatá - hybrid ROSS 308, 160 kusov vo veku 1. deň, dodávateľ Hydina Slovensko s.r.o., boli chované na hlbokkej podstielke v chovnom zariadení UVLF v Košiciach. Kurčatá boli rozdelené do 4 skupín po 40 ks. Kontrolnej skupine (K) bola podávaná kompletná krmná zmes BR1 do 10. dňa, BR2 do 27. dňa a BR3 do 38. dňa výkrmu. Pokusným skupinám od 11. dňa výkrmu boli pridané v skupine s prídavkom humínových látok (H) *Humac natur AFM mycotosorb* (Humac s.r.o.) v dávke 0,7 % a pokusnej skupine s prídavkom fermentovaného produktu (F) v dávke 10 %, ako zdroja enzýmov a γ -linolénovej kyseliny. Tento produkt bol pripravený 3 krokovou polosuchou fermentáciou (kukurica, pšeničné otruby, ľanové výlisky) pomocou nižších vláknitých húb (*Rhizopus*, *Mortirella*). Skupina (HF) dostávala obe prídavky v dávke 0,7 % humínových látok a 10 % fermentovaného produktu. Voda bola prístupná brojlerovej hydine *ad libitum*. Kurčatá boli usmrtené a jatočne opracované na 39. deň pokusu. Z každej skupiny bolo odobratých 8 kurčiat. Následne vzorky prsnej a stehennej svaloviny kurčiat boli uskladnené v chladničke pri teplote 4° C. Na 1. deň (24 h po porážke hydiny) a na 7. deň uskladnenia vzoriek svalovín kurčiat boli analyzované hladiny kyseliny mliečnej Elektroforetickým analyzátorom EA 102 (Villa Labeco s.r.o., SR), pričom bola použitá metóda na kontrolu zrenia mäsa (Koréneková a kol. 2014, Mačanga a kol. 2011). Ako vodiaci elektrolyt bol použitý: 10 mmol HCl + β -alanín + 0,1% m-HEC a zakončujúci elektrolyt: 5 mmol kyselina

kaprónová + 5 mmol TRIS. Vzorky boli analyzované vodivostným detektorom. Výsledky analýz boli vyhodnotené programom ITP Pro 32 (KasComp, Bratislava, SR) a udávané v g/100g vzorky. Hodnoty pH vo vodnom extrakte prsnej a stehennej svaloviny kurčiat na 1. a 7. deň pokusu boli stanovené pH-metrom (InoLab WTW 720). Výsledky analýz boli vyjadrené ako aritmetický priemer ($\bar{x}$) a štandardná odchýlka ($\pm$ SD). Štatistická analýza bola vykonaná v programe Microsoft Excel, 2013.

Výsledky a diskusia

V priebehu 7. dňového uskladnenia vzoriek prsnej a stehennej svaloviny brojlerových kurčiat v našom experimente sme použili teplotu 4 °C v chladiacom zariadení, ktorá bola optimálna, stála a bez výkyvov. Táto tradičná metóda uchovávanía mäsa zahŕňa pravidelnú kontrolu teploty v priebehu uskladnenia hydínového mäsa. Uskladnenie svaloviny brojlerovej hydiny v chladiarenských podmienkach obmedzuje rozvoj mikroorganizmov, znižuje enzymatickú aktivitu a spomaľuje intenzitu chemických premien (Al-Jasser 2012, Stonehouse a Evans, 2015). Skladovacia teplota sa považuje za najdôležitejší faktor, ktorý ovplyvňuje kazenie mäsa tým, že ovplyvňuje trvanie *lag* fázy a špecifickú rýchlosť rastu mikroorganizmov (Doulgeraki a kol. 2012). Skladovanie svaloviny hydiny za chladiarenských podmienok oddŕaľuje kazenie mäsa v spojitosti s oxidačnými zmenami lipidov (Mekonnen, 2015) s autolytickými enzymatickými procesmi ako aj mikrobiálnymi zmenami (Dave a Ghali, 2011). Zároveň chladenie predlžuje trvanlivosť a bezpečnosť hydínového mäsa (de Rocha a kol. 2022).

V priebehu pokusu boli vo všetkých skupinách kontrolnej ako aj v experimentálnych skupinách analyzované vyššie hodnoty kyseliny mliečnej v prsnej svalovine, než v stehennej svalovine (Tab. 1). Môžeme to dať do súvisu s tým, že obsah glykogénu v prsnej svalovine brojlerových kurčiat je relatívne vyšší než v stehennej svalovine cca do 6 hodín post mortem (Yu a kol. 2010). Následne procesom anaeróbnej glykolýzy, ktorá je primárnou metabolickou dráhou sa postupne premieňa svalový glykogén za vzniku kyseliny mliečnej (Alvarado a kol. 2000). Ovplyvňuje to mnoho dôležitých vlastností mäsa vrátane jeho textúry, mäkkosti, šťavnatosti a farby. Obsah kyseliny mliečnej vo svalovine hydiny, a to najmä v prsných a stehenných svaloch je kľúčovým faktorom ovplyvňujúcim kvalitu mäsa ako aj v procese konverzie svaloviny na mäso (Beauclercq a kol. 2022).

V prípade hodnotenia dynamiky kyseliny mliečnej v prsnej svalovine brojlerových kurčiat bol pozorovaný signifikantný pokles hladín kyseliny mliečnej ($p \leq 0,01$) na 7. deň pokusu v kontrolnej skupine (K). Podobne sme tento priebeh zmien pozorovali aj v skupine s prídavkom fermentovaného krmiva (F) a to na hladine významnosti ($p \leq 0,01$) a v skupine s prídavkom humínových látok (H) na hladine významnosti ($p \leq 0,05$). Priebeh zmien kyseliny mliečnej v priebehu zrecieho procesu v stehennej svalovine mal podobnú tendenciu a zaznamenali sme signifikantný pokles kyseliny mliečnej na hladine významnosti ($p \leq 0,01$) vo všetkých skupinách. Podľa autorov Wang a kol. (2024) rýchlosť poklesu glykogénu v prsnej svalovine je najvyššia 45 minút po usmrtení brojlerovej hydiny. Následne hladiny glykogénu majú tendenciu sa stabilizovať do 8 hodín po usmrtení hydiny. Glykolytický potenciál sa postupne zvyšuje v prvých 4 hodinách po usmrtení hydiny a rýchlo klesá od 4 do 8 hodín. Obsah kyseliny mliečnej v prsnej svalovine dosahuje najvyššiu úroveň do 4 hodín a následne začína klesať, pričom sa stabilizuje do 24 hodín po usmrtení hydiny. Kontrolované postmortálne procesy sú kľúčové pre hydínarsky priemysel a pre optimálnu kvalitu mäsa hydiny.

Pri hodnotení hladín kyseliny mliečnej v prsnej svalovine medzi jednotlivými pokusnými skupinami navzájom bola na 1. deň pokusu najvyššia priemerná hodnota zistená v skupine (F) s prídavkom fermentovaného krmiva. Na 7. deň pokusu v kontrolnej skupine (K). Hodnoty kyseliny mliečnej v skupine (F) boli mierne vyššie ako u pokusnej skupiny (H). V stehennej svalovine bola na 1. deň pokusu najvyššia priemerná hodnota kyseliny mliečnej v kontrolnej skupine (K) a na 7. deň pokusu v skupine (F). Samotná fermentácia v pevnom skupenstve má

okrem zlepšenia nutričných vlastností za následok množstvo prospešných vlastností, vrátane zvýšenia počtu baktérií mliečneho kvasenia, zníženia pH a zvýšenia koncentrácie organických kyselín (Canibe a Jansen, 2012). Tento fakt sa mohol prejaviť aj následne po skrmovaní fermentovaného krmiva v experimentálnej skupine (F).

Tabuľka 1. Hladiny kyseliny mliečnej v svalovine brojlerových kurčiat

Skupiny	Svalovina	1. deň	7. deň
Kontrolná skupina	Prsná	1,45±0,14	1,24±0,11 ^{**}
	Stehenná	1,01±0,22	0,69±0,06 ^{**}
Humínové látky	Prsná	1,33±0,13	1,19±0,07 [*]
	Stehenná	0,92±0,05	0,73±0,08 ^{**}
Fermentované krmivo	Prsná	1,51±0,11	1,21±0,13 ^{**}
	Stehenná	0,99±0,11	0,77±0,12 ^{**}
Kombinácia H+ F	Prsná	1,36±0,09	1,12±0,13
	Stehenná	0,80±0,14	0,71±0,08 ^{**}

Signifikantné zmeny medzi dňami pokusu v rámci jednej skupiny na hladine: * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$;

Pri porovnaní hodnôt pH medzi prsnou a stehennou svalovinou vo všetkých skupinách pokusu, a to kontrolnej ako aj v experimentálnych skupinách boli analyzované nižšie hodnoty pH v prsnej svalovine než v stehennej svalovine brojlerových kurčiat (Tab. 2). Rôznorodosť medzi jednotlivými svalmi vyplýva zo zastúpenia rôznych typov svalových vlákien a od ich rozdielnych kontraktálnych, metabolických, fyziologických chemických a morfológických charakteristík (Realini a kol. 2013). Nami získané výsledky sú v súlade s autormi Yu a kol. (2011), ktorí podobne pozorovali nižšie hodnoty pH v prsnej svalovine než v stehennej svalovine. Je to spôsobené tým, že prsná svalovina mäsa kurčiat zahŕňa viac bielych vlákien, kým stehenná svalovina má viac červených vlákien. Červené vlákna obsahujú viac vody a tuku a menej proteínov než biele vlákna, majú tak vyššiu konečnú hodnotu pH (Chang a Chou, 2010). Okrem toho biele vlákna svaloviny obsahujú viac glykolytických enzýmov, ktoré môžu stimulovať rýchlu reakciu a urýchlenie poklesu hodnôt pH a rýchly nástup rigoru mortis v mäse (Farouk a Lovatt, 2000).

Pri hodnotení dynamiky hodnôt pH v závislosti od času uskladnenia bol na 7. deň uskladnenia v prsnej aj stehennej svalovine pozorovaný signifikantný vzostup na hladine významnosti ($p \leq 0,001$) v kontrolnej skupine (K) ako aj v pokusnej skupine (H+F). Dané zvýšenie hodnôt pH v týchto skupinách hydiny boli v súlade s prácou Augusty'nska-Prejsnar, a kol. (2023), ktorí pozorovali podobný priebeh zmien hodnôt pH v priebehu týždňového chladiarenského uskladnenia svaloviny hydiny. Produkcia baktérií mliečneho kvasenia a kumulácia alkalických zložiek produkovaných psychotropnými baktériami môžu byť hlavným dôvodom zmeny pH počas skladovania (Nikmanesh a kol. 2023).

Jedným z hlavných indikátorov kvality mäsa je hodnota pH. Všeobecne je odporúčaná je hodnota 5,8 alebo nižšia 24 hodín po zabití zvierat (Weglarz, 2010). Zistené hodnoty pH u všetkých skupín brojlerovej hydiny boli nižšie ako je táto uvádzaná hodnota. Pri porovnaní hodnôt pH v prsnej svalovine medzi pokusnými skupinami na 1. deň pokusu bola signifikantne vyššia priemerná hodnota pH v pokusnej skupine (H) na hladine významnosti ($p \leq 0,001$) a v skupine H+F na hladine významnosti ($p \leq 0,05$) než v kontrolnej skupine (K). Na 7. deň pokusu bola v prsnej svalovine najvyššia priemerná hodnota pH v kontrolnej skupine a signifikantne najnižšia v pokusnej skupine (F) na hladine významnosti ($p \leq 0,001$). Podobne zníženie hodnôt pH v prsnej svalovine po prídavku 5 % koncentrácie fermentovaného krmiva do diéty brojlerových kurčiat zaznamenali Sun a kol. (2022).

Tabuľka 2. Hodnoty pH v svalovine brojlerových kurčiat

Skupiny	Svalovina	1. deň	7. deň
Kontrolná skupina	Prsná	5,18±0,06	5,37±0,05***
	Stehenná	5,59±0,08	5,62±0,02***
Humínové látky	Prsná	5,34±0,04 ⁺⁺⁺	5,36±0,03
	Stehenná	5,66±0,02	5,58±0,01 ⁺⁺⁺
Fermentované krmivo	Prsná	5,21±0,02	5,20±0,03 ⁺⁺⁺
	Stehenná	5,62±0,03	5,53±0,04 ⁺⁺⁺
Kombinácia H + F	Prsná	5,26±0,01 ⁺	5,33±0,02***
	Stehenná	5,49±0,03 ⁺	5,59±0,02***

Signifikantné zmeny medzi dňami pokusu v rámci jednej skupiny na hladine: * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$;

Signifikantné zmeny medzi kontrolnou a pokusnou skupinou na hladine: + $p \leq 0.05$; ++ $p \leq 0.01$; +++ $p \leq 0.001$

Pri porovnaní hodnôt pH v stehennej svalovine medzi skupinami na 1. deň pokusu bola najvyššia priemerná hodnota pH v skupine (H) a signifikantne najnižšia hodnota v pokusnej skupine (H+F) na hladine významnosti ($p \leq 0,05$) v porovnaní s kontrolnou skupinou (K). Na 7. deň pokusu bola v stehennej svalovine najvyššia priemerná hodnota pH v kontrolnej skupine (K) a najnižšia v pokusnej skupine (F). Signifikantné rozdiely na hladine významnosti ($p \leq 0,001$) boli pozorované na 7. deň pokusu medzi kontrolnou skupinou a pokusnými skupinami (H) a (F), u ktorých bol pozorovaný pokles hodnôt pH. Zníženie hodnôt pH v prsnej a stehennej svalovine brojlerových kurčiat bolo zistené tiež po prídavku 0,8 % a 1,0 % humínových látok v diéte (Semjon a kol. 2020). Cieľom optimálnej výživy hydiny je ovplyvniť regulovanie hodnôt pH tak, aby sa znížila vysoká variabilita kvality mäsa brojlerov (Petracci a kol. 2013).

Záver

Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať, že aplikácia prídavkov fermentovaných krmív a humínových látok samostatne alebo navzájom v kombinácii, ktoré boli použité ako doplnok kompletných krmných zmesí brojlerovej hydiny, hybrid ROSS 308, malo svoje opodstatnenie. Tieto doplnky výživy ovplyvnili v rôznej miere priebeh fyzikálnych a chemických procesov v prsnej a stehennej svalovine brojlerových kurčiat v priebehu zrenia a vplývali tak na ich kvalitu. Použitie doplnku výživy brojlerov obohateného o humínové látky v kombinácii s fermentovaným krmivom môže tak pri jeho aplikovaní v hydinařskom priemysle zohrávať významnú úlohu. Z tohto dôvodu je štúdium týchto biochemických zmien vedecky podstatné ako aj ekonomicky významné.

PodĎakovanie

Práca bola vykonaná vďaka finančnej podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-18-0039.

Literatúra

- Aliani, M., Farmer, L. J., Kennedy, J.T., Moss, B. W., Gordon, A.: Post-slaughter changes in ATP metabolites, reducing and phosphorylated sugars in chicken meat, *Meat Science*, 94, 1, 2013, p. 55-62.
- Alvarado, C.Z., Sams, A.R.: The influence of post mortem electrical stimulation on rigor mortis development, calpastatin activity, and tenderness in broiler and duck pectoralis. *Poult. Sci.* 2000, 79, p. 1364-1368.
- Al-Jasser, M.S. Effect of cooling and freezing temperatures on microbial and chemical properties of chicken meat during storage. *J. Food Agric. Environ.* 2012, 10, p. 113-116.
- Arif, M., Alagawany, M., El-Hack, A., Saeed M., Arain, M.A., Elnesr, S.S.: Humic acid as feed additive in poultry diets: a review, *Iran. J. Vet. Res.*, 20, 3, 2019, p. 167-172.
- Augustýnska-Prejsnar, A., Hanus, P., Ormian, M., Kačániová, M., Sokołowicz, Z., Topczewska, J.: The Effect of Temperature and Storage Duration on the Quality and Attributes of the Breast Meat of Hens after Their Laying Periods. *Foods*, 2023, 12, p. 4340.
- Bartkovský, M., Marcinčák, S. Humínové látky a fermentované krmivá obohatené o významné mastné kyseliny - efekt na kvalitu mäsa brojlerových kurčiat, *Hygiena Alimentorum*, XLII, 2022, p. 6-23.

Beauclercq, S., Mignon-Grasteau, S., Petit, A., Berger, Q., Lefevre, A., Méttayer-Coustard, S.M., Tesseraud, S., Emond, P., Berri, C., Bihan-Duval, E.L.: A divergent selection on breast meat ultimate pH, a key factor for chicken meat quality, is associated with different circulating lipid profiles. *Front. Physiol.* 2022, 13, 935868. p. 1-11.

Canibe, N., Jansen, B.B.: Fermented liquid feed—Microbial and nutritional aspects and impact on enteric diseases in pigs, *Animal Feed Science and Technology*, Vol. 173, 1-2, 2012, p. 17-40.

Celik, K., Uzatici, A., Akin A.E. 2008: Effects of dietary humic acid and *Saccharomyces cerevisiae* on performance and biochemical parameters of broiler chickens. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 3, 344 – 350.

Čertík, M., Klempová, T., Guothová, L., Mihálik, D., Kraic, J.: Biotechnology for the functional improvement of cereal-based materials enriched with PUFA and pigments. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2013, 115, p. 1247-1256.

Dalle Zotte, A.: Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livestock Prod. Sci.*, 2002, 75, p. 11-32.

Dave D., Ghaly, A.E.: Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 2011, 6, 4, p. 486-510.

Doulgeraki, A., Ercolini, D., Villani, F., Nychas, G.: Spoilage microbiota associated to the storage of raw meat in different conditions, *Int. J. Food Microb.*, 157, 2012, p. 130-141.

de Rocha, T.C.; Costa Filho, D.V.; de Carvalho, L.M.; de Carvalho, J.M.; Estevez, M.; Madruga, M.S. Effect of refrigeration and freezing on the oxidative stability of WB chicken breast. *LWT-Food Sci. Technol.* 2022, 171, p. 114108

Farouk, M. M., Lovatt, S. J.: Initial chilling rate of pre-rigor beef muscles as an indicator of colour of thawed meat. *Meat Sci.*, 2000, 56, p. 139-144.

Chang, Y.S., Chou, R.G.: Postmortem degradation of desmin and calpain in breast and leg and thigh muscles from Taiwan black-feathered country chickens. *J. Sci. Food Agric.*, 2010, 90, p. 2664-2668

Klempová, T., Slaný, O., Čertík, M., Marcinčák, S.: fermentované krmivá ako prostriedok zlepšenia nutričnej kvality kuracieho mäsa, *Hygiena Alimentorum XLII*, 2022, p. 253-259.

Koréneková B, Nagy J, Smulders FJM, Paulsen, P., Mačanga, J., Popelka, P., Marcinčák, S., Korének, M. 2014: Lactic acid concentration and pH values in muscles of European brown hare, In: *Trends in game meat hygiene, From forest to fork*, Edited by: Paulsen, P., Bauer, A., Smulders, F. J. M. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 2014, 400p.

Mačanga, J., Koréneková, B., Nagy, J., Marcinčák, S., Popelka, P., Kožárová, I., Korének, M. 2011. Post-mortem changes in the concentration of lactic acid, phosphates and pH in the muscles of wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) according to the perimortal situation. *Meat Science*. 2011, 88, 4, pp. 701-704.

Makiš, A., Semjon, B., Marcinčáková, D., Bartkovský, M., Mesarčová, L., Reitznerová A., Klempová, T., Marcinčák S.: Skrmovanie fermentovaného produktu obohateného o významné mastné kyseliny, *Hygiena Alimentorum XLII*, 2022, p. 55-62.

Marcinčák, S., Semjon, B., Marcinčáková, D., Reitznerová, A., Mudroňová, D., Vašková, J., Nagy, J.: Humic Substances as a Feed Supplement and the Benefits of Produced Chicken Meat, *Life*, 2023, 13, 927, p.1-13.

Mekonnen, A.: Major causes of meat spoilage and preservation techniques: A review: *Food Sciences and Quality Management*, 41, 2015, p. 1-25.

Nikmanesh, A., Baghaei, H.; Mohammadi Nafchi, A. Development and Characterization of Antioxidant and Antibacterial Films Based on Potato Starch Incorporating Viola odorata Extract to Improve the Oxidative and Microbiological Quality of Chicken Fillets during Refrigerated Storage. *Foods*, 2023, 12, 15, p. 1-19.

Ozturk, E., Ocak, N., Turan, A., Erener G., Altop A., Cankaya S.: Performance, carcass, gastrointestinal tract and meat quality traits, and selected blood parameters of broilers fed diets supplemented with humic substances. *J. Sci. Food. Agric.*, 2012, 92, 1, p. 59-65.

Ozturk, E., Coskun, I., Ocak, N., Erener G., Dervisoglu, M., Turhan, S.: Performance, meat quality mineral contents and caecal microbial population responses to humic substances administered in drinking water in broilers, *British Poultry Science*, 2014, 55,5, p. 668-674.

Postemsky, P.D.; Curvetto, N.R. Solid-state fermentation of cereal grains and sunflower seed hulls by *Grifola gargar* and *Grifola sordulenta*. *Int. Biodeter. Biodegr.* 2015, 100, p. 52-61.

Petracci, M., Mudalal, S., Bonfiglio, A., Cavani, C.: Occurrence of white striping under commercial conditions and its impact on breast meat quality in broiler chickens. *Poult. Sci.*, 92, 6, 2013, p. 1670-1675.

Realini, C.E., Vénien, A., Gou, P., Gatellier, P., Pérez-Juan, M., Danon, J., Astric, T.: Characterization of Longissimus thoracis, Semitendinosus and Masseter muscles and relationships with technological quality in pigs. *Meat Sci*, 94, 2013, 408-416.

Semjon, B., Marcinčáková, D., Koréneková, B., Bartkovský, M., Nagy, J., Turek, P., Marcinčák, S.: Multiple factorial analysis of physicochemical and organoleptic properties of breast and thigh meat of broilers fed a diet supplemented with humic substances. *Poult. Sci.* 2020, 99, 1750-1760.

Sun, H., Chen, D., Cai, H., Chang, W., Wang, Z., Liu, G., Deng, X., Chen, Z.: Effects of Fermenting the Plant Fraction of a Complete Feed on the Growth Performance, Nutrient Utilization, Antioxidant Functions, Meat Quality, and Intestinal Microbiota of Broilers. *Animals* 2022, 12, 2870. p. 1-12.

- Slaný, O., Klempová, T., Shapaval, V., Zimmerman B., Kohler, A., Čertík, M.: Biotransformation of Animal Fat-By Products into ARA - enriched fermented bioproducts by Solid-State Fermentation of *Mortierella alpina*. *J. Fungy*, 2020, 6, 4, 236, p. 1-15.
- Soccol, C.R., da Costa, E.S.F., Letti, L.A.J., Karp, S.G., Woiciechowski, A.L., Vandenberghe, L.P.S.: Recent developments and innovations in solid state fermentation. *Biotech. Res. Innov.* 2017, 1, 52–71.
- Stonehouse, G.G., Evans, J.A.: The use of supercooling for fresh foods: A review. *J. Food Eng.* 2015, 148, p. 74-79.
- Tougan, P.U., Dahouda, Ch., Salifou, F.A., Ahounou, S.G.A., Kpodekon, M.T., Mensah, G.A., Thewis, A., Karim, I.Y.A. 2013. Conversion of chicken muscle to meat and factors affecting chicken meat quality: a review: *Int. J. Agron. Agricul. Res.*, 3, 8, 2013, pp. 1-20.
- Yu, L.H., Lee, E.S, Chen, H. S., Jeong, J.Y, Choi, Y. S., Lim, D. G., Kim Ch. J: Comparison of Physicochemical Characteristics of Hot-boned Chicken Breast and Leg Muscles during Storage at 20°C, *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.*, 2011, 31, 5, pp. 676-683.
- Wang, Z., Xing, T., Zhang, L., Zhao, L., Gao, F.: Dynamic changes of protein lactylation and their correlations with the glycolytic process during the postmortem acidification of broiler breast, *Poultry Sci.*, 2024, 103, 104354, p. 1-11.
- Weglarz, A. Meat quality defined based on pH and colour depending on cattle category and slaughter season. *Czech J. Anim. Sci.* 2010, 55, 548–556.
- Wong, Y.H., Khin, A.A., Lim, C.S.: Effect of Different Additives Incorporation in Chicken Diets on Consumers' Sensory Preference, *Adv. Agri. Food. Res. J.*, 2025, 6, 1, p. 1-18.

Kontakné adresy autorov:

MVDr. Beáta Koréneková, PhD., doc. MVDr. Ivona Kožárová, PhD., MVDr. Anna Reitznerová, doc. MVDr. Boris Semjon, PhD., prof. MVDr. Slavomír Marcincák, PhD: Katedra hygieny technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika, e - mail autorov: Beata.Korenekova@uvlf.sk, Ivona.Kozarova@uvlf.sk, Anna.Reitznerova@uvlf.sk, Boris.Semjon@uvlf.sk, Slavomir.Marcincak@uvlf.sk

MIKROBIOLOGICKÁ KONTROLA KVALITY OVČIEHO A KOZIEHO MLIEKA A SYRA Z FARMY

MICROBIOLOGICAL QUALITY CONTROL OF FARM-PRODUCED SHEEP AND GOAT MILK AND CHEESE

Mariana Kováčová, Jana Výrostková, Ivana Regecová

Abstract: Slovak raw milk and traditional artisanal cheese may pose a threat to consumer safety due to pathogen presence. The aim of this study was to assess the microbiological safety and quality of sheep's and goat's fresh milk, and cheeses produced on farm level. Level of contamination by Enterobacteriaceae and coagulase-positive staphylococci was lower than 5 log CFU/mL in sheep's and goat's milk. During the ripening time, the number of lactic acid bacteria significantly raised ($p < 0.001$). The presence of *Listeria monocytogenes*, *E. coli* and *Bacillus cereus* were not confirmed in all of tested samples. Based on the relevant standards, the tested samples were considered safe for human consumption.

Keywords: microbiological safety, food quality, milk, cheeses, goat, sheep

Úvod

Chov malých prežúvavcov, ako sú ovce a kozy, nadobudol celosvetovo významné postavenie v oblasti poľnohospodárstva. Dopyt po ovčích a kozích mliečnych výrobkoch rastie tak na tradičných, ako aj na nových trhoch. Ovčie a kozie mlieko a produkty z nich vyrobené sú často uprednostňované pre svoje zdravotné a výživové prínosy, vrátane lepšej stráviteľnosti a priaznivého vplyvu na metabolizmus tukov, ako aj pre svoju charakteristickú chuť v porovnaní s kravským mliekom (Chedid a kol., 2025). Proces produkcie týchto mliečnych výrobkov je ovplyvňovaný rôznymi faktormi, počnúc nízkou produktivitou stáda, slabou hygienou na farmách, až po neadekvátne balenie a nedostatočne fungujúcu distribučnú sieť. V dôsledku toho môžu byť výrobky z ovčieho a kozieho mlieka nedocenené, nedôveryhodné z pohľadu spotrebiteľov a s tým spojený problém s dobrou predajnou schopnosťou (Semaan a kol., 2011; Martišová a kol., 2020).

Bezpečnosť potravín vieme dosiahnuť na jednej strane zameraním sa na prevenciu, dodržiavaním zásad správnej hygieny a zásad analýzy rizík a kritických kontrolných bodov (HACCP), a na druhej strane splnením mikrobiologických kritérií stanovených v nariadení Komisie (ES) č. 2073/2005 o mikrobiologických kritériách pre potraviny. Mikrobiologická kvalita tradičných syrov a ich bezpečnosť pre spotrebiteľov závisí od mikrobiologickej kvality surového mlieka použitého na výrobu, dodržiavania noriem, osobnej hygieny pracovníkov, ako aj od možnej kontaminácie po spracovaní mlieka (Janštová a kol., 2010).

Najdôležitejšou skupinou mikroorganizmov v zrejúcich syroch sú baktérie mliečneho kvasenia (BMK). Baktérie mliečneho kvasenia sú schopné inhibovať rast iných baktérií, ako sú baktérie z čeľade Enterobacteriaceae alebo koliformné baktérie. Prítomnosť koliformných baktérií *E. coli* a enterokokov poukazuje na nedostatočné dodržiavanie zásad správnej hygienickej praxe počas technologického spracovania. Na území Slovenskej republiky sú záväzné Nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 852/2004 a č. 853/2004, ktoré definujú všeobecné požiadavky na hygienu potravín a zároveň stanovujú osobitné pravidlá pre potraviny živočíšneho pôvodu s cieľom zabezpečiť ich bezpečnú výrobu a vysokú kvalitu v súlade s princípmi potravinovej bezpečnosti (Hariharan a kol., 2004; Vršová a kol., 2019).

Materiál a metódy

Táto štúdia bola realizovaná v období od apríla do septembra, čo predstavuje tradičnú sezónu dojenia oviec a kôz na Slovensku. Čerstvé nepasterizované ovčie a kozie mlieko, ako aj syr vyrobený z tohto mlieka, boli získané z farmy nachádzajúcej sa v regióne Slanské vrchy. Na farme sa venujú chovu valašských oviec a bielych krátkosrstých kôz. Mlieko bolo získané ručným dojením. Vzorky ovčieho a kozieho mlieka boli odobraté z ranného dojenia. Odobraté vzorky boli umiestnené do sterilných vzorkovníc a prepravené pri teplote do 4 °C do laboratória kde boli podrobené mikrobiologickej analýze na Univerzite veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach. Syry boli vyrobené z nepasterizovaného a neštandardizovaného mlieka bez pridania štartovacej kultúry, tradičným spôsobom výroby. Vzorky syrov boli podrobené mikrobiologickej analýze počas 1., 6. a 12. dňa zrenia. Zrenie syrov bolo vykonané v zrecích komorách pri teplote 10–12 °C a relatívnej vlhkosti 88–89 %.

Príprava vzoriek, základnej suspenzie a jej ďalších riedení bolo pripravené podľa zásad STN EN ISO 6887-5: 2011. Počet baktérii čeľade Enterobacteriaceae bol vykonaný podľa STN EN ISO 21528-1: 2019. Po inkubácii sa vybrané kolónie testovali na fermentáciu glukózy a oxidázovú reakciu (OXItest; Erba-Lachema, Brno, Česká republika), ktoré slúžia na potvrdenie baktérii z čeľade Enterobacteriaceae prostredníctvom ich fenotypových reakcií. Následne bola vykonaná detekcia β -glukuronidázopozitívnych *Escherichia coli* (STN ISO 16649-2: 2001), *Bacillus cereus* (STN EN ISO 7932: 2004); *Listeria monocytogenes* (STN EN ISO 11290-2: 2019), koagulázopozitívnych stafylokokov (STN EN ISO 6888-1: 1999). Zároveň sa zisťoval počet baktérii mliečneho kvasenia podľa STN ISO 15214: 2002. Hodnoty počtu analyzovaných mikroorganizmov boli po izolácii vyjadrené do logaritmickej transformácie ($\log_{10}$).

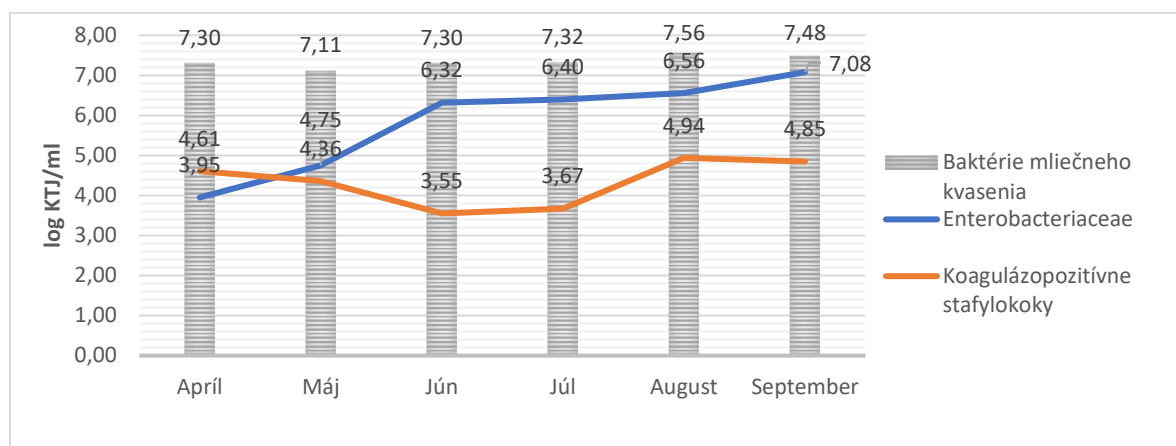
Štatistická analýza sa uskutočnila jednosmernou analýzou rozptylu (ANOVA) a Tukeyho testom na viacnásobné porovnanie priemerov s intervalom spoľahlivosti nastavenom na 95 % použitím štatistického softvéru GraphPad Prism 8.3.0.538 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA).

Výsledky a diskusia

Počas šesť mesačného experimentálneho obdobia sa počet baktérii z čeľade Enterobacteriaceae pohyboval v rozmedzí od $3,95 \pm 0,35 \log$ KTJ/ml do $7,08 \pm 0,15 \log$ KTJ/ml vo vzorkách ovčieho mlieka a $3,49 \pm 0,13 \log$ KTJ/ml do $7,32 \pm 0,19 \log$ KTJ/ml vo vzorkách kozieho mlieka (Graf 1. a 2.). K ich štatisticky významnej zmene ($p < 0,001$) došlo od apríla do septembra, kedy ich počet výrazne vzrástol. Baktérie čeľade Enterobacteriaceae sa považujú za indikátor hygienických podmienok produkcie mlieka (Ibtisam a kol., 2007). Muehlherra a kol. (2003) uvádzajú v ich práci maximálnu hodnotu Enterobacteriaceae $7,64 \log$ KTJ/ml v kozom mlieku a maximálnu hodnotu $5,34 \log$ KTJ/ml v ovčom mlieku.

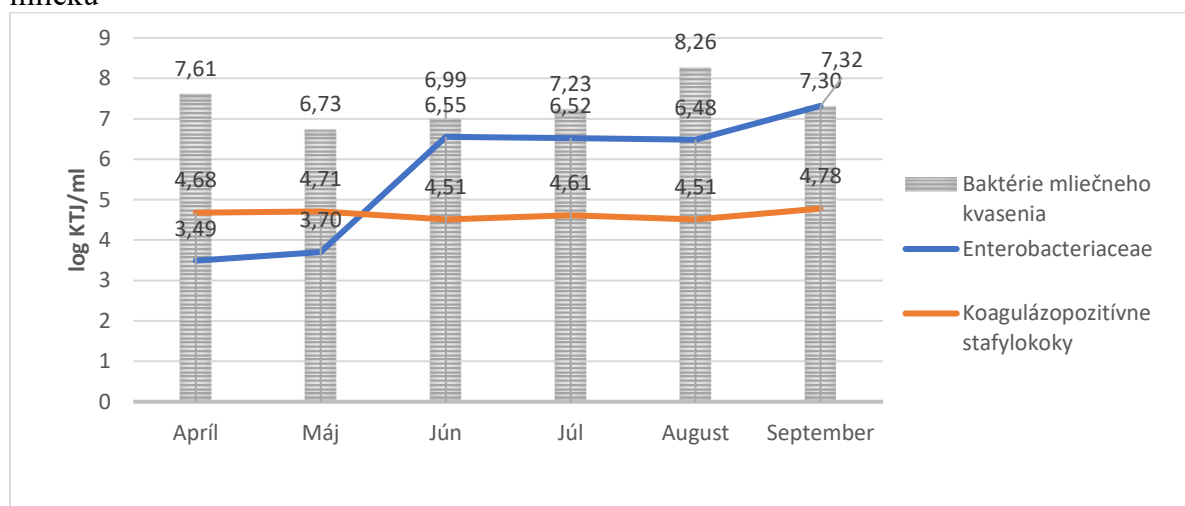
V ovčom mlieku bola priemerná hodnota koagulázopozitívnych stafylokokov $4,33 \pm 0,57 \log$ KTJ/ml s najvyššou hodnotou $4,94 \pm 0,15 \log$ KTJ/ml v auguste a najnižšia $3,55 \pm 0,23 \log$ KTJ/ml v júni. Priemerná hodnota koagulázopozitívnych stafylokokov v kozom mlieku bola stanovená $4,30 \pm 0,56 \log$ KTJ/ml. V priebehu experimentálneho obdobia sa počet koagulázopozitívnych stafylokokov významne líšil ($p < 0,001$) v ovčom aj kozom mlieku. Počet koagulázopozitívnych stafylokokov v analyzovanom ovčom mlieku a v kozom mlieku nedosiahol $5,00 \log$ KTJ/ml, t. j. objem baktérii potrebný na produkciu enterotoxínu, ktorý je schopný vyvolať alimentárnu intoxikáciu (Ercolini a kol., 2004).

Graf 1. Grafické znázornenie prítomnosti vybraných baktérií (log KTJ/ml) v surovom ovčom mlieku



Zdroj: vlastný graf

Graf 2. Grafické znázornenie prítomnosti vybraných baktérií (log KTJ/ml) v surovom kozom mlieku



Zdroj: vlastný graf

Množstvo BMK sa počas skúmaného obdobia štatisticky líšilo na úrovni významnosti $p < 0,001$ (Graf 1. a Graf 2.). Výsledky ukázali, že priemerná hodnota BMK v ovčom mlieku bola $7,34 \pm 0,19$ log KTJ/ml a v kozom mlieku $7,35 \pm 0,50$ log KTJ/ml. V ovčom mlieku, počet BMK vzrástol od mája $7,11 \pm 0,14$ log KTJ/ml na $7,56 \pm 0,12$ log KTJ/ml v auguste. V kozom mlieku najvyšší počet BMK bol $8,26 \pm 0,18$ log KTJ/ml v auguste a najnižšia $6,73 \pm 0,06$ log KTJ/ml v máji.

Prítomnosť *B. cereus*, *E. coli* a *L. monocytogenes* sa nezistila v žiadnej z analyzovaných vzoriek surového ovčieho a kozieho mlieka. Počet *L. monocytogenes* v zdravom ovčom a kozom mlieku je vo všeobecnosti veľmi nízky. Bogdanovičová a kol. (2016) v štúdií detekovali prítomnosť *L. monocytogenes* len v troch vzorkách surového mlieka (1,3 %) (0,6 % kravského mlieka, 3,1 % kozieho mlieka a 4,4 % ovčieho mlieka).

Doba zrenia ovplyvnila počet prítomných baktérií ($p < 0,001$) v ovčích a kozích syroch (Tabuľka 1.). Zastúpenie baktérií z čeľade Enterobacteriaceae sa zmenilo z $5,84 \pm 1,14$ log KTJ/ml v skúmanom ovčom mlieku na $6,12 \pm 0,82$ log KTJ/ml v ovčom syre počas prvého dňa zrenia. V kozom syre sa priemerná hodnota týchto baktérií zvýšila z $5,68 \pm 1,53$ log KTJ/ml

stanovených v surovom kozom mlieku na $6,27 \pm 0,87$ log KTJ/ml v kozom syre počas prvého deň zrenia. Počas doby zrenia (6. a 12. deň) nedošlo k významnej zmene ($p > 0,05$) v počte baktérií z čeľade Enterobacteriaceae ani v ovčom, ani v kozom syre. Počet týchto baktérií však počas zrenia vykazoval klesajúci trend.

Tabuľka 1. Priemerné hodnoty a štandardné odchýlky (priemer $\pm$ SD) počtu vybraných baktérií (log KTJ/ml) vo vzorkách ovčích a kozích syrov stanovené počas 1., 6. a 12. dňa procesu zrenia.

		EB	KoPS	BMK
Ovčí syr	1. deň	6.12 ± 0.82	4.45 ± 0.64	7.01 ± 0.70^b
	6. deň	5.81 ± 1.09	4.77 ± 0.50	8.32 ± 0.47^a
	12. deň	5.49 ± 1.0	4.19 ± 0.13	9.10 ± 0.45^a
	<i>p</i> -hodnota	> 0.05	> 0.05	< 0.001
Kozí syr	1. deň	6.27 ± 0.87	5.04 ± 0.43^a	7.61 ± 0.24^c
	6. deň	5.86 ± 1.07	4.41 ± 0.41	8.58 ± 0.47^b
	12. deň	5.32 ± 0.75	3.87 ± 0.78^b	9.46 ± 0.48^a
	<i>p</i> -hodnota	> 0.05	< 0.01	< 0.001

EB - Enterobacteriaceae; KoPS - koagulázopozitívne stafylokoky; BMK - baktérie mliečneho kvasenia

^{a, b, c} – hodnoty s rozličným horným indexom v rámci stĺpca ($p < 0.05$)

zdroj: vlastná tabuľka

Prítomnosť koliformných baktérií, predovšetkým druhov patriacich do čeľade Enterobacteriaceae, slúži ako významný indikátor hygienického stavu pri výrobe a manipulácii s potravinami. (Pyz-Łukasik a kol., 2018). Množstvo týchto baktérií počas doby zrenia malokledavý charakter (Tab. 1). Výsledky iných autorov poukazujú na vysoký rozsah úrovne koliformnej kontaminácie v rôznych typoch syrov vyrábaných tradičnými metódami z kravského, kozieho, ovčieho alebo zmiešaného mlieka od 1 do $7,89$ log KTJ/ml (Pyz-Łukasik a kol., 2018). Litopoulou-Tzanetakiho a Tzanetakisa (2011), vo svojej štúdii uvádzajú, že množstvo baktérií čeľade Enterobacteriaceae záviselo od času zrenia syra, ako sa doba zrenia predlžovala, hladiny týchto baktérií klesali.

Počet koagulázopozitívnych stafylokokov sa v ovčom syre zvýšil v porovnaní s ich počtom nameraným v surovom mlieku (Tabuľka 1.). Výsledky ukázali, že priemerné množstvo sa zvýšilo zo $4,33 \pm 0,57$ log KTJ/ml v ovčom mlieku na $4,45 \pm 0,64$ log KTJ/ml v ovčom syre počas prvého dňa zrenia. Vo vzorkách kozieho mlieka a syra bol zaznamenaný nárast koagulázopozitívnych stafylokokov, pričom priemerná hodnota sa zvýšila z $4,30 \pm 0,56$ log KTJ/ml v kozom mlieku na $5,04 \pm 0,43$ log KTJ/ml v kozom syre počas prvého dňa zrenia. V ovčom syre neboli počas zrenia zistené významné rozdiely ($p > 0,05$) v počte koagulázopozitívnych stafylokokov. Naopak, vo vzorkách kozieho syra sa počet týchto baktérií znížil z $5,04 \pm 0,43$ log KTJ/ml v prvý deň zrenia na $3,87 \pm 0,78$ log KTJ/ml v dvanásty deň zrenia ($p < 0,01$).

Hlavným predstaviteľom koagulázopozitívnych stafylokokov je *Staphylococcus* spp., ktorého množstvo v tradičných zrejmých syroch vyrobených zo surového mlieka sa môže pohybovať od $3,54$ do $6,50$ log KTJ/ml v závislosti od štádia zrenia (Alegría a kol., 2009; Litopoulou-Tzanetaki a Tzanetakis, 2011). Pri úrovni prítomnosti koagulázopozitívnych stafylokokov nad 5 log KTJ/ml môže nastať produkcia enterotoxínu v množstvo, ktoré môže byť všeobecne nebezpečné pre ľudské zdravie (Morar a kol., 2016). Tieto mikroorganizmy mohli byť inhibované v tejto práci prítomnosťou baktériami mliečneho kvasenia, ktoré môžu prežiť zmenu podmienok počas doby zrenia syrov (Dores a kol., 2013).

Baktérie mliečného kvasenia vykazovali štatisticky významné rozdiely ($p < 0,001$) vo vzorkách ovčieho a kozieho syra. Priemerná hodnota BMK vo vzorkách ovčieho syra bola $8,14 \pm 1,03$ log KTJ/ml a vo vzorkách kozieho syra $8,55 \pm 8,87$ log KTJ/ml.

Počas celej doby zrenia sa v našich vzorkách ovčieho a kozieho syra nepotvrdila prítomnosť *B. cereus*, *E. coli* a *L. monocytogenes*. Naše výsledky potvrdili výsledky iných štúdií (Sip a kol., 2010; Blaya a kol., 2018), kde *Listeria* spp. nebola prítomná v čerstvých a krátko zrejúcich syroch vyrobených v Poľsku, a taktiež v dlho zrejúcich syroch vyrobených v Brazílii a Taliansku.

Záver

Mikrobiologická kvalita suroviny a hygienické podmienky výroby predstavujú kľúčové faktory ovplyvňujúce bezpečnosť a kvalitu syrov produkovaných v tradičných farmárskych podmienkach. Z pohľadu spotrebiteľa sú tieto aspekty rozhodujúce najmä pri produktoch vyrábaných zo surového mlieka. Kvalita výsledného výrobku závisí predovšetkým od mikrobiologickej nezávadnosti použitej suroviny, dodržiavania hygienických štandardov počas technologického procesu a minimalizácie rizika následnej kontaminácie v priebehu spracovania a skladovania. Konzumácia syrov vyrobených z nepasterizovaného ovčieho a kozieho mlieka z vybranej farmy nepredstavuje pri dodržaní správnych hygienických a technologických postupov významné zdravotné riziko pre spotrebiteľa.

Literatúra

- Alegria, Á.; Álvarez-Martín, P.; Sacristán, N.; Fernández, E.; Delgado, S.; Mayo, B. Diversity and evolution of the microbial populations during manufacture and ripening of Casín, a traditional Spanish, starter-free cheese made from cow's milk. *Int. J. Food Microbiol.* **2009**, 136, 44–51.
- Blaya, J.; Barzideh, Z.; LaPointe, G. Symposium review: Interaction of starter cultures and nonstarter lactic acid bacteria in the cheese environment. *J. Dairy Sci.* **2018**, 101, 3611–3629.
- Bogdanovičová, K.; Vyletěllová-Klimešová, M.; Babák, V.; Kalhotka, L.; Koláčková, I.; Kapříšková, R. Microbiological Quality of Raw Milk in the Czech Republic. *Czech. J. Food Sci.* **2016**, 34, 189–196.
- Dores, M.T.; Nobrega, J.E.; Ferreira, C.L.L.F. Room temperature aging to guarantee microbiological safety of brazilian artisan Canastra cheese. *Food Sci. Technol.* **2013**, 33, 180–185.
- Ercolini, D.; Blaiotta, G.; Fusco, V.; Coppola, S. PCR-based detection of enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* in the early stages of raw milk cheese making. *J. Appl. Microbiol.* **2004**, 96, 1090–1096.
- Semaan E. H., Dib H., Abi Ramia R., and Chedid M., Caractéristiques chimiques et qualité bactériologique de produits laitiers caprins traditionnels Libanais. *Leban. Sci. J.* **2011**, 12, 1, 21–29.
- Hariharan, H.; Donachie, W.; Macaldowie, C.; Keefe, G. Bacteriology and somatic cell counts in milk samples from ewes on a Scottish farm. *Can. J. Vet. Res.* **2004**, 68, 188–192.
- Chedid, M.; Shaib, H.; Jaber, L.; Iskandarani, Y. E.; Hamadeh, S. K. Microbial Quality and Production Methods of Traditional Fermented Cheeses in Lebanon. *Int. J. Food Sci.* **2025**, 5673559.
- Ibtisam, E.; El Zubeir, M.; Ahmed Mahbora, I.A. The hygienic quality of raw milk produced by some dairy farms in Khartoum State, Sudan. *Res. J. Microbiol.* **2007**, 2, 988–991.
- Janštová, B.; Dračková, M.; Cupáková, S.; Přidalová, H.; Pospíšilová, M.; Karpíšková, R.; Vorlová, L. Safety and quality of farmfresh goat's cheese in the Czech Republic. *Czech J. Food Sci.* **2010**, 28, 1–8.
- Litopoulou-Tzanetaki, E.; Tzanetakis, N. Microbiological characteristics of Greek traditional cheeses. *Small Rumin. Res.* **2011**, 101, 17–32.
- Martišová, P.; Štefániková, J.; Hynšt, M.; Vietoris, V.; Macková P.; Hynšt, M.; Vietoris, V.; Macková, P. Reference Mapping Of Slovak Cheese. In *Potravin. Slovak J. Food Sci.* **2020**, 14, 1211–1217.
- Morar, A.; Imre, K.; Onci, O.; Sala, C.C. The quality of some cheeses manufactured by traditional methods. *J. Biotechnol.* **2016**, 231, S82.
- Muehlherr, J.E.; Zweifel, C.; Corti, S.; Blanco, J.E.; Stephan, R. Microbiological Quality of Raw Goat's and Ewe's Bulk-Tank Milk in Switzerland. *J. Dairy Sci.* **2003**, 86, 3849–3856.
- Olarte, C.; Sanz, S.; Gonzalez-Fandos, E.; Torre, P. The effect of a commercial starter culture addition on the ripening of an artisanal goat's cheese (Cameros cheese). *J. Appl. Microbiol.* **2000**, 88, 421–429.
- Pyz-Łukasik, R.; Knysz, P.; Gondek, M. Hygiene Quality and Consumer Safety of Traditional Short- and Long-Ripened Cheeses from Poland. *J. Food Qual.* **2018**.
- Sip, A.; Olejnik-Schmidt, A.; Wieckowicz, M.; Grajek, W. Analysis of microflora associated with regional golka cheeses. *Bio-technol. Acta Sci. Pol. Acta Sci. Pol. Biotechnol.* **2010**, 9, 25–38.

STN EN ISO 11290-2: 2019. Microbiology of the Food Chain. Horizontal Method for the Detection and Enumeration of *Listeria monocytogenes* and of *Listeria* spp. Part 2: Enumeration Method; Slovak Standards Institute: Bratislava, Slovakia, 2019.

STN EN ISO 21528-1: 2019. Microbiology of the Food Chain- Horizontal Method for the Detection and Enumeration of *Enterobacteriaceae*. Part 1: Detection of *Enterobacteriaceae*; Slovak Standards Institute: Bratislava, Slovakia, 2019.

STN EN ISO 6887-5: 2011. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs. Preparation of Test Samples, Initial Suspension and Decimal Dilutions for Microbiological Examination; Slovak Standards Institute: Bratislava, Slovakia, 2011

STN EN ISO 6888-1: 1999. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs. Horizontal Method for the Enumeration of Coagulase-Positive Staphylococci (*Staphylococcus aureus* and Other Species). Part 1: Technique using Baird-Parker Agar Medium; Slovak Standards Institute: Bratislava, Slovakia, 1999.

STN EN ISO 7932: 2004. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs. Horizontal Method for the Enumeration of Presumptive *Bacillus cereus*. Colony-Count Technique at 30 °C; Slovak Standards Institute: Bratislava, Slovakia, 2004.

STN ISO 15214: 2002. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs. Horizontal Method for Enumeration of Mesophilic Lactic Acid Bacteria. Colony-Count Technique; Slovak Standards Institute: Bratislava, Slovakia, 2002.

STN ISO 16649-2: 2001. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs. Horizontal Method for the Enumeration of β -Glucuronidasepositive *Escherichia coli*. Part 2: Colony-Count Technique at 44 °C using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl β -D-glucuronide; Slovak Standards Institute: Bratislava, Slovakia, 2001.

Vršková, M.; Tančin, V.; Uhrinča, M.; Mačuhová, L.; Tvarožková, K. Hygienic quality and composition of raw sheep's bulk milk samples on selected Slovak farms during year 2018. *Potravin. Slovak J. Food Sci.* **2019**, 13, 359–362.

Kontaktné adresy autorov:

Mariana Kováčová, PhD., Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárského lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, Košice 041 81 e-mail: mariana.kovacova@uvlf.sk

Jana Výrostková, doc. MVDr., PhD., Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárského lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, Košice 041 81 e-mail: jana.vyrostkova@uvlf.sk

Ivana Regecová, doc. MVDr., PhD., Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárského lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, Košice 041 81 e-mail: ivana.regecova@uvlf.sk

SEZÓNNE ROZDIELY VO VÝSKYTE ŽALÚDOČNÝCH VREDOV U OŠÍPANÝCH NA SLOVENSKU

SEASONAL DIFFERENCES IN THE INCIDENCE OF GASTRIC ULCERS IN PIGS IN SLOVAKIA

Zuzana Krepelková, Jaroslav Novotný, Katarína Bárdová, Lýdia Mesarčová, Anna Reitznerová

Abstract: Gastric ulcers in pigs represent a significant health and welfare issue that negatively impacts production parameters and overall animal well-being. Their pathogenesis is complex and multifactorial, with environmental factors particularly heat stress during the summer months playing a crucial role. The aim of this study was to analyze the seasonality of gastric ulcer occurrence, focusing on the frequency of lesions in the *pars esophagea* region across different seasons, and to compare the findings with existing scientific literature. Macroscopic evaluation of the gastric mucosa revealed the highest prevalence of lesions during the summer period, which is likely associated with increased physiological stress due to elevated temperatures, reduced feed intake, and overall stress. The obtained results highlight the critical influence of environmental conditions such as temperature, humidity, and air quality on the development and progression of gastric lesions.

Keywords: gastric ulcers, swine, *pars esophagea*, seasonal variability

Úvod

U ošípaných sú žalúdočné vredy považované za dôležitý zdravotný problém, ktorý postihuje prevažne *pars esophagea* s významným dopadom na ich zdravotný stav a výkonnosť. Môžu viesť k závažným komplikáciám vrátane gastrointestinálneho krvácania, perforácie steny žalúdka a následných sekundárnych infekcií (Friendship a kol., 2000).

Patogenéza žalúdočných vredov je komplexná a spočíva v narušení rovnováhy medzi škodlivými účinkami žalúdočnej kyseliny a pepsínu a ochrannými mechanizmami žalúdočnej sliznice (Smith a kol., 2018).

K významným rizikovým faktorom patrí vplyv vonkajšieho prostredia, ktorý môže priamo alebo nepriamo zvyšovať stres u zvierat a tým narušiť ochranu žalúdočnej sliznice. Tieto faktory zahŕňajú teplotný stres spôsobený extrémnymi letnými horúčavami, ktoré môžu viesť k poruchám termoregulácie a zníženému príjmu krmiva (Zhang a kol., 2020).

Okrem teplotného stresu môžu environmentálne faktory zahŕňať aj vlhkosť, kvalitu vzduchu, prítomnosť prachu, amoniaku a ďalších dráždivých látok, ktoré prispievajú k zvýšenej celkovej stresovej záťaži zvierat a môžu oslabiť ochranné bariéry žalúdočnej sliznice (Ramis a kol., 2016).

Významnú úlohu zohráva aj kvalita a konzistencia krmiva, ktorá sa môže sezónne meniť, napríklad v dôsledku rozdielov v sušine alebo zložení krmiva v rôznych ročných obdobiach.

Výskumy naznačujú, že výskyt žalúdočných vredov u ošípaných môže byť sezónny, pričom vyššia prevalencia bola pozorovaná v letných mesiacoch, čo môže byť spojené s vyššími teplotami a zníženým príjmom krmiva (Friendship a kol., 2000; Zhang a kol., 2020).

Materiál a metodika

Naša ročná štúdia bola realizovaná v období od marca 2024 – marca 2025 s cieľom zhodnotiť sezónne rozdiely vo výskyte lézií v oblasti *pars esophagea* žalúdka u výkrmových ošípaných na bitúnkoch v západnej a východnej časti Slovenska.

Makroskopické hodnotenie bolo vykonávané systematicky počas všetkých štyroch ročných období v tomto rozsahu:

Jar – 126 vyšetrených žalúdkov

Leto – 158 vyšetrených žalúdkov

Jeseň – 615 vyšetrených žalúdkov

Zima – 847 vyšetrených žalúdkov

Žalúdky boli bezprostredne po porážke otvorené, vyprázdnené a vizuálne posúdené tou istou kvalifikovanou osobou s cieľom minimalizovať subjektívne odchýlky v hodnotení. Na hodnotenie slizničných lézií *pars esophagea* bol použitý modifikovaný skórovací systém podľa Robertsona (2002) v rozsahu 0 – 3 (0 – normálna sliznica, 1 – parakeratóza, 2 – erózia, 3 – žalúdočný vred).

Získané údaje boli graficky spracované s cieľom porovnať sezónne rozdiely, určiť obdobie s najvyššou incidenciou vredov a vyhodnotiť vplyv sezónnych environmentálnych faktorov na výskyt a závažnosť lézií.

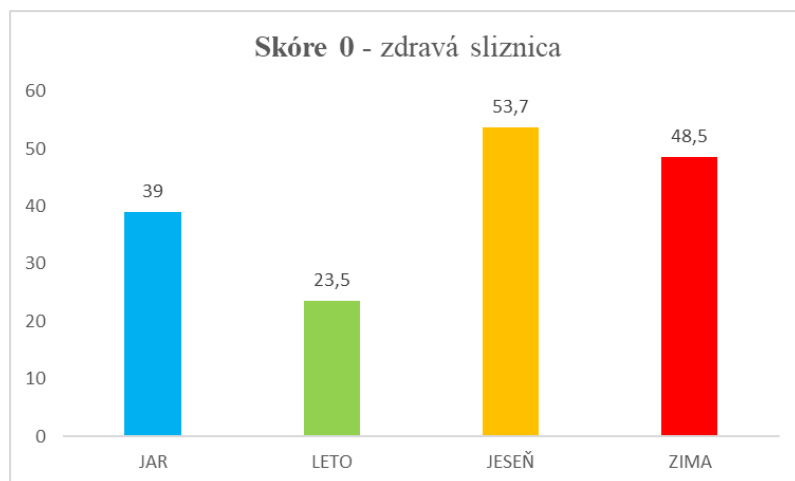
Výsledky

Analýza makroskopického poškodenia žalúdočnej sliznice v oblasti *pars esophagea* podľa ročných období nám ukázala výrazné rozdiely v zastúpení jednotlivých stupňov lézií (skóre). Najvyšší podiel zdravej sliznice (skóre 0) bol zaznamenaný na jeseň (53,7 %), nasledovalo zimné obdobie (48,5 %), jar (39 %) a najnižšia bola v lete (23,5 %) (*Graf 1.*).

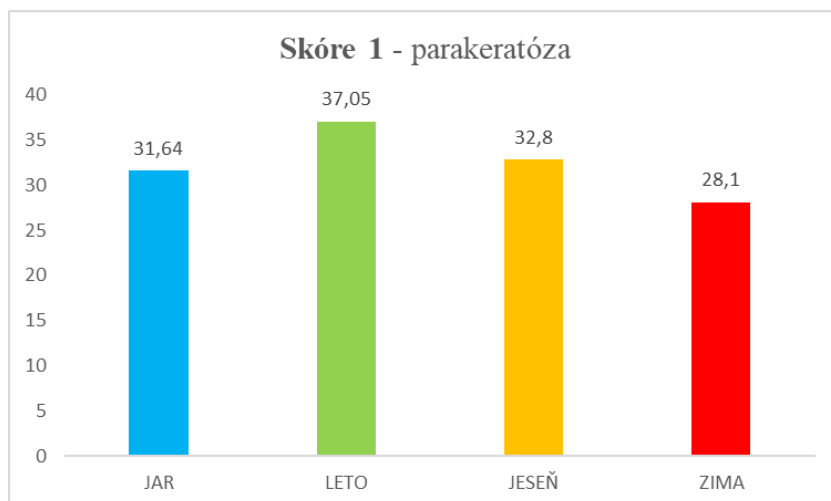
Naopak, stupeň parakeratózy (skóre 1) sa vyskytoval najčastejšie počas leta (37,05 %), zatiaľ čo v jeseni (32,8 %), na jar (31,64 %) a v zime (28,1 %) bola jeho frekvencia nižšia (*Graf 2.*). Podobný trend bol pozorovaný aj pri eróziách (skóre 2), kde najvyššie zastúpenie bolo v lete (32,58 %), výrazne nižšie na jar (22,86 %), v zime (21,15 %) a najmenšie na jeseň (9,9 %) (*Graf 3.*).

Incidencia žalúdočných vredov (skóre 3) bola relatívne nízka vo všetkých obdobiach, pričom najvyššia hodnota bola zaznamenaná v lete (6,87 %), nasledovala jar (6 %), jeseň (3,6 %) a zima (2,25 %) (*Graf 4.*).

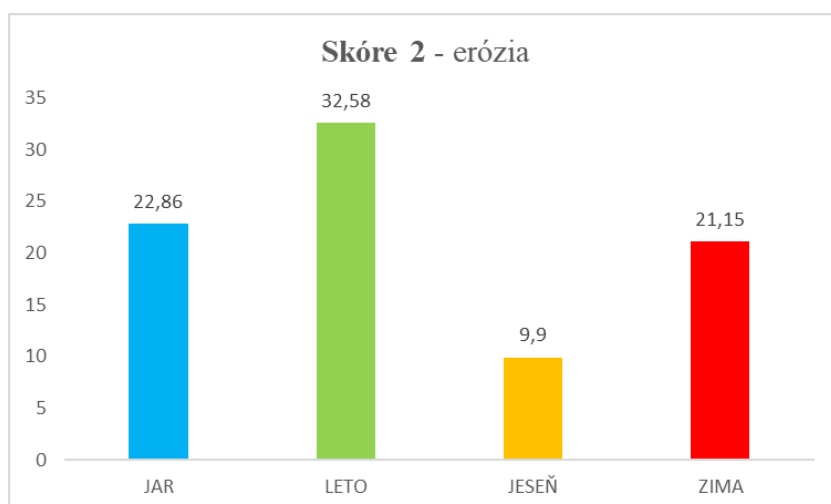
Zistené výsledky poukazujú na výrazné sezónne rozdiely v miere poškodenia žalúdočnej sliznice, pričom letné mesiace sa javia ako kritické obdobie so zvýšeným rizikom vzniku závažnejších lézií vrátane ulcerácií. Zvýšený výskyt lézií môže byť výsledkom negatívneho vplyvu sezónnych environmentálnych faktorov, najmä tepelného stresu, ktorý narúša fyziologickú stabilitu a obranné mechanizmy sliznice ošippaných.



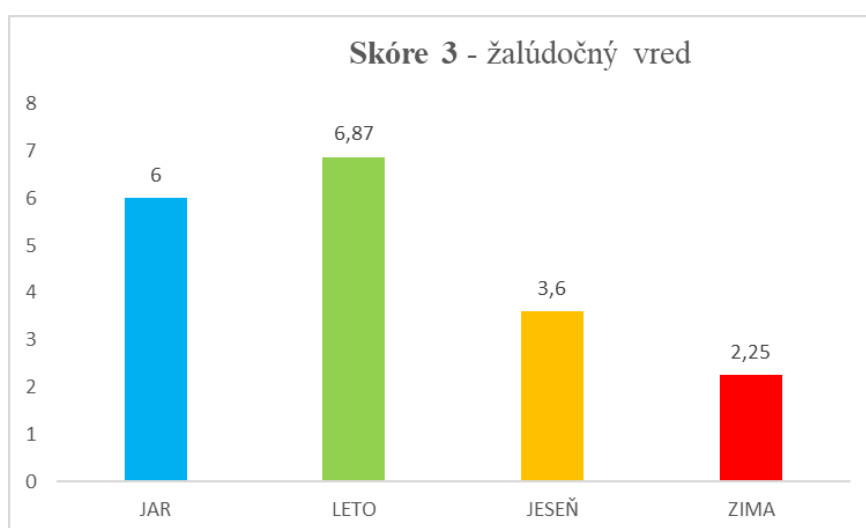
Graf 1. Sezónny výskyt lézií *pars esophagea* pri skóre 0



Graf 2. Sezónny výskyt lézií pars esophagea pri skóre 1



Graf 3. Sezónny výskyt lézií pars esophagea pri skóre 2



Graf 4. Sezónny výskyt lézií pars esophagea pri skóre 3

Diskusia

Výsledky našej štúdie jednoznačne preukázali sezónnosť výskytu žalúdočných vredov u ošipaných, pričom letné mesiace vykazovali najvyššiu prevalenciu lézií a zároveň najnižší podiel zdravých žalúdočných slizníc (*Graf 1*). Zistenia našej štúdie potvrdzujú predchádzajúce výskumy, podľa ktorých je letné obdobie tiež spojené s vyšším rizikom vzniku ulcerácií žalúdočnej sliznice (Ramis a kol., 2006). Takisto štúdia autorov Smith a kol. (2018) analyzovala sezónnosť výskytu žalúdočných vredov u ošipaných v oblasti s miernym klimatickým pásmom a tiež potvrdila výrazné zhoršenie počas horúcich a vlhkých letných období. Autori uvádzajú, že teplotný stres vedie k zvýšenému vylučovaniu žalúdočnej kyseliny a narušeniu slizničnej bariéry, čo prispieva k tvorbe vredov (Liu a kol., 2019; Kiefer a kol., 2021).

Ramis a kol. (2006) v svojej epidemiologickej štúdii na juhovýchode Španielska zdôraznil, že teplotný stres je významným environmentálnym faktorom, ktorý ovplyvňuje morbiditu spojenú s esofagogastrickými vredmi u ošipaných.

Podobné závery priniesla aj práca Zhang a kol. (2020), ktorí zaznamenali zvýšenú incidenciu žalúdočných vredov počas letných mesiacov, pričom za významný faktor považovali zmenu vo výžive a znížený príjem krmiva v dôsledku vysokých teplôt, čo viedlo k zvýšenej sekrécii žalúdočnej kyseliny na prázdny žalúdok (Friendship a kol., 2000; Smith a kol., 2018).

Napiórkowska a kol. (2017) vo svojej štúdii zdôrazňuje význam stresu vyvolaného environmentálnymi faktormi na integritu gastrointestinálnej sliznice u ošipaných, a štúdia od Hampsona a kol. (2006) poukazuje na sezónne variácie v incidencii žalúdočných vredov súvisiace s klimatickými podmienkami. Okrem teplotného stresu prispievajú k zvýšenému riziku vredov aj ďalšie environmentálne faktory, ako sú vysoká vlhkosť a prítomnosť dráždivých látok v prostredí (Jensen a kol., 2018).

Niektoré staršie štúdie, Novak a kol. (2012), uvádzajú zvýšený výskyt vredov v zimnom období, čo pripisujú stresu zo studeného počasia a zmien vo výžive. Avšak súčasné klimatické zmeny a zvyšovanie letných teplôt pravdepodobne posúvajú kritické obdobie viac k letným mesiacom.

Naopak, jesenné obdobie bolo v našej štúdii charakteristické najvyšším podielom zdravých slizníc, čo môže byť spojené s priaznivejšími klimatickými podmienkami, nižším teplotným stresom a stabilnejším príjmom krmiva, ktoré podporujú integritu žalúdočnej sliznice (Müller a kol., 2020). Podobné závery priniesla aj štúdia od Sørensen a kol. (2015), ktorá zdôraznila, že zlepšenie environmentálnych podmienok a zníženie stresových faktorov vedie k významnému zníženiu výskytu žalúdočných vredov.

Z praktického hľadiska je preto nevyhnutné, aby boli preventívne opatrenia proti vzniku žalúdočných vredov prispôbené sezónnym zmenám environmentálnych podmienok. Počas letného obdobia je preto obzvlášť dôležité zavádzať opatrenia zamerané na zníženie tepelného stresu, ako je zabezpečenie adekvátnej ventilácie, využitie chladiacich systémov či úprava mikroklimy v chovných priestoroch. Súčasne je vhodné podporovať príjem krmiva, čím sa znižuje riziko expozície žalúdočnej sliznice agresívnym faktorom a predchádza sa rozvoju lézií. (Smith a kol., 2018; Zhang a kol., 2020).

Záver

Naša štúdia potvrdila výrazný sezónny vplyv environmentálnych faktorov na výskyt žalúdočných vredov u ošipaných, pričom letné obdobie predstavuje obdobie s najvyššou prevalenciou lézií žalúdočnej sliznice. Zvýšený teplotný stres, znížený príjem krmiva a celková stresová záťaž počas leta výrazne oslabujú ochranné mechanizmy žalúdočnej sliznice, čo vedie k vyššiemu riziku ulcerácie. Naopak, jesenné obdobie je spojené s priaznivejšími podmienkami a nižšou mierou poškodenia sliznice. Tieto zistenia zdôrazňujú potrebu zamerania preventívnych opatrení na zvládanie environmentálnych stresorov, najmä v letných mesiacoch,

s cieľom minimalizovať vznik žalúdočných vredov a tým zlepšiť zdravotný stav a produkčnú výkonnosť ošipovaných.

Vzhľadom na tieto poznatky je dôležité, aby chovatelia venovali zvýšenú pozornosť ochrane ošipovaných pred teplotným stresom v letných mesiacoch, napríklad zabezpečením dostatku chladeného pitia, tieňa a vhodnej výživy s cieľom minimalizovať riziko vzniku žalúdočných vredov.

Podakovanie

Táto práca je podporená grantom VEGA 1/0040/24: Výskum prevalencie, etiologických a predispozičných faktorov žalúdočných ulcerózných zmien u ošipovaných.

Literatúra

- Friendship RM, Melnichouk SI, Dewey CE. The use of omeprazole to alleviate stomach ulcers in swine during periods of feed withdrawal. *Can Vet J.* 2000.;41(12):925-928.
- Hampson, D. J., Giffard, C., & Kelsall, D. Seasonal variation in gastric ulcers in pigs and the impact of environmental stressors. *Veterinary Journal*, 2006. 171(2), 381-386.
- Jensen, M. B., Kristensen, A. R., & Poulsen, J. B. Environmental factors and gastrointestinal health in swine: The role of dust, ammonia, and humidity. *Animal Health Research Reviews*, 2018. 19(1), 23-33.
- Kiefer, C., Müller, K., & Schlegel, P. Heat stress and its impact on gastric mucosa integrity in pigs: A review. *Journal of Animal Science*, 2021.99(6), skab136.
- Liu, Y., Wang, X., & Chen, Y. Influence of heat stress on gastric acid secretion and mucosal barrier function in swine. *Frontiers in Veterinary Science*, 2019, 6, 327.
- Müller, K., Schlegel, P., & Kiefer, C. Seasonal variations in feed intake and gastric health of fattening pigs under temperate climate. *Livestock Science*, 2020. 239, 104139.
- Napiórkowska, A., Gajęcka, M., & Obremski, K. Stress and gastrointestinal health in swine production: A review. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 2017,20(2), 241-249.
- Novak, M., Svoboda, T., & Kral, J. Seasonal trends in gastric ulceration in swine herds: The role of cold stress. *Czech Journal of Animal Science*, 2012.57(5), 217-223.
- Ramis G. Esophagogastric ulcer in finishing pigs from twelve large multi-site herds in southeastern Spain, 1995-2000: Descriptive epidemiology, *J Swine Health Prod.* 2006;14(1):18-24.
- Robertson ID, Accioly JM, Moore KM, Driesen SJ, Pethick DW, Hampson, DJ. Risk factors for gastric ulcers in Australian pigs at slaughter. *Prev. Vet. Med.* 2002, 53, 293–303. DOI: 10.1016/S0167-5877(01)00286-0.
- Smith SH, Brown J, Miller G. Pathogenesis of gastric ulcers in pigs. 2018; *Vet Pathol* 55(4):567-576.
- Sørensen, H., Kristensen, A. R., & Jensen, M. B. Effect of environmental improvements on the prevalence of gastric ulcers in finishing pigs. *Animal*, 2015, 9(7), 1188-1195.
- Zhang Y, Wang Y, Chen X. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Sci.* 2020;162:108025.

Kontaktné adresy autorov:

Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Univerzitná veterinárna nemocnica, Klinika ošipovaných, Komenského 73, 041 81 Košice, E-mail: zuzana.krepelkova@uvlf.sk, jaroslav.novotny@uvlf.sk, katarina.bardova@uvlf.sk,

Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Komenského 73, 041 81 Košice, E-mail: lydia.mesarcova@uvlf.sk, anna.reitznerova,@uvlf.sk,

POROVNANIE BIOLOGICKÝCH ÚČINKOV REPKOVÉHO A LIPOVÉHO MEDU

COMPARISON OF BIOLOGICAL EFFECTS OF LINDEN AND RAPESEED HONEY

Dana Marcinčáková, Mária Kolesárová, Slavomír Marcinčák, Jaroslav Legáth

Abstract: Honey has traditionally been used for its nutritional and therapeutic properties. This research focused on evaluating the antioxidant activity of two types of honey (linden and rapeseed) and their biological effect on porcine intestinal epithelial cells (IPEC-1). The tests showed that honey with a higher phenol content had more pronounced antioxidant activity and improved the metabolic activity of cells at various concentrations (0.125–1 mg/ml). Higher concentrations of honey also reduced cell proliferation ($P < 0.001$). The results suggest that honey can protect cells from oxidative damage and promote their metabolism and growth.

Keywords: DPPH, phenols, cell proliferation, MTT, RTCA

Úvod

Med sa prvýkrát používal ako starodávny liek vo viacerých kultúrach, hlavne na liečbu rán. Jeho používanie kolísalo v priebehu storočí, čo súviselo aj s objavom antibiotík. V priebehu rokov a so zvyšujúcou sa rezistenciou na antibiotiká došlo k nárastu používania proti bakteriálnym infekciám (Minden-Birkenmaier et al. 2018).

Med má nielen pozitívne vlastnosti ako liečivo, ale ešte častejšie je využívaný v potravinárskej výrobe. Med možno použiť na liečebné účely, ako sú: hojenie popálenín, kašľa a prechladnutia, antiseptická masť s antibakteriálnymi a protiplesňovými vlastnosťami. Tiež na starostlivosť o pleť s jej hydratačnými vlastnosťami, na liečbu akné s jej antibakteriálnymi vlastnosťami, bylinné výluhy a na čistenie od parazitov (Rasmussen 2023).

Hlavným cieľom tejto štúdie je zhodnotiť vplyv medu na bunkovú odpoveď. Rôzne koncentrácie medu budú analyzované a hodnotené pomocou bunkových kultúr. Boli použité dve metódy: MTT na hodnotenie životaschopnosti alebo metabolickej aktivity buniek a systém xCELLigence, ktorý monitoruje bunkovú odpoveď v reálnom čase s testovanými látkami. Pre túto štúdiu boli porovnávané biologické vlastnosti lipového a repkového medu.

Materiál a metodika

Repkový a lipový med boli dodané zo súkromného včelína so sídlom v Košiciach (Slovensko). Kvetinový pôvod vzoriek upresnili včelári podľa umiestnenia úľa a dostupných zdrojov kvetov. Vzorky boli pre účely testovania na biologickom organizme riedené sterilnou vodou na zásobné koncentrácie 1,25 mg/ml, 2,5 mg/ml, 5 mg/ml a 10 mg/ml.

Hodnotenie antioxidačných vlastností

Test DPPH na hodnotenie schopnosti vychytávať voľné radikály, hodnotí antioxidačnú aktivitu medu. Metóda je založená na prenose elektrónov, ktorý vytvára roztok v etanole 2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl (Sigma Aldrich, Nemecko). V kyvete sa vzorky medu (0,1 ml) zmiešali s 3,9 ml roztoku DPPH v metanole (0,0035 g/100 ml) (v troch opakovaní). Po 5 minútach inkubácie v tme bola meraná absorbanca pomocou UV-spektrofotometra (Helios y v 7.1, Thermospectronic, Veľká Británia). Na výpočet percenta inhibície/účinku vychytávania DPPH bol použitý nasledujúci vzorec:

$$\% = A_0 - A_1 \times 100/A_0$$

A₀ – Absorbancia kontroly (DPPH) A₁ – Absorbancia vzorky (DPPH + extrakčné vzorky)

Na stanovenie *celkového obsahu fenolov* v medových extraktoch bola použitá technika Folin-Ciocalteu. Na meranie celkovej antioxidačnej kapacity: 5 ml FC činidla sa zmiešalo s 1 ml vzorky a 4 ml roztoku hydrogénuhličitanu sodného (7,5 g/100 ml) po zriedení vodou (1:10). Zmes sa inkubovala v tme 30 minút, absorbancia bola meraná pri 765 nm. Vzorky boli testované trikrát a výsledky boli vyjadrené ako ekvivalenty kyseliny galovej (GAE) v mg/g použitého extraktu (Siddiqui et al., 2017).

Hodnotenie biologickej aktivity pomocou modelového organizmu

Kultivácia buniek

Pre túto štúdiu bola použitá línia epitelových buniek prasacieho čreva (IPEC-1, CVCL 2245). Bunky ošipovaných boli pestované za kontrolovaných podmienok. Bunkové línie boli skladované pri -80 °C. Po rýchlom rozmrazení boli bunky subkultivované v rastovom médiu – Earl's Minimal Essential Medium (EMEM; Lonza, Valais, Švajčiarsko) doplnenom 10 % (v/v) fetálnym bovinným sérom (FBS; Lonza, Valais, Švajčiarsko), 1 % L-glutamín, 0,1 % gentamicín (Sigma Aldrich; St. Louis, USA) a 1 % penstreptén. Kultivácia buniek prebieha v inkubátore pri teplote 37 °C, v atmosfére s 5% obsahom CO₂. Bunky boli pravidelne kontrolované na neprítomnosť kontaminácie mykoplazmami.

Systém xCELLigence – RTCA

Analyzátor buniek v reálnom čase alebo systém xCELLigence (RTCA), monitoruje príľnavosť buniek dotykom so zlatými elektródami, stroj deteguje pohyb. Zlaté mikroelektrody monitorujú životaschopnosť buniek. Bunky sa naočkovali do troch 16-jamkových E platní s celkovým počtom 48 jamiek, pričom každá jamka obsahovala 5000 buniek. Po 22 hodinách kultivácie, sa pridávali zásobné koncentrácie testovaných medov (1,25 mg/ml, 2,5 mg/ml, 5 mg/ml a 10 mg/ml) v pomere 1:10 s médiom EMEM. Bunky bez ošetrovania slúžili ako kontrolné bunky (Milek et al. 2020).

Výsledky sa zaznamenávajú každú hodinu a je možné vidieť akékoľvek zmeny v bunkovej adhézii: ako je oddelenie buniek od zlatých mikroelektrod, morfológia, počet a životaschopnosť buniek. Tieto zmeny boli zaznamenané ako bunkový index (CI). Čím nižší CI, tým nižšia adhézia buniek na platni s jamkami. To môže tiež naznačovať zmenu v správaní, narušenie morfológie buniek, bunky sú menej alebo už neadherujú. Vyššia hodnota CI je spôsobená zvýšenou adhérenciou buniek. Údaje je možné exportovať do programu Microsoft Excel na štatistické vyhodnotenie. Percento aktivity bolo vypočítané podľa vzorca:

$$\text{Proliferatívna aktivita \%} = \text{CI vzorka} \times 100 / \text{CI kontrola}$$

MTS test

Pre tento výskum bol tiež použitý MTS test (CellTiter 96®AqueousOne Solution Cell Proliferation Assay, Promega, Madison, WI, USA), ktorý meria metabolickú aktivitu a životaschopnosť buniek *in vitro* (Marcinčáková et al. 2022) pomocou kolorimetrického spektrofotometra (ELISA Reader Apollo 11 LB 913 - Berthold Technologies, Nemecko). Bunky sa naočkujú do platní (8600 buniek na jamku). Po inkubácii sa bunky ošetrí zvolenými koncentraciami 20 µl vzoriek medu a potom sa ďalej inkubujú.

Po 48 hodinách pôsobenia sa pridá tetrazoliové farbivo, MTS činidlo. Pred odčítaním vzoriek sa bunky kultivujú v inkubátore počas 2 hodín. Kontrolné bunky sa používajú na porovnanie s ošetrovanými bunkami. Ak má farba vysokú intenzitu (intenzívnejšia fialová), tým sú bunky metabolicky aktívnejšie a majú vyššiu životaschopnosť. MTS činidlo umožňuje bunkám zmeniť sa na purpurové kryštály formazanu, potom je možné merať absorbanciu pri 490 nm. Na výpočet bol použitý tento vzorec:

$$\% \text{ metabolickej aktivity} = (\text{vzorka absorpcie}) \times 100 / (\text{kontrola absorpcie})$$

Štatistická analýza

Výsledky získané z xCELLigence / bunkového analyzátora v reálnom čase sa zaznamenali v programe Microsoft Excel s pridanými časovými intervalmi, priemerným percentom a štandardnou odchýlkou ($\pm$ SD, n=3) koncentrácií. Výsledky MTT testu boli spracované pomocou programu Microsoft Excel.

Softvér GraphPad Prism 5.0, jednosmerný test Anova a Dunnettov test boli použité na experimentálnu analýzu oproti kontrolnej skupine a na identifikáciu významnosti výsledkov. Hodnota $P < 0,05$ vyjadruje štatisticky významný rozdiel oproti kontrolným bunkám.

Výsledky a diskusia

Hlavnými biologickými látkami medu sú vitamíny, bielkoviny, enzýmy, najväčšiu časť sušiny tvoria cukry; pričom sacharóza, glukóza a fruktóza sú hlavnými zložkami nektáru. Med má vysoký obsah fenolov a obsahuje zlúčeniny flavonoidov. Flavonoidy pomáhajú regulovať bunkovú aktivitu a bojujú proti voľným radikálom v dôsledku oxidačného stresu, čo zabezpečuje silné antioxidačné vlastnosti medu (Džugan et al. 2018). Táto štúdia je zameraná na vyhodnotenie účinkov medu na antioxidačnú aktivitu, účinky na bunkovú proliferáciu, metabolickú aktivitu.

Antioxidačná aktivita bola meraná pomocou DPPH v roztoku 2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl v etanole a celkový obsah fenolu bol hodnotený metódou Folin-Ciocalteu. So zvyšujúcou sa koncentráciou sa zvyšuje aj inhibícia DPPH s 28,19 % v repkovom semene a 34,44 % v lipovom mede, s najvyššou koncentráciou 10 mg/ml. Celkový obsah fenolov v 10 mg/ml bol tiež najvyšší v oboch medoch. Pri porovnaní výsledkov z tabuliek 1 a 2 sa ukázalo, že lipový med má vyššie antioxidačné vlastnosti a celkový obsah fenolov ako repkový med. Doterajšie štúdie ukázali, že antioxidačná aktivita sa môže líšiť v závislosti od druhu medu. Zistilo sa, že nižšiu antioxidačnú aktivitu mali svetlejšie akáciové a lipové medy; a tmavšie medy (jedľový, lesný a smrekový) majú vyššiu antioxidačnú aktivitu. Antioxidačná aktivita a farba medu spolu podstatným spôsobom súvisia (Bertoncelj et al. 2007). Pohánkový med má najvyššiu antioxidačnú aktivitu, zatiaľ čo repkový med má najnižšiu, nezávisle od použitej metódy. Tiež sa preukázalo, že repkový med má nižšiu antioxidačnú aktivitu ako lipový med (s 28,29 % v repkovom a 34,44 % v lipovom mede).

Tabuľka 1. Antioxidačné vlastnosti medu

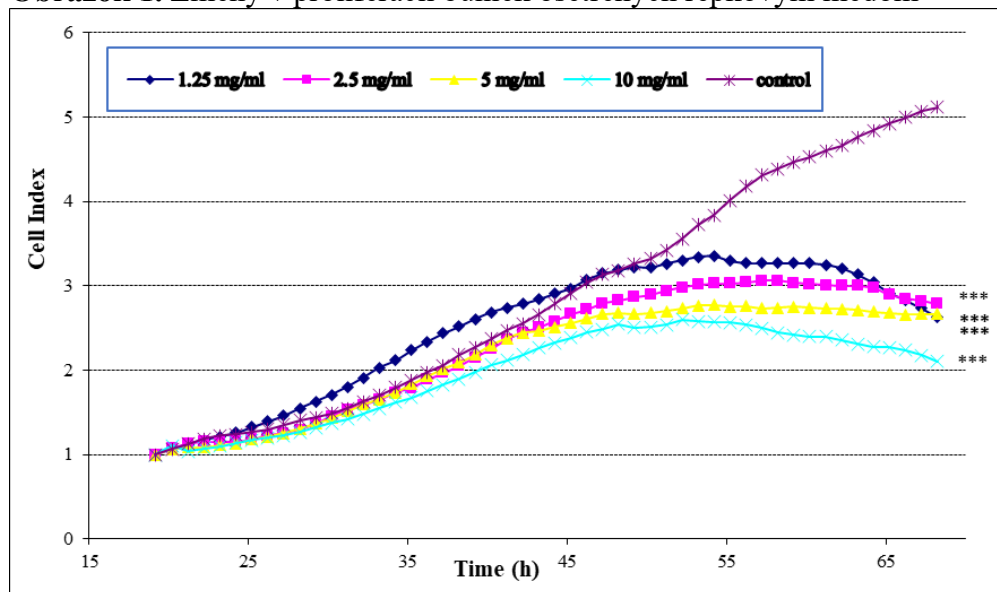
Koncentrácia medu	Antioxidačné vlastnosti - vychytávanie DPPH	
	repkový med	lipový med
1,25 mg/ml	7,19 $\pm$ 0,71	8,25 $\pm$ 0,32
2.5 mg/ml	9,24 $\pm$ 0,34	10,93 $\pm$ 0,13
5 mg/ml	15,45 $\pm$ 0,92	20,39 $\pm$ 1,54
10 mg/ml	28,19 $\pm$ 2,35	34,44 $\pm$ 5,24
Koncentrácia medu	Obsah celkových fenolov (mg/ml $\pm$ sd)	
	repkový med	lipový med
1,25 mg/ml	0,19 $\pm$ 0,02	0,29 $\pm$ 0,02
2.5 mg/ml	0,24 $\pm$ 0,04	0,27 $\pm$ 0,04
5 mg/ml	0,55 $\pm$ 0,02	0,65 $\pm$ 0,19
10 mg/ml	0,79 $\pm$ 0,05	0,89 $\pm$ 0,15

Analýza buniek v reálnom čase (RTCA) – xCELLigence

Na sledovanie buniek po expozícii testovaným vzorkám medov bol použitý systém xCELLigence alebo bunková analýza v reálnom čase. Zmeny bunkového indexu, ktoré vyjadrujú zmeny v bunkovej proliferácii, sú zaznamenané na obrázku 1 (repkový med) a obrázku 2 (lipový med). Po pridaní všetkých testovaných koncentrácií oboch medov môžeme pozorovať pokles bunkovej proliferácie ($P < 0,001$). Trend proliferačných kriviek je u oboch

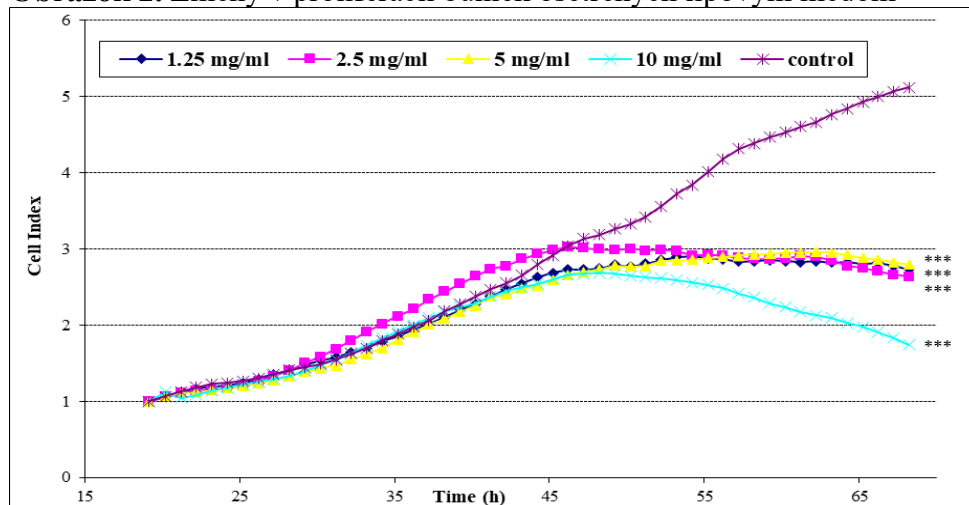
medov podobný. Najvýraznejší pokles proliferácie vykazuje najvyššia koncentrácia oboch medov, zatiaľ čo proliferácia buniek ošetrovaných inými testovanými koncentráciami bola porovnateľná na konci sledovania (48 hodín po ošetrení).

Obrázok 1. Zmeny v proliferácii buniek ošetrovaných repkovým medom



Štatisticky odlišné v porovnaní s kontrolou *** - $P < 0,001$

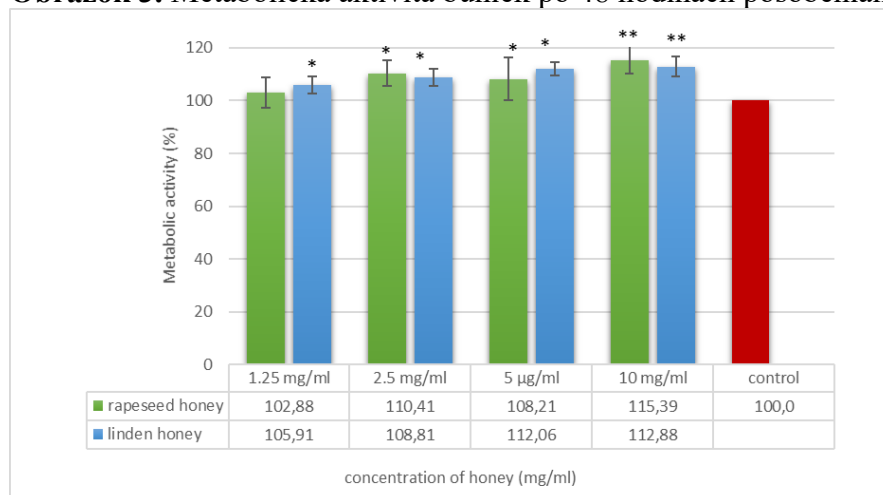
Obrázok 2. Zmeny v proliferácii buniek ošetrovaných lipovým medom



Štatisticky odlišné v porovnaní s kontrolou *** - $P < 0,001$

Zmeny v metabolickej aktivite ošetrovaných buniek boli hodnotené pomocou MTS testu a vyjadrené v percentách zmien v porovnaní s kontrolnými bunkami bez ošetrovania (100 %). Metabolická aktivita buniek sa menila v súlade s rastúcimi koncentráciami medov (Obrázok 3). Hodnoty sa menili podobne medzi všetkými testovanými vzorkami; bol to koncentračne závislý rast metabolickej aktivity, výrazne odlišný od kontrolných buniek ($P < 0,05$; $P < 0,001$), s výnimkou najnižšej koncentrácie repkového medu, ktorá nespôsobila významnú zmenu v životaschopnosti buniek ($P > 0,05$).

Obrázok 3. Metabolická aktivita buniek po 48 hodinách pôsobeniam medov



Štatisticky odlišné v porovnaní s kontrolou * - $P < 0,05$; ** - $P < 0,001$

Negatívny vplyv medu na bunky bol tiež pozorovaný v štúdií Ghashm et al. (2010), v ktorej med Tualang indukoval skorú apoptózu v bunkových líniiach orálneho spinocelulárneho karcinómu (OSCC) a ľudského osteosarkómu (HOS), čo malo za následok jadrové zmršťovanie, kondenzáciu chromatinu, bunkovú proliferáciu a fragmentované jadrá oboch bunkových línii. Bez ošetrenia medom Tualang bunky nadobudli polygonálny tvar, ktorý sa považuje za normálny rast buniek. Bola skúmaná antiproliferatívna a apoptotická aktivita Tualangu a zistilo sa, že je väčšia so vzorkami medu ako bez nich. Preukázanie schopnosti zastaviť proliferáciu v bunkových líniiach OSCC a HOS. Len niekoľko článkov sa zaoberalo antikarcinogénnymi schopnosťami medu, pretože väčšina skorších štúdií o mede sa sústredila na jeho antimikrobiálne vlastnosti a vlastnosti pri hojení rán (Gribel a Pashinskii 1990).

V prípade karcinómu prsníka u myši a fibrosarkómu vyvolaného metylcholantrenom mali včelie produkty zásadnú úlohu pri kontrole rastu nádoru a metastáz. Je evidentné, že je potrebný ďalší výskum na určenie molekulárnych dráh stojacich za apoptózou a antikarcinogénnym výskumom. Iné štúdie špecificky skúmali polyfenoly medu a ukázali, že niektoré majú väčší potenciál v prevencii rastu rakovinových buniek ako farmakologické činidlo (Ghashm et al. 2010).

Záver

Cieľom tejto práce bolo zhodnotiť biologické vlastnosti medu. Hodnotenie antioxidačných vlastností, zapojenie MTS testu a xCELLigence analýzy naznačuje, že získané výsledky boli štatisticky vysoko významné. Najvýznamnejšími antioxidačnými a zároveň antiproliferatívnymi zložkami medu sú flavonoidy (kampferol, katechín a kvercetín) a fenolové kyseliny (kyselina kávová a kyselina galová). Fenolické zložky majú antioxidačné vlastnosti a nachádzajú sa v rôznych koncentráciách vo všetkých druhoch medov. Tieto vplyvy sú väčšinou určené geografickou oblasťou, zdrojom potravy včiel a klímou.

Podakovanie

Štúdia vznikla vďaka podpore Národného referenčného laboratória pre pesticídy Univerzity veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach.

Literatúra

BERTONCELJ, J., DOBERSEK, U., JAMNIK, M. et al.. Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, 2007, 105(2), pp.822–828.
DZUGAN, M., TOMCZYK, M., SOWA, P. et al. 2018. Antioxidant Activity as Biomarker of Honey Variety. *Molecules*, 23(8), p.2069.

GRIBEL, N., PASHINSKII, V.G. 1990. The antitumor properties of honey. *Vopr Onkol* 1990, 36(6):704-709.

MILEK, Michal - MARCINČÁKOVÁ, Dana - KOLESÁROVÁ, Mária - LEGÁTHOVÁ, Diana - DZUGAN, Malgorzata. The effect of adding spices to green walnut tinctures on their polyphenolic profile, antioxidant capacity and action on renal cells. In *Applied Sciences*. ISSN 2076-3417, 2022, vol. 12, no. 7, art. no. 3669, p. [1-13].

MARCINČÁKOVÁ, D. et al. POTENTIAL ROLE OF *AGRIMONIA EUPATORIA L.* EXTRACT IN CELL PROTECTION AGAINST TOXICITY INDUCED BY BISPHENOL A. In *FOLIA VETERINARIA* [online]. 2022, vol. 66, no. 1 [cit. 2023-01-12]. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.2478/fv-2022-0004>>. ISSN 2453-7837.

RASMUSSEN, M. 2013. Seven Health Uses for Honey. The Permaculture Research Institute. Available on Internet: <<https://www.permaculturenews.org/2013/07/05/seven-health-uses-for-honey/>>

MINDEN-BIRKENMAIER, B., BOWLIN, G. 2018. Honey-Based Templates in Wound Healing and Tissue Engineering. *Bioengineering*, 5(2), p.46.

SIDDIQUI, N., RAUF, A., LATIF, A. et al. 2017. Spectrophotometric determination of the total phenolic content, spectral and fluorescence study of the herbal Unani drug Gul-e-Zoofa (*Nepeta bracteata* Benth). *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 12(4), pp.360–363.

GHASHM, A.A., OTHMAN, N.H., KHATTAK, M.N., et al. 2010. Antiproliferative effect of Tualang honey on oral squamous cell carcinoma and osteosarcoma cell lines. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10(1).

Kontaktné adresy autorov:

doc. MVDr. Marcinčáková Dana, PhD., Katedra farmakológie a toxikológie, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, email: dana.marcincakova@uvlf.sk

RNDr. Mária Kolesárová, PhD., Katedra farmakológie a toxikológie, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, email: maria.kolesarova@uvlf.sk

prof. MVDr. Jaroslav Legáth, CSc., Katedra farmakológie a toxikológie, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, email: jaroslav.legath@uvlf.sk

prof. MVDr. Slavomír Marcinčák, PhD., Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, email: slavomir.marcincak@uvlf.sk

ANALÝZA KVALITY RASTLINNÝCH OLEJOV PROSTREDNÍCTVOM VYBRANÝCH INDIKÁTOROV

ANALYSIS OF THE QUALITY OF VEGETABLE OILS THROUGH SELECTED INDICATORS

Zuzana Megyesy Eftimová, Jana Zahumenská

Abstract: This study focused on evaluating the quality and stability of vegetable oils commonly found in commercial markets. A total of 10 vegetable oil samples were analyzed using accredited methods to determine key physicochemical parameters, including peroxide value (STN EN ISO 3960), acidity number via titration (STN ISO 660), presence of insoluble impurities (STN EN ISO 663), and the content of water and volatile substances by gravimetric analysis (STN EN ISO 662). All tested samples of refined sunflower, rapeseed, and olive oils met the required standards and did not exceed the prescribed limits. The results also indicated that no significant oxidative degradation occurred during storage and sale. Furthermore, microbiological analysis revealed no detectable presence of coliform bacteria in any of the samples ($<1 \times 10^1$ CFU/g).

Keywords: vegetable oils, quality, colour, acidity number, peroxide number

Úvod

Rastlinné oleje sa získavajú zo semien lisovaním (za vysokého tlaku) a extrakciou (Odstrčil, J., Odstrčilová, M., 2006). Zo semien, ktoré majú nízky obsah oleja sa získava olej priamou extrakciou rozpúšťadlom. Zo semien a plodov s vyšším obsahom oleja sa získava olej dvojnásobným lisovaním, častejšie predlisovaním a potom nasleduje extrakcia (Pelikán, M., Sáková, L., 2001). Extrakcia rozpúšťadlom a lisovanie za studena sú najbežnejšie tradičné metódy extrakcie oleja. Pri extrakcii rozpúšťadlom sa ako rozpúšťadlo najčastejšie používajú hexán a petroléter, pretože majú vysokú účinnosť a získa sa viac ako 94 % z celkového prítomného oleja v semenách. Lisovanie za studena sa uprednostňuje pri získavaní kvalitných olejov. Je to mechanický proces, pri ktorom sa uplatňuje tlak bez tepla alebo chemikálií, získava sa menej oleja (60 %) ako pri extrakcii rozpúšťadlom, ale sa zachovávajú prirodzené živiny a chuť oleja (De Moraes Oliveira et al., 2016).

Tuky a oleje ľahko podliehajú oxidácii, čo sa prejaví nežiaducimi zmenami. Finálne výrobky aj po výrobe sú vystavené ďalším podmienkam pri skladovaní, preprave a predaji. Tieto vplyvy sa môžu prejaviť zhoršením ich kvalitatívnych parametrov čísla kyslosti a peroxidového čísla, ako ukazovateľov kazení tukov a olejov (Sekretár, Schmidt, 2002). Sekretár, Schmidt (2002) uvádzajú, že oxidácia tukov a olejov je ovplyvnená mnohými faktormi (kyslíkom, iónmi ťažkých kovov, svetlom, obsahom farbív, žiarením, peroxidmi, voľnými radikálmi, teplom, enzýmom lipoxygenázou). Oxidácia začína reakciou niektorých aktívnych foriem kyslíka s tukom obsahujúcim polynenasýtené mastné kyseliny. Rozklad tukov ovplyvňuje senzorické vlastnosti ale aj obsah cenných látok. Peroxidové číslo tukov a olejov je optimálne do 10 mmol $O_2.kg^{-1}$ (rafinované oleje) a 20 mmol $O_2.kg^{-1}$ pre panenské oleje.

V názve tukov a olejov možno uvádzať aj označenie „panenský tuk“ alebo „panenský olej“, ak ide o jednodruhové tuky a oleje, ktoré sú získané mechanickými alebo fyzikálnymi technologickými postupmi zo semien, plodov alebo jadier plodov olejnatých rastlín bez špeciálnych rafinačných postupov okrem oleja získaného extrakciou rozpúšťadlami alebo preesterifikáciou. V názve tekutého emulgovaného tuku (pokrmového tuku) možno uvádzať aj

slovo „rastlinný“, ak obsahuje najviac 2 hm. % tuku živočíšneho pôvodu z celkového množstva tuku (Vyhláška MP a RV č. 424/2012).

Tabuľka 1. Fyzikálne požiadavky a chemické požiadavky na oleje (tuky) a ich zmesi

Druh oleja (tuku)	Číslo kyslosti Najviac (mg KOH/g)	Peroxidové číslo najviac (mmol O/kg)	Množstvo vody a prchavých látok pri 105 °C (%)	Množstvo nerozpustných nečistôt (%)	Množstvo mydiel (%)
Rafinované oleje (tuky)	0,6	10	Najviac 0,2	Najviac 0,05	Najviac 0,005
Panenské oleje (tuky)	4	15	Najviac 0,2	Najviac 0,05	Negatívne
Panenský palmový tuk	10	15	Najviac 0,2	Najviac 0,05	negatívne

Zdroj: Vyhláška MP SR č. 424/2012 Z. z.; upravená

Materiál a metodika

Vzorky rastlinných olejov ($n = 10$), konkrétne repkový, slnečnicový a olivový olej, bežne dostupné v obchodných sieťach, boli analyzované za účelom posúdenia ich kvality a stability. Fyzikálno-chemické analýzy prebehli na Veterinárnom a potravinovom ústave v Košiciach, pričom sa využili akreditované metódy. Stanovovali sa tieto ukazovatele: peroxidové číslo (STN EN ISO 3960), číslo kyslosti (STN ISO 660), obsah nerozpustných nečistôt (STN EN ISO 663) a množstvo vody a prchavých látok (gravimetricky podľa STN EN ISO 662).

Farba analyzovaných vzoriek bola kvantitatívne meraná prístrojom Minolta Chroma meter CR-410 (Minolta, Osaka, Japonsko) (McLaren, 1976) pomocou hodnôt Medzinárodnej komisie pre osvetlenie. Softvér farebných údajov CM-S100w SpectraMagic NX (Konica Minolta Sensing Inc.) a Chromameter CR-410 sa použili na meranie kolorimetrických údajov. Pre všetky vzorky boli stanovené tri farebné parametre, L^* (svetlosť), a^* (zeleno-červená) hodnota a b^* (modro-žltá) hodnota. Merania farieb boli stanovené podľa systému farieb CIELab (Commission Internationale de l'Eclairage, 1986) (CIE, 1986). Mikrobiologické vyšetrenie (koliformné baktérie, mikroskopicky vláknité huby) sme uskutočnili na UVLF v Košiciach.

Výsledky tejto práce boli vyhodnotené štatistickým programom jednosmernej analýzy rozptylu (ANOVA). Test ANOVA a Tukey pre viacnásobné porovnanie priemerov s intervalom spoľahlivosti nastaveným na 95 % sa uskutočnil so štatistickým softvérom GraphPad Prism 8.3.0.538 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA). Číselné údaje prezentované v tejto štúdii sú vyjadrené ako priemerná hodnota pre každý parameter $\pm$ štandardnej odchýlky (SD).

Výsledky a diskusia

Jedlé oleje sú nevyhnutnou súčasťou našej stravy, sú dôležitý zdroj esenciálnych mastných kyselín a vitamínov rozpustných v tukoch. Ich náchylnosť na oxidáciu a degradáciu predstavuje významný problém, pokiaľ ide o trvanlivosť, výživovú kvalitu a bezpečnosť (Viana da Silva et al., 2021).

Mikrobiologickým vyšetrením (STN ISO 4832, STN ISO 21527-2) nebola preukázaná prítomnosť koliformných baktérií v žiadnej z desiatich vzoriek olejov ($<1 \times 10^1$ KTJ/g). Rovnako nebola potvrdená prítomnosť mikroskopicky vláknitých húb nad ich stanovený limit ($<1 \times 10^2$ KTJ/g).

Číslo kyslosti je dané množstvom KOH (mg) potrebného na neutralizáciu voľných mastných kyselín v 1 g tuku. Voľné mastné kyseliny vznikajú sekundárnym enzymatickým štiepením triacylglycerolov, ktorých množstvo býva vyššie v tukoch z nevhodne skladovaných a manipulovaných surovín (Koman et al., 1989) Hodnota odráža obsah voľných mastných kyselín a produktov ich oxidačného rozkladu, ktoré majú tendenciu stúpať so zhoršujúcou sa kvalitou oleja (Liu et al., 2021).

Hodnota čísla kyslosti u rafinovaného repkového oleja (vzorka č. 4) bola najvyššia spomedzi všetkých vzoriek (1,20) avšak žiadna zo vzoriek nemala prekročený limit. Najnižšia hodnota čísla kyslosti bola stanovená u vzorky č. 2 (slniečnicový olej) a vzorky č. 3 (0,05 mg KOH.g⁻¹) a maximálna hodnota u vzorky č. 5 - repkový olej (1,20 mg KOH.g⁻¹).

Nepotvrdili sa nám výsledky Marečka a kol. (2010), že najvyššie hodnoty boli stanovené pri olivových olejoch. Žiadne výsledky neprekročili hodnoty poukazujúce na zmeny olejov.

Rozhodujúcim ukazovateľom oxidácie oleja je peroxidové číslo, ktorým sa meria množstvo prítomných peroxidov na posúdenie rozsahu oxidačného kazení (Szydłowska-Czerniak a Rabiej, 2018). Najvyššia hodnota peroxidového čísla bola u vzorky č. 7 (3,6 mmol/kg) a č. 8 (3,9 mmol/kg). V oboch prípadoch išlo o slnečnicový olej nerafinovaný pôvodom zo Slovenska a z Ukrajiny. Výsledky však poukázali, že v žiadnej vzorke nedošlo k rozkladným procesom. Vyššie hodnoty u olivových olejov (vzorka č. 9, 10) súvisia s ich spôsobom spracovania, lisovaním za studena. Repkový olej je viac ako dvakrát stabilnejší ako slnečnicový olej, čo znamená, že zostáva dlhšie čerstvý a zachováva si vysokú kvalitu (Krzymanski, 2009). Oxidovateľnosť rôznych jedlých olejov závisí od relatívnej oxidačnej stability mastných kyselín, ktoré sú ich súčasťou (Gharby et. al., 2025).

Peroxidové číslo je ukazovateľom oxidácie tukov a olejov. Vyššie hodnoty boli stanovené aj v olivových olejoch (>3,3 mmol/kg). Peroxidové číslo je rozdielne pre jednotlivé druhy olivových olejov v závislosti od spôsobu spracovania. Čím nižšia je hodnota peroxidov v oleji, tým vyšší je podiel prirodzených antioxidantov. Vyšší pomer peroxidov naopak značí, že už prebieha proces žltnutia oleja, a že došlo k degradácii základných prospešných zložiek oleja, najmä vitamínu E, A a D. Oxidácia zhoršuje vlastnosti oleja, pridáva nežiadúce vône a chute.

Nerozpustné nečistoty sú jedným z ďalších dôležitých parametrov, ktoré určujú kvalitu oleja. Sú to látky, ktoré zostávajú v oleji v dôsledku neúplných procesov alebo zlej výroby. Sú to najmä látky ako piesok, zemina, oxidované mastné kyseliny, dusíkaté látky, minerálne látky a uhľohydráty. Ak je stanovený limit prekročený, olej sa považuje za neštandardný (Eurolab.com, 2023). V tabuľke č. 2 sú uvedené výsledky fyzikálnochemických analýz vyšetřovaných vzoriek.

Tabuľka 2. Výsledky akreditovaných skúšok analýzy vybraných vzoriek olejov

Vzorka		Peroxidové číslo [mmol/kg]	Číslo kyslosti [gKOH/g]	Nerozpustné nečistoty [%]	Množstvo vody a prchavých látok [%]
1	Výsledky	1,5	0,06	0,04	0,04
	Limit max.	10	0,6	0,05	0,2
	U(k=2)	4	3	9	5
2	Výsledky	0,4	0,05	0,02	0,02
	Limit max.	10	0,6	0,05	0,2
	U(k=2)	4	3	9	5
3	Výsledky	1,5	0,05	0,01	0,07
	Limit max.	10	0,6	0,05	0,2
	U(k=2)	4	3	9	5

Vzorka		Peroxidové číslo [mmol/kg]	Číslo kyslosti [gKOH/g]	Nerozpustné nečistoty [%]	Množstvo vody a prchavých látok [%]
4	Výsledky	3,0	0,14	0,00	0,04
	Limit max.	10	0,6	0,05	0,2
	U(k=2)	4	3	9	5
5	Výsledky	1,7	1,20	0,01	0,04
	Limit max.	15	4	0,05	0,2
	U(k=2)	4	3	9	5
6	Výsledky	1,2	0,84	0,01	0,09
	Limit max.	15	4	0,05	0,2
	U(k=2)	4	3	9	5
7	Výsledky	3,6	1,02	0,001	0,04
	Limit max.	15	4,0	0,05	0,2
	U(k=2)	4	3	9	5
8	Výsledky	3,9	1,1	0,001	0,04
	Limit max.	15	4,0	0,05	0,2
	U(k=2)	4	3	9	5
9	Výsledky	3,3	0,16	0,01	0,05
	Limit max.	15	4,0	0,05	0,2
	U(k=2)	4	3	9	5
10	Výsledky	3,5	0,18	0,03	0,08
	Limit max.	20	2,0	0,05	0,2
	U(k=2)	4	3	9	5
MIN.		0,4	0,05	0,001	0,02
MAX.		3,9	1,20	0,04	0,09
SD		1,16	0,46	0,009	0,02

U(k=2) – rozšírená kombinovaná neistota s faktorom pokrytia 2;

1 - slnečnicový olej, UA (1,5 l); 2 - slnečnicový olej, SR (1 l); 3 - slnečnicový olej, SR, (1 l); 4 - slnečnicový olej rafinovaný, UA (2 l); 5 - repkový olej 100 % panenský lisovaný za studena, SR (1 l); 6 - slnečnicový panenský olej 100 % lisovaný za studena; 7 - slnečnicový olej nerafinovaný, SR (1 l); 8 - slnečnicový olej nerafinovaný, UA (1 l); 9 - olivový olej, ES (1 l); 10 - panenský olivový olej, ES (0,7 l)

Zdroj: vlastná tabuľka

Z kalorimetrického vyšetrenia (Tabuľka č. 3) vyplynulo, že vzorka č. 5 bola s výrazne nižšou hodnotou L ($L = 62,62 \pm 0,33$), čo poukazuje na tmavšiu farbu vzorky oleja. Tá môže byť spojená s vyšším obsahom pigmentov (napr. chlorofylu alebo karotenoidov), prípadne so spôsobom spracovania oleja. Najsvetlejšou vzorkou je vzorka č. 4 s najvyššou svetlosťou ($L = 77,25 \pm 0,38$) typickou pre číre, dobre prefiltrované oleje s nízkym obsahom farbív.

Vzorka č. 9 a č. 10 sú farebne typické pre olivové oleje, so žltozeleným tónom s vysokou svetlosťou. Majú podobnú farebnú charakteristiku, avšak vzorka 9 je o niečo svetlejšia a menej žltá, vzorka 10 je mierne sýtejšia a žltozelenejšia, čo môže naznačovať vyšší podiel zrelších olív alebo odlišný výrobný proces.

Tabuľka 3. Hodnoty L*, a*, b* vzoriek olejov

Vzorka	L*	a*	b*
1	75,48±0,25 ^b	-7,20±0,37 ^b	70,50±0,18 ^c
2	76,82±0,62 ^a	-7,55±0,18 ^a	72,59±0,36 ^b
3	74,87±0,27 ^b	-6,40±0,93 ^c	68,10±0,47 ^c
4	77,25±0,38 ^a	-6,72±0,21 ^c	73,36±0,22 ^a
5	62,62±0,33 ^e	-5,74±0,34 ^d	45,23±0,24 ^e
6	75,44±0,28 ^b	-7,16±0,78 ^b	70,87±0,50 ^c
7	73,52±0,85 ^c	-4,53±0,16 ^c	61,83±0,67 ^d
8	68,22±0,77 ^d	-7,40±0,24 ^a	58,18±0,15 ^d
9	73,52±0,46 ^c	-7,17±0,71 ^b	70,50±0,15 ^c
10	72,56±0,12 ^c	-7,24±0,65 ^b	73,86±0,36 ^a
a, b, c, d, e – priemerné hodnoty s odlišným horným indexom v riadku ($p < 0,05$)			

Zdroj: vlastná tabuľka

Rastlinné oleje sú základnými zložkami ľudskej stravy a slúžia ako hlavný zdroj tukov v potrave. Lipidy v potravinách sú však veľmi citlivé na faktory prostredia, ako je vystavenie svetlu a vysokým teplotám, ktoré podporujú tvorbu voľných radikálov a urýchľujú oxidáciu lipidov, čo vedie k nestabilite potravinového systému (Gharby et al., 2025)

Záver

Cieľom práce bolo zhodnotiť kvalitu rastlinných olejov bežne dostupných v obchodnej sieti z pohľadu základných chemických ukazovateľov. Počas predaja a skladovania nenastali žiadne výrazné oxidačné zmeny rastlinných olejov. Limity stanovené pre rafinované slnečnicové, repkové oleje a olivové oleje neboli prekročené, čo svedčí o kvalite technologického spracovania a stálosti oleja počas prepravy, skladovania a predaja. Posúdenie týchto ukazovateľov umožňuje komplexné pochopenie kvality a výživovej hodnoty olejov a zabezpečí sa bezpečnosť a zdravotný benefit pre spotrebiteľov.

Literatúra

- DE MORAIS OLIVEIRA, V. R., VARELA DE ARRUDA, A. M., SOUZA SILVA, L. N., FREIRE DE SOUZA, J. B., JOÃO PAULO ARAÚJO FERNANDES DE QUEIROZ, DA SILVA MELO, A. SIMPLÍCIO HOLANDA, J. (2016). Sunflower meal as a nutritional and economically viable substitute for soybean meal in diets for free-range laying hens, *Animal Feed Science and Technology*, 220, pp.103-108.
- EUROLAB, 2023. Nerozpustné nečistoty. Rozhodnutie. „TS EN ISO 663 Živočíšne a rastlinné tuky a oleje – Stanovenie obsahu nerozpustných nečistôt“. Dostupné na internete: <https://www.laboratuvar.com/sk/gida-analizleri/kimyasal-analizler/cozun-meyen-safsizliklar-tayini>
- CASTELLINI, G., SESINI, G., IANNELLO, P., LOMBI, L., LOZZA, E., LUCINI, L., GRAFFIGNA G. (2022). “Omics” technologies for the certification of organic vegetables: Consumers’ orientation in Italy and the main determinants of their acceptance, *Food Control*, 141, pp. 109209,
- Commission Internationale de l’Eclairage (CIE). Colorimetry, 2nd ed.; Publication CIE No. 15.2.; Commission Internationale de l’Eclairage: Vienna, Austria, 1986.
- GHARBY, S., ASBBANE, A., AHMED, M. N., GAGOUR, J., HALLOUCH, O., OUBANNIN, S., BIJLA, L., GOH, K. W., BOUYAHYA, A., IBOURKI, M. (2025). Vegetable oil oxidation: Mechanisms, impacts on quality, and approaches to enhance shelf life, *Food Chemistry: X*, 28, 102541.
- KIRITSAKIS, A., MIN, D. B. (2002). *Flavor Chemistry of Olive Oil: A Review. Journal of Food Science*, 67(9), pp3729–3734.
- KOMAN, V., HOJEROVÁ, J., SCHMIDT, Š. 1989. Chémia a technológia tukov I. Bratislava: SVŠT, 1989, s. 150. ISBN 80-227-0108-4.
- KRZYMAŃSKI, J. 2009. „Chemické zloženie repkového oleja v porovnaní s inými rastlinnými olejmi“, v: „Repkový olej – nová surovina, nová pravda“ Krzymański J. (red.), vyd. PSPO, Warszawa, 2009, s.47-56.

- LIU, J., GU, P., CHU, B., HU, B., ZHANG, Y., LI, P., ZHU, B., WANG, X. (2025). Decoding pickle aroma in rapeseed oil by sensomics, gas chromatography-olfactometry, quantitation, addition studies and molecular docking, *Food Chemistry*, 489, 145008.
- MCLAREN, K. 1976. The development of the CIE 1976 (L*a*b*) uniform colour-space and colour-difference formula. In *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 92, pp 338–341.
- NAZ, S., SHEIKH, H., SIDDIQI, R., SAYEED, S. A. (2004). *Oxidative stability of olive, corn and soybean oil under different conditions*. *Food Chemistry*, 88(2), 253–259.
- ODSTRČIL, J., ODSTRČILOVÁ, M. (2006) *Chemie potravin*. Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů. Brno, 164 s., ISBN 80-7013-435-6.
- PELIKÁN, M., SÁKOVÁ, L. 2001. *Jakost a spracování rostlinných produktu*, 1. vyd., České Budejovice, 223 s., ISBN 80-7040-502-3.
- RODRÍGUEZ, G., LAMA-MUÑOZ, A., JIMÉNEZ-ARAUJO, A., ET AL. (2020). *Comparative study of physicochemical parameters, antioxidant activity, and bioactive compounds of olive oils obtained from different extraction systems*. *Foods*, 9(8), 1017.
- SZYDŁOWSKA-CZERNIAK, A., RABIEJ-KOZIOŁ, D. (2018). Octyl sinapate as a new antioxidant to improve oxidative stability and antioxidant activity of rapeseed oil during accelerated storage. *European Food Research and Technology*. 244.
- SEKRETÁR, S., SCHMIDT, Š. (2002). Antioxidačná ochrana jedlých tukov a olejov. Zborník referátových a posterových príspevkov z konferencie „Výživa- potraviny- legislatíva“, 17- 19.júna 2002 v Detve, Bratislava, 2002, s. 229-232.
- VIANA DA SILVA, M., SANTOS, M. R. C., ALVES SILVA, I. R., MACEDO VIANA, E. B., DOS ANJOS, D. A., SANTOS, I. A., ... LANNES, S. C. D. S. (2021). Synthetic and Natural Antioxidants Used in the Oxidative Stability of Edible Oils: An Overview. *Food Reviews International*, 38(sup1), 349–372.
- VYHLÁŠKA Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky č. 424 Z. z. zo 14. decembra 2012, ktorou sa ustanovujú požiadavky na jedlé rastlinné tuky a jedlé rastlinné oleje a výrobky z nich.

Kontaktné adresy autorov:

Zuzana Megyesy Eftimová, Department of Food Hygiene and Technology, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Košice, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovak Republic; E-mail: zuzana.megyesy.eftimova@uvlf.sk

Jana Zahumenská, Department of Food Hygiene and Technology, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Košice, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovak Republic; E-mail: jana.malova@uvlf.sk

RÍBEZLE AKO ZDROJ BIOAKTÍVNYCH LÁTOK PROSPEŠNÝCH PRE ZDRAVIE ČLOVEKA

CURRENTS AS A SOURCE OF BIOACTIVE SUBSTANCES BENEFICIAL TO HUMAN HEALTH

Zuzana Megyesy Eftimová, Jana Zahumenská, Boris Semjon

Abstract: Currants contain a number of biologically active compounds that are directly responsible for the polyphenol profile and high antiradical potential. The main objective of this study is to define a natural source of bioactive compounds with antioxidant properties, in currant extracts (black, red, white) macerated in four types of solvents (methanol, ethanol 40%, ethanol 96%, water) from the Košice basin, which could replace synthetic antioxidants that may have harmful effects on human health. And thus determine the optimal solvent to minimize any loss of nutrients during processing. The highest polyphenol content was determined in sample A1 ($1\,920\,00 \pm 35,78$ mg GAE.L⁻¹) in blackcurrants macerated in methanol. The highest polyphenol content was determined in sample A2 ($165,33 \pm 4,50$ mg QE.L⁻¹) blackcurrants macerated in ethanol 60%. Sample A2 blackcurrants macerated in ethanol (60%) also showed the highest antiradical activity ($94,67 \pm 0,52\%$). We confirmed that currants (black red but also white) are a rich source of phenolic compounds and antiradical activity, which can promote human health. We observed significant differences between the use of different types of solvents. Our results showed that ethanol 60% and 96% seems to be the best solvent, but this is not completely clear for all types of currants so we recommend to continue the experiment.

Keywords: antiradical activity, polyphenols, flavonoids, currants

Úvod

V posledných rokoch sa zvyšuje záujem o prirodzené zdroje bioaktívnych látok, ktoré môžu priaznivo ovplyvniť ľudské zdravie. Výskumy preukázali, že ovocie, najmä bobuľové, disponuje farmakologickými a biochemickými vlastnosťami, ktoré sú výsledkom najmä antioxidačnej aktivity jeho rozmanitého zloženia.

Práve bobuľovému ovociu bolo priradené prvenstvo najvyšších koncentrácií antioxidantov, vitamínov, minerálnych látok a flavonoidov. Vedecké experimentálne štúdie o biologických účinkoch antioxidantov dokázali vierohodnosť poznatkov a ich podiel na ochrane pri vzniku civilizačných chorôb. Ich pozitívne účinky boli pozorované v prevencii a liečbe rakoviny, kardiovaskulárnych chorôb, obezity, diabetes mellitus či zápalových procesoch.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Rod ríbezľa patrí do čeľade egrešovité (*Grossulariaceae*) a pre produkciu ovocia sa pestujú druhy ríbezľa červená (*Ribes rubrum* L.) a ríbezľa čierna (*Ribes nigrum* L.) (Eftimová et al., 2023). Ríbezľa čierna pôvodom zo severnej Ázie a východnej Európy sa pestuje v európskych krajinách a na Novom Zélande (Gopalan et al., 2012). Plody čiernej ríbezle sú tmavofialovej farby a majú intenzívnu chuť, pre ktorú sa používajú hlavne v spracovaných výrobkoch vrátane štiav, džemov a zaváranín, náplní do koláčov, dezertných plev, jogurtov, zmrzlín, minerálnych vôd, čajov, cukríkov, parfumov, zatiaľ čo semená sa môžu potenciálne použiť na výrobu kyseliny gama-linolénovej (Agrawal, 2011). Plody sa často využívajú na výrobu tmavofialového farbiva. Ríbezľa čierna obsahuje rozličné bioaktívne zlúčeniny (najmä antokyány, proantokyandíny, kvercetín, myricetín, izorhamnetín a fenolové kyseliny), cukor, organické kyseliny, vitamíny, minerálne látky, nenasýtené mastné kyseliny (Cao et al., 2021).

Čierne ríbezle boli nedávno označené ako „superovocie“, keďže predstavujú jeden z dôležitých zdrojov potenciálnych fytochemikálií podporujúcich zdravie so silnými imunomodulačnými, antimikrobiálnymi a protizápalovými účinkami, schopnosťou inhibovať lipoproteíny s nízkou hustotou, ako aj prispieť k zníženiu rizika kardiovaskulárnych ochorení. Okrem toho, nedávne štúdie poskytujú presvedčivé dôkazy o tom, že tieto malé a mäkké bobuľovité plody môžu mať obrovský potenciál v prevencii rakoviny (Gopalan et. al., 2012). Čierne ríbezle vykazujú vyššiu antioxidačnú aktivitu než mnohé iné druhy ovocia a bolo v nich identifikovaných približne 18 fenolických zlúčenín. Hlavnými prispievateľmi k tejto aktivite sú antokyány (Borges et al., 2010). Moyer et al. (2002) vo svojej štúdii uvádzajú, že vysoká antioxidačná kapacita čiernych ríbezlí súvisí najmä s ich vysokým obsahom vitamínu C, ktorý sa zároveň podieľa na ich antimikrobiálnych, protizápalových a antikarcinogénnych účinkoch. Červená ríbezl'a patrí do čeľade egrešovité (*Grossulariaceae*) a je považovaná za predchodcu všetkých kultivovaných foriem ríbezlí. Pochádza zo západnej a severnej Európy, odkiaľ sa hojne rozšírila aj do ostatných krajín či divokej prírody (Wiethold, 2016). Červená ríbezl'a má blahodárne účinky na organizmus, pri pravidelnej konzumácii ovplyvňuje výskyt viacerých chorôb: hypertenziu, osteoporózu, kardiovaskulárne choroby, diabetes mellitus, zápalové reakcie a rakovinu (Frum et al., 2017). Zdunič (2016) uvádza, že červené ríbezle obsahujú cukry, organické kyseliny a fenolové zlúčeniny s najväčším podielom kyseliny askorbovej, antokyánov a flavonoidov. Sú zdrojom vitamínu C, vápnika, železa, horčíka, mangánu a rutínu (Frum et al., 2017). Ich celosvetová produkcia je oveľa nižšia ako produkcia čiernych ríbezlí. Významnú rolu zohrávajú hlavne v potravinárskom priemysle, vyrábajú sa z nich džemy, sirupy, ovocné kože, želé, likéry, ríbezl'ové vína a šťavy (Kampuss a Pedersen, 2003). Výskumy preukázali, že bobuľové ovocie disponuje vysokým množstvom biologicky aktívnych zložiek, ktoré pozitívne vplyvajú na zdravie človeka. Dostatočným príjmom týchto látok pomáhame znížovať riziko vzniku niekoľkých ochorení, ktoré sú zapríčinené oxidačným stresom (Wang, 2011). Antioxidačná aktivita (AOA) sa považuje za podstatný ukazovateľ na hodnotenie nutričnej hodnoty ovocia (Soobrattee a kol., 2005, Granato a kol., 2018). Obsah bioaktívnych látok v ovoci môže byť významne ovplyvnený konkrétnym krokom metabolizmu jednotlivých fenolických zlúčenín počas dozrievania plodov. Preto sú čas zberu, genotyp, lokalita a pestovateľská technika dôležitými faktormi ovplyvňujúcimi hodnoty bioaktívnych látok v plodoch ríbezlí (Kevers a kol., 2014, Guiné et al., 2014, Fintineru et al., 2015, Jiménez-Aspee et al., 2016, Anttonen a Karjalainen, 2006). Existuje stále viac dôkazov, ktoré naznačujú, že genotyp môže mať výrazný vplyv na obsah bioaktívnych zlúčenín v bobuľovinách (Anttonen a Karjalainen, 2006).

Materiál a metódy

V práci boli analyzované vzorky čiernych ríbezlí, červených ríbezlí a bielych ríbezlí z lokality okolia Košickej kotliny. Analýzy vzoriek ($n = 12$) boli vykonané na Katedre hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín na UVLF v Košiciach. Na prípravu extraktov sme použili ako rozpúšťadlo vodu, etanol a metanol. Príprava extraktov: približne 25g ríbezlí (červené, čierne, biele) boli homogenizované mixérom (mixér ETA 0010) a následne extrahované v pomere 1:2 (25 g ríbezlí; 50 ml rozpúšťadla), ktoré boli 24 hodín trepané na trepačke (LT3 Nedfrom s.r.o. / ČR), následné boli vzorky prefiltrované. Vo vzorkách sa stanovil celkový obsah polyfenolov pomocou Folin-Ciocalteuovho činidla v súlade so Singleton a Rossi (1999), výsledky boli vyjadrené v mg GAE.L⁻¹. Obsah celkových flavonoidov podľa metódy Lamaison a Carnat (Willett, 2002), výsledky boli vyjadrené v mg QE.L⁻¹. Antiradikálová aktivita bola stanovená pomocou DPPH metódy podľa Brand - Williamsom et al. (1995), vyjadrená ako percento redukcie. Všetky výsledky boli merané pomocou spektrofotometra (T65 UV - Visible Spectrophotometer/UK).

Dosiahnuté výsledky analýz sme vyhodnotili použitím štatistického softvéru R-statistics software verzia 4.5.0 (R Core Team, 2025). V experimentálnych vzorkách ríbezlí sme ako hlavný faktor zvolili vplyv rozdielnosti vzoriek. Pre štatistické vyhodnotenie sme zvolili metódu jednocestnej analýzy rozptylu (One-Way ANOVA) s Tukeyho testom pre viacnásobné porovnávanie priemerov s intervalom spoľahlivosti nastaveným na úroveň 95 %.

Výsledky a diskusia

V našej štúdií sme sa zamerali na sledovanie bioaktívnych zložiek v troch druhoch ríbezlí v štyroch rôznych rozpúšťadlách (metanol, etanol 60 %, etanol 96 % a voda). Z dosiahnutých výsledkov analýz celkového obsahu polyfenolov, flavonoidov a antioxidačnej aktivity sme zistili štatisticky významný rozdiel medzi všetkými vzorkami na hladine významnosti $p < 0,001$.

Tabuľka 1. Celkový obsah polyfenolov v čiernych, červených a bielych ríbezliach (priemer $\pm$ SD)

Vzorka	Celkový obsah polyfenolov (mg GAE.L ⁻¹)		
	Čierne ríbezle	Biele ríbezle	Červené ríbezle
A1	1 920,00 $\pm$ 35,78 ^a	493,33 $\pm$ 27,33 ^e	506,67 $\pm$ 45,02 ^e
A2	1 713,33 $\pm$ 27,33 ^b	473,33 $\pm$ 27,33 ^{ef}	973,33 $\pm$ 27,33 ^d
A3	1 333,33 $\pm$ 74,48 ^c	406,67 $\pm$ 37,24 ^{fg}	500,00 $\pm$ 53,67 ^e
A4	1 400,00 $\pm$ 35,78 ^c	413,33 $\pm$ 27,33 ^{fg}	366,67 $\pm$ 27,33 ^g

A1 rozpúšťadlo metanol, A2 rozpúšťadlo 60 % etanol, A3 rozpúšťadlo etanol 96 %, A4 rozpúšťadlo voda. Priemery zdieľajúce zhodný horný index (a-f) nie sú vzájomne štatisticky významné (Tukeyho test, $p < 0,05$).

Z tabuľky č. 1 vyplýva, že pri hodnotení vzorky A1 sme najvyšší obsah celkových polyfenolov (1 920 00 $\pm$ 35,78 mg GAE.L⁻¹) stanovili v čiernych ríbezliach macerovaných v metanole. V klesajúcom poradí nasledovali hodnoty vzorky A2 (1 713,33 $\pm$ 27,33 mg GAE.L⁻¹), A4 (1 400,00 $\pm$ 35,78 mg GAE.L⁻¹) a A3 (1 333,33 $\pm$ 74,48 mg GAE.L⁻¹). V červených ríbezliach bol najvyšší obsah polyfenolov stanovený vo vzorke A2, 973,33 $\pm$ 27,33 mg GAE.L⁻¹ > A1 506,67 $\pm$ 45,02 mg GAE.L⁻¹ > A3 500,00 $\pm$ 53,67 mg GAE.L⁻¹ > A4 366,67 $\pm$ 27,33 mg GAE.L⁻¹. V bielych ríbezliach boli stanovené najnižšie hodnoty celkových polyfenolov, vo vzorke A1 bol stanovený najvyšší obsah polyfenoly (493,33 $\pm$ 27,33 mg GAE.L⁻¹). Orsavová et al. (2019) zistili, že obsah celkových polyfenolov (TP) bol porovnateľný s hodnotou 8,66 g GA.kg⁻¹ v odrode červených ríbezlí NS 11. V odrodách čiernych ríbezlí bol obsah celkových polyfenolov oveľa vyšší a pohyboval sa od 18,01 g GA.kg⁻¹ v odrode Focus do 30,77 g GA.kg⁻¹ v odrode Otelo, pričom obe sú českého pôvodu. Pantelidis et al. (2007) vo svojej štúdií zistili v červených ríbezliach obsah TP 11,15–11,93 g GA.kg⁻¹ a v čiernych ríbezliach 5,4 g GA.kg⁻¹. Stratil et al. (2007) vo svojej práci zistili celkový obsah polyfenolov v červených ríbezliach 37,3 g GA.kg⁻¹ a čiernych ríbezliach o 0,83–1,44 g GA.kg⁻¹. Vagiri et al. (2013) študovali rôzne kultivary čiernych ríbezlí (*Ribes nigrum*, L.) z dvoch lokalít vo Švédsku, vzdialených viac ako 1000 km a uviedli, že genotyp bol najviac ovplyvňujúcim faktorom, a to o viac ako 60 %. Lokalita a rok boli menej významnými faktormi ovplyvňujúcimi TPP o 6,8 %, respektíve 6,3 % (Vagiri et al., 2013). Celkovým obsahom polyfenolov v bobuľovom ovocí sa zaujímali aj autori Hudec et al. (2009) vo výskume s názvom „Ovplyvnenie fenolického profilu bobúľ a ich antioxidačnej aktivity neselektívnym inhibítorom enzýmov“. Celkový obsah polyfenolov v čiernych ríbezliach namerali 2368 mg GAE.L⁻¹. Porovnať naše výsledky s výsledkami spomínaných autorov nie je možné, pretože v našej štúdií sme použili rôzne rozpúšťadlá a neprepočítavali sme výsledky na obsah sušiny. Taktiež výsledky okrem rozpúšťadla ovplyvňuje aj podnebné pásmo, či lokalita pestovania bobuľového ovocia. Jia et al. (2012) vo

svojej štúdií popísali, že v alkoholových extraktoch z čiernych ríbezlí sa celkový obsah polyfenolov pohyboval od 1261 do 1694 mg GAE.L⁻¹. Pri porovnaní našich výsledkov s údajmi spomenutými v uvedených štúdiách možno konštatovať, že sme dospeli k veľmi podobným hodnotám, keďže nami zistený celkový obsah polyfenolov v čiernych ríbezliach extrahovaných etanolovými rozpúšťadlami sa pohyboval v rozmedzí od 1333 do 1713 mg GA.kg⁻¹.“

Tabuľka 2. Celkový obsah flavonoidov v čiernych, červených a bielych ríbezliach (priemer ± SD)

Celkový obsah flavonoidov (mg QE.L ⁻¹)			
Vzorka	Čierne ríbezle	Biele ríbezle	Červené ríbezle
A1	118,67 ± 3,72 ^c	54,67 ± 4,50 ^e	41,33 ± 2,73 ^f
A2	165,33 ± 4,50 ^a	46,00 ± 3,58 ^f	45,33 ± 3,72 ^f
A3	139,33 ± 4,50 ^b	57,33 ± 2,73 ^e	41,33 ± 2,73 ^f
A4	85,33 ± 3,72 ^d	47,33 ± 2,73 ^f	33,33 ± 2,73 ^g

A1 rozpúšťadlo metanol, A2 rozpúšťadlo 60 % etanol, A3 rozpúšťadlo etanol 96 %, A4 rozpúšťadlo voda. Priemery zdieľajúce zhodný horný index (a-f) nie sú vzájomne štatisticky významné (Tukeyho test, $p < 0,05$).

Použitie rozpúšťadla ovplyvňuje aj celkový obsah flavonoidov, ktorý uvádzame v tabuľke č. 2. Pri hodnotení vzoriek čiernych ríbezlí sme najvyšší obsah celkových flavonoidov stanovili v rozpúšťadle 60 % etanolu u vzorky A3; 139,33 ± 4,50 mg QE.L⁻¹ > A1; 118,67 ± 3,72 mg QE.L⁻¹ > A4; 85,33 ± 3,72 mg QE.L⁻¹. V červených ríbezliach sme stanovili najvyšší obsah celkových flavonoidov v rozpúšťadle 60 % etanolu A2 (45,33 ± 3,72 mg QE.L⁻¹). Pri vzorke A3 v bielych ríbezliach v etanolovom 96 % rozpúšťadle sme zaznamenali najvyšší obsah flavonoidov (57,33 ± 2,73 mg QE.L⁻¹). Orsavová et al. (2019) zistili, že flavonoidy tvorili najvýznamnejšiu časť celkového obsahu TP vo všetkých odrodách. Zistili, že v ríbezliach sa obsah flavonoidov pohyboval od 1042,0 mg.kg⁻¹ v červenej odrode NS 11 do 3726,5 mg.kg⁻¹ v čiernej odrode Otelo. Nami namerané hodnoty celkových flavonoidov boli značne nižšie ako uvádzali Orsavová et al. (2019) vo svojej štúdií, ale na obsah polyfenolov v bobuľovom ovocí malo veľký vplyv aj podnebné pásmo, lokalita pestovania bobuľového ovocia ako aj použité rozpúšťadlo a dokonca aj to, že naše výsledky sú prerátané na kvercetín.

Tabuľka 3. Antiradikálová aktivita v čiernych, červených a bielych ríbezliach (priemer ± SD)

% inhibície DPPH			
Vzorka	Čierne ríbezle	Biele ríbezle	Červené ríbezle
A1	94,00 ± 0,00 ^a	88,67 ± 0,52 ^{cd}	87,00 ± 0,00 ^d
A2	94,67 ± 0,52 ^a	85,00 ± 0,00 ^e	91,00 ± 0,00 ^b
A3	94,00 ± 0,00 ^a	89,33 ± 0,52 ^{bc}	90,00 ± 0,00 ^{bc}
A4	17,00 ± 0,00 ^f	13,67 ± 2,25 ^g	16,00 ± 2,37 ^f

A1 rozpúšťadlo metanol, A2 rozpúšťadlo 60 % etanol, A3 rozpúšťadlo etanol 96 %, A4 rozpúšťadlo voda. Priemery zdieľajúce zhodný horný index (a-f) nie sú vzájomne štatisticky významné (Tukeyho test, $p < 0,05$).

Najvyššiu antiradikálovú aktivitu (Tabuľka č. 3), t.j. schopnosť zhášať DPPH radikál mala vzorka A2 (94,67 ± 0,52 %) pri použití etanolového 60 % rozpúšťadla. Vo vzorke A2 v červených ríbezliach (91,00 ± 0,00 %) sme namerali najvyššiu antiradikálovú aktivitu. V bielych ríbezliach bola najvyššia antiradikálová aktivita vo vzorke A3 (89,33 ± 0,52 %). Najnižšie namerané hodnoty boli v ríbezliach, kde bola ako rozpúšťadlo použitá voda.

Orsavová et al. (2019) zistili antioxidačnú aktivitu ríbezlí stanovenú pomocou DPPH v odrode ríbezlí NS 11, ktorá bola pomerne nízka v množstve 12,55 g Trolox.kg⁻¹. Zatiaľ čo u kultivarov čiernych ríbezlí vykazovala antiradikálová aktivita vyššie hodnoty od 15,53 g Trolox.kg⁻¹ vo Viole až do 18,20 g Trolox.kg⁻¹ vo Focuse. Porovnať naše výsledky s výsledkami Orsavová et al. (2019) nie je možné, pretože sme použili rozdielne rozpúšťadlo a výsledky sme nevyjadrili ako percento inhibície antiradikálovej aktivity, ale prepočítali sme ho na g Trolox.kg⁻¹. Tieto zistenia sú v súlade s publikovanými údajmi u kultivarov červených a čiernych ríbezlí z Chorvátska (Jakobek et al., 2007) a z Belgicka (Kevers et al., 2014). Vo všeobecnosti môže byť antioxidačná aktivita ovplyvnená viacerými faktormi, akými je typ kultivaru, čas zberu (Guiné et al., 2014; Fintineru et al., 2015), lokalita (Mitić et al., 2011) a metóda extrakcie (Tabart et al., 2012). Okrem toho sa ukázalo, že spôsob pestovania je tiež významným faktorom ovplyvňujúcim AOA. Čierne ríbezle pestované na ekologických farmách dosiahli vyššie hodnoty AOA ako plody z konvenčnej produkcie v Poľsku (Kazimierczak et al., 2008). Významné hodnoty AOA boli zistené u divých červených ríbezlí *Ribes magellanicum* z Peru a Čile (Jiménez-Aspee et al., 2016). Z hľadiska všetkých analyzovaných faktorov ovplyvňujúcich AOA bol najhodnotnejšou odrodou český kultivar čiernych ríbezlí Otelo (Orsavová et al., 2019).

Záver

Viaceré vedecké výskumy o biologických účinkoch antioxidantov v ríbezliach preukázali pravdivosť získaných poznatkov a ich spojitosť s predchádzaním vzniku civilizačných chorôb. Získané výsledky ukazujú, že ríbezle sú výnimočným zdrojom bioaktívnych zlúčenín s potenciálom mnohých účinkov na podporu zdravia, najmä fytochemikálií, ktoré majú značnú antioxidačnú aktivitu a prispievajú k prevencii niektorých chorôb vyplývajúcich z oxidačného stresu. Táto štúdia poukazuje na to, že veľká časť variácií v hodnotách antioxidačnej kapacity a celkovom obsahu polyfenolov a flavonoidov môže byť spôsobená odrodovými rozdielmi. V našej štúdii sme potvrdili tvrdenie mnohých autorov, že etanol sa v príprave extraktov využíva najčastejšie ako výborné organické polárne rozpúšťadlo. Naďalej však odporúčame v experimente pokračovať.

Literatúra

- AGRAWAL, P. (2011). An overview on use of herbal medicines in rheumatoid arthritis. *International Journal of Pharmacy & Technology*, 3(4), pp. 1623–1657.
- ANTTONEN, M. K., KARJALAINEN, R. O. (2006). High-performance liquid chromatography analysis of black currant (*Ribes nigrum* L.) fruit phenolics grown either conventionally or organically. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 7530–7538.
- BORGES, G., DEGENEVE, A., MULLEN, W., CROZIER, A. (2010). Identification of flavonoid and phenolic antioxidants in black currants, blueberries, raspberries, red currants, and cranberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, pp. 3901–3909.
- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E., BERSET, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science Technology*, 28(1), 25–30.
- CAO, L., PARK, Y., LEE, S., KIM, D.O. (2021). Extraction, Identification, and Health Benefits of Anthocyanins in Blackcurrants (*Ribes nigrum* L.). In *Applied Sciences*, 11, 1863, pp. 1–14.
- FINTINERU, A., MANOLE, C.G., SMEDESCU, D., RODINO, S., FINTINERU, S.C., BUTU, A.E. (2015). Bioaccumulation of health promoting compounds in five *Ribes rubrum* L. varieties during fruit maturation. *Romanian Biotechnological Letters*, 20(1), 10036–10046.
- FRUM, A., GEORGESCU, C., GLIGOR, F., DOBREA, C., TIȚA, O. (2017). Identification and Quantification of Phenolic Compounds from Red Currant (*Ribes rubrum* L.) and Raspberries (*Rubus idaeus* L.). *Inter. Journal of Pharmacology, Phytochemistry and Ethnomedicine*, 6, pp. 30–37.
- GOPALAN, A., REUBEN, S.C., AHMED, S., DARVESH, A.S., HOHMANN, J., BISHAYEE, A. (2012). The Health Benefits of Blackcurrants. *Food & Function*, 8(3), pp. 795–809.
- GRANATO, D., SHAHIDI, F., WROLSTAD, R., KILMARTIN, P., MELTON, L. D., HIDALGO, F. J., FINGLAS, P. 2018. Antioxidant activity, total phenolics and flavonoids contents: Should we ban in vitro screening methods? *Food Chemistry*, 264, 471–475.
- GUINÉ, R. P. F., SOUTINHO, S. M. A., GONÇALVES, F. J. (2014). Phenolic compounds and antioxidant activity in red fruits produced in organic farming. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 6(1), 15–26.

- HUDEC, J., KOCHANOVÁ, R., BURDOVÁ, M. (2009). *Ovplyvnenie fenolického profilu bobúľ a ich antioxidačnej aktivity neselektívnym inhibítorom enzýmov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 19 s.
- JAKOBEK, L., ŠERUGA, M., NOVAK, I., MEDVIKOVIČ-KOSANOVIČ, M. (2007). Flavonols, phenolic acids and antioxidant activity of some red fruits. *Deutsche Lebensmittel- Rundschau*, 103(8), 369–378.
- JIA, N., KONG, B., LIU, O., DIAO, X., XIA, X. (2012). Antioxidant activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) extract and its inhibitory effect. *Meat Science*, 91, 533–539.
- JIMÉNEZ-ASPEE, F., THOMAS-VALDÉS, S., SCHULZ, A., LADIO, A., THEODULOZ, C., SCHMEDA-HIRSCHMANN, G. 2016. Antioxidant activity and phenolic profiles of the wild currant *Ribes magellanicum* from Chilean and Argentinean Patagonia. *Food Science & Nutrition*, 4(4), 595–610.
- KAMPUSS, K., PEDERSEN, H. L. (2003). A Review of Red and White Currant (*Ribes rubrum* L.). *Small Fruits Review*, 2(3), pp. 23–46.
- KEVERS, C., PINCEMAIL, J., DEFRAIGNE, J. O., DOMMES, J. (2014). Antioxidant capacity of small dark fruits: Influence of cultivars and harvest time. *Journal of Berry Research*, 4, 97–105.
- KAZIMIERCZAK, R., HALLMAN, E., RUSACZONEK, A., REMBIAŁKOWSKA, E. (2008). Antioxidant content in black currants from organic and conventional cultivation. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 11(2), 1–9.
- MITIĆ, M. N., OBRADOVIĆ, V., KOSTIĆ, D. A., MICIĆ, R. J., & PAUNOVIĆ, D. D. (2011). Phenolic profile and antioxidant capacities of dried red currant from Serbia, extracted with different solvent. *Food Science and Biotechnology*, 20(6), 1625–1631.
- MOYER, A. R., HUMMER, E. K., FINN, E. C., FREI, B., WROLSTAD, E. R. (2002). Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus* and *Ribes*. *J. Agric. Food Chem.*, 50, pp. 519–525.
- ORSAVOVÁ, J., HLAVÁČOVÁ, I., MLČEK, J., SNOPEKB, L., MIŠURCOVÁ, L. (2019). Contribution of phenolic compounds, ascorbic acid and vitamin E to antioxidant activity of currant (*Ribes* L.) and gooseberry (*Ribes uva-crispa* L.) fruits. *Food Chemistry*, 284, 323–333.
- PANTELIDIS, G. E., VASILAKAKIS, G. A., MANGANARIS, G. A., & DIAMANTIDIS, G. R. (2007). Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food Chemistry*, 102, 777–783.
- R CORE TEAM. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria.
- SINGLETON, V. L., ROSSI, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Agricultural*, 6, 144–158.
- SOBRATTEE, M. A., NEERGHEEN, V. S., & LUXIMON-RAMMA, A. (2005). Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and action. *Mutation Research*, 579, 200–213.
- STRATIL, P., KLEJDUS, B., KUBÁŇ, V. (2007). Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity in fruit and cereals. *Talanta*, 71, 1741–1751.
- VAGIRI, M., EKHOLM, A., ÖBERG, E., JOHANSSON, E., ANDERSSON, S. C., RUMPUNEN, K. (2013). Phenol and ascorbic acid in black currants (*Ribes nigrum* L.): Variation due to genotype, location, and year. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 9298–9306.
- WANG, S. Y. (2011). Correlation of Antioxidants and Antioxidant Enzymes to Oxygen Radical Scavenging Activities in Berries: Chapter 4. *Berries and Cancer Prevention*, Springer, pp. 79 – 97.
- WIETHOLD, J. (2016). Red currant and black current, new cultivated fruits in late medieval and early modern Europe: Historic and archaeobotanical evidence. *Des fruits d'ici et d'ailleurs. Regards sur l'histoire de quelques fruits consommés en Europe*, pp. 267 -284.
- WILLETT, W.C. (2002). Balancing life-style and genomics research for disease prevention. *Science*, 296 (5568), 695–698.
- ZDUNIČ, G., ŠAVIKIN, K., PLJEVLJAKUŠIĆ, D., DJORDJEVIĆ, B. (2016). Black (*Ribes nigrum* L.) and Red Currant (*Ribes rubrum* L.) Cultivars. *Nutritional Composition of Fruit Cultivars: Chapter 5*, pp. 101 – 126.

Kontaktné adresy autorov:

Zuzana Megyesy Eftimová, Department of Food Hygiene and Technology, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Košice, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovak Republic; E-mail: zuzana.megyesy.eftimova@uvlf.sk

Jana Zahumenská, Department of Food Hygiene and Technology, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Košice, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovak Republic; E-mail: jana.malova@uvlf.sk

Boris Semjon, Department of Food Hygiene and Technology, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Košice, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovak Republic; E-mail: boris.semjon@uvlf.sk

MUŠKÁT MORAVSKÝ: SENZORICKÁ ANALÝZA VÍNA OD RÔZNYCH VÝROBCOV Z OBCHODNEJ SIETE

MORAVIAN MUSCAT: SENSORY ANALYSIS OF WINE FROM VARIOUS PRODUCERS IN THE RETAIL NETWORK

Lýdia Mesarčová, Anna Reitznerová, Klára Spišáková, Boris Semjon, Martin Bartkovský, Slavomír Marcinčák

Abstract: The aim of the study was to compare the Moravian Muscat wine variety from various Slovak and Czech producers through sensory evaluation using a questionnaire and the 100-point OIV system. Another objective was to determine the amount of titratable acids, flavonoids, antioxidant activity and polyphenols, as each of the above-mentioned parameters has an impact on sensory properties and the associated popularity (or unpopularity) among consumers.

Keywords: sensory analysis, wine, Moravian Muscat, organoleptic properties

Úvod

Víno má niekoľko tisíc ročnú históriu a zmienky o jeho výrobe sa nachádzajú už v záznamoch pred Kristom. Právom je niekedy označované ako „nápoj pre bohov“ a nachádza si svojich priaznivcov naprieč celým svetom. Jeho obľúbenosť tkvie v jeho vlastnostiach, vyplývajúcich z regiónu pôvodu, podnebia, pôdy a odrôd ústiach do bohatej chuti a vône, a tak, ako sa rôzne druhy vín hodia k rozličným jedlám, tak existuje mnoho odrôd hrozna, ktoré slúžia na výrobu tohto jedinečného moku.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Muškrát moravský je najrozšírenejším zo všetkých nových kultivarov v Českej republike (Šottníková et al. 2014). Bol vyšľachtený Václavom Křivánkom v Šľachtiteľskej stanici vinárskej v Polešovičkách na Morave a bol zaregistrovaný v roku 1987 pod názvom Mopr. Vznikol krížením dvoch odrôd - Muškát Ottonel a Prachttraube. Až v roku 1993 bol zapísaný do listiny registrovaných odrôd pod názvom Muškát moravský, pod akým je známy dodnes. Táto odroda sa rýchlo rozšírila najmä na Morave a Slovensku. Je známa svojimi aromatickými zlúčeninami a jedinečným chuťovým profilom a poskytuje základ pre výrobu vín s výraznými kvetinovými, ovocnými a korenistými tónmi (Kývalová 2013). Svieža, elegantná a jemne korenistá chuť, príjemná muškátová vôňa z citrusových plodov v čírej a jasnožltej farbe je typická pre Muškát moravský (Pavloušek 2007), a našla si svojich priaznivcov medzi konzumentmi vín, ktorí obľubujú výraznú muškátovú vôňu a chuť. Je to stredne skorá odroda a hrozno dozrieva približne v druhej polovici septembra (Pospíšilová et al. 2005). Systémom kvasenia muštu pri nízkych teplotách - kryofermentácii, ktorý podporí výrazný rozvoj esterov v aróme sa z Muškátu moravského môžu vyrábať výrazné aromatické vína. Často je možné nájsť túto odrodu aj v akostnom a kabinetnom stupni, kedy výsledkom sú ľahké, aromatické vína s nižším obsahom alkoholu a zaujímavou kyselinou. Neskorý zber je taktiež vhodnou kategóriou, a vtedy musí mať hrozno dostatočný obsah kyselín na produkciu kvalitných vín. Táto odroda sa tiež hodí na miešanie viacerých aromatických vín na výrobu jemne aromatického „cuveé“ (Pavloušek, 2007).

Materiál a metódy

Na analýzu bolo použitých 5 vzoriek vína Muškátu moravského zo Slovenska a Českej republiky (obrázok 1):

1. *Vínárství Dufek CZ, neskorý zber, polosuché, ročník 2020 (MM1)*
2. *Víno Levice SVK, akostné odrodové víno s prívlastkom kabinetné, polosladké, ročník 2021 (MM2)*
3. *Matyšák SVK, akostné víno, suché, ročník 2022 (MM3)*
4. *Peter Podola SVK, akostné odrodové víno s chráneným označením pôvodu, suché, ročník 2022 (MM4)*
5. *Mikrosvín Mikulov CZ, akostné víno s prívlastkom neskorý zber, polosuché, ročník 2022 (MM5)*

Senzorická analýza

Vzorky vín boli hodnotené sedemčlennou komisiou zostavenou na Katedre hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín Univerzity veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach. Analýza bola vykonaná na úrovni deskriptorov typických pre danú odrodu. Bol hodnotený vzhľad (žltá, zelená, žltozelená, zlatá), aróma (mandarinková, egrešová, limetková, zelené jablko, muškátový orech, muškátová, melónová, borovicová, ľaliová, biela ruža, rozmarínová, marhuľová, citronella, šafránová, zázvorová, škoricová) a chuť (muškátová, kyselinová, ovocná, korenistá, nasladlá) v rozsahu intenzity od 0 - 10, kde 0 znamená nevnímateľná a 10 znamená veľmi silno vnímateľná. Komisia hodnotila vzorky aj pomocou 100-bodového systému hodnotenia tichých vín podľa Medzinárodného úradu pre vinič a víno, kde počet bodov hovorí o kvalite vína. Vynikajúce 100 - 87 bodov, veľmi dobré 86 - 73 bodov, dobré 72 - 57 bodov, uspokojivé 56 - 41 bodov a nedostatočné maximálne 40 bodov.

Chemická analýza

Stanovenie titrovateľných kyselín - obsah titrovateľných kyselín alebo celková kyslosť vína predstavuje súhrn všetkých voľných organických kyselín a ich solí, ktoré je možné stanoviť titráciou odmerným alkalickým roztokom. Bod ekvivalencie je možné určiť vizuálne na indikátor fenolftaleín alebo potenciometricky pri pH 7. Kyselina uhličitá sa do celkovej kyslosti nezahŕňa, pretože pred stanovením uniká pri zahriatí vína. Kyslosť sa vyjadruje množstvom kyseliny vínnej v g.l⁻¹ vína (1 ml odmerného roztoku NaOH s koncentráciou 0,25 mol.l⁻¹ zodpovedá 18,75 mg kyseliny vínnej) (Balík 2006).

Stanovenie celkových polyfenolov – bola použitá metóda stanovenie súčtu obsahu fenolov s použitím Folin-Ciocalteuovho činidla. Táto metóda je založená na oxidačno-redukčných reakciách, pri ktorých sa fenoly oxidujú a vykazujú maximálnu absorbanciu v oblasti vlnových dĺžok medzi 725 a 765 nm. Nastáva vznik komplexu, ktorý má modré zafarbenie (Ivanova et al. 2010).

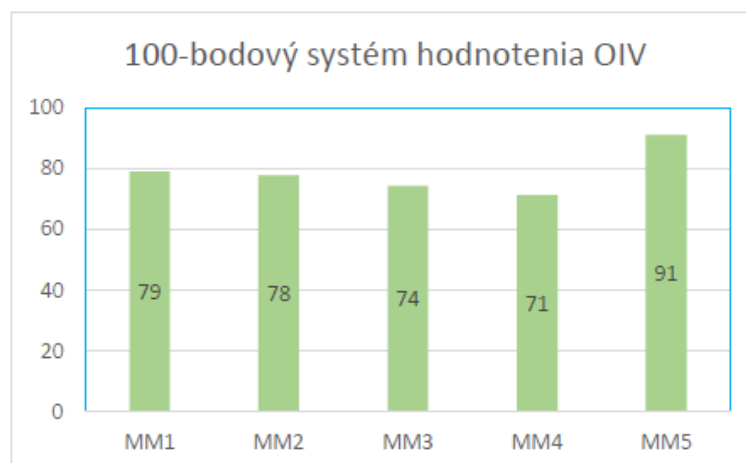
Stanovenie flavonoidov - Pre stanovenie obsahu flavonoidov sa použila metóda s chloridom hlinitým a dusitanom sodným, štandardným roztokom je v tomto prípade katechín, quercetín prípadne iný flavonoid (Matić et al. 2017).

Stanovenie antioxidačnej aktivity - antioxidačná aktivita bola vyjadrená ako % inhibície DPPH (kvantitatívna schopnosť sledovanej vzorky odstrániť v danom čase časť DPPH radikálu) (Moharram a Youssef 2014).

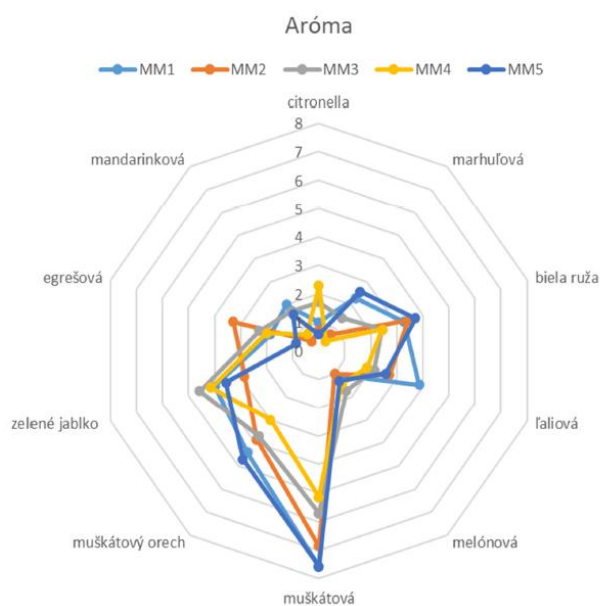
Výsledky a diskusia

Najvyšší počet bodov v senzorickom hodnotení 100-bodovým systémom hodnotenia OIV dosiahla vzorka MM5 (Mikrosvín Mikulov), ktorá pochádza z Južnej Moravy z okresu Břeclav. Víno Muškát moravský od Mikrosvínu dosiahol v hodnotení 91 bodov, čo znamená v tomto hodnotení „vynikajúce víno“. Ostatné vzorky ako MM1 (Dufek), MM2 (Víno Levice), MM3 (Matyšák) sa svojím počtom dosiahnutých bodov zaradili medzi „veľmi dobré vína“. Vzorka MM4 (Peter Podola) dosiahla počet bodov na hodnotenie „dobré víno“. V grafe 2 je znázornené

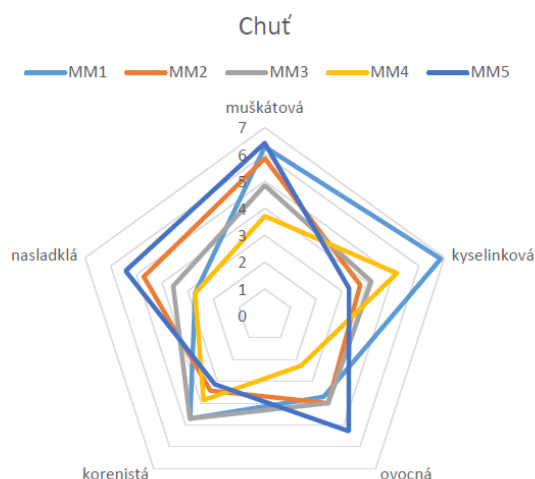
hodnotenie arómy. Muškátová aróma patrí medzi najtypickejšiu pre danú odrodu a práve tá bola najviac výrazná vo vzorke MM5 (Mikrosvín Mikulov) a naopak najmenej výrazná pri vzorke MM4 (Peter Podola). Pri vzorke MM1 (Vínárství Dufek) bola jedným členom zachytená aj zázvorová aróma, pri vzorke MM4 (Peter Podola) borovicová a pri vzorkách MM1 (Vínárství Dufek) a MM4 (Peter Podola) škoricová aróma. Pri hodnotení chuti (graf 3) najvyššie skóre pre muškátovú chuť dosiahli vína MM5 – Mikrosvín Mikulov a víno MM1- Vínárství Dufek. Vzorka MM5 bola navyše najviac ovocná a nasladklá, vo vzorke MM1 navyše dominovala kyselinková chuť. Zmyslový profil a chuť odrody u spotrebiteľov je silne ovplyvnená regionálnymi variáciami (Vařeková, Kvasnička 2019).



Graf 1. Senzorická analýza vzoriek vín 100-bodovým systémom hodnotenia OIV



Graf 2. Senzorický parameter - *Aróma*



Graf 3. Senzorický parameter - *Chuť*

Parametre chemickej analýzy – obsah titrovateľných kyselín, pH, obsah polyfenolov, obsah flavonoidov a antioxidačná aktivita vyšetrených vzoriek sú uvedené v tabuľke 1. Obsah titrovateľných kyselín varíroval vo vzorkách od 10.97 do 11.91 g.l⁻¹. Autorský kolektív Baron et al. (2017) uvádzajú, že čím je dlhšia doba macerácie Muškátu moravského, tým nižšie je množstvo celkových titrovateľných kyselín, čo znamená, že ich obsah sa s dobou macerácie znižuje. Na druhej strane sa však hodnota pH s dobou macerácie zvyšuje. Najvyššie pH (3,36) bolo zistené vo variante, ktorý bol macerovaný počas 24 hodín. pH našich vzoriek vín kolísalo v rozmedzí od 3.00 do 3.23 u vína z vinárstva Mikrosvín Mikulov. Polyfenoly a flavonoidy sú primárne zodpovedné za farbu a chuť vína, ovplyvňujú vnímanie horkosti a trpkosti. Majú tiež antioxidačné vlastnosti, čím pozitívne vplyvajú na zdravie ľudí (Čeryová et al. 2021). Obsah polyfenolov bol najvyšší vo vzorke MM3 z vinárstva Matyšák a najnižší u vzorky MM2. Obsah flavonoidov bol opäť najvyšší u vína MM3 (0.5956 mg.l⁻¹) a najnižší u vína z vinárstva Mikrosvín Mikulov MM5 (0.3791 mg.l⁻¹). Antioxidačná aktivita bola v rozmedzí od 58.21 % u vzorky MM5 po 79.64 % vo vzorke MM1. Muškátové vína v štúdiu Čeryová et al. (2021) vykazovali slabú až vysokú antioxidačnú aktivitu, pohybujúcu sa od 25,2 % inhibície DPPH do 67,7 % inhibície DPPH.

Tabuľka 1. Chemická analýza vzoriek vín

vzorka	obsah kyselín (g/l)	pH	obsah polyfenolov (mg/l)	obsah flavonoidov (mg/l)	antioxidačná aktivita (%)
MM1 Dufek	11.91	3.00	0.0539	0.4644	79.64
MM2 Levice	10.90	3.02	0.0518	0.5020	55.42
MM3 Matyšák	11.10	3.17	0.0631	0.5956	60.89
MM4 Peter Podola	11.55	3.02	0.0628	0.5856	64.23
MM5 Mikrosvín Mikulov	10.97	3.23	0.0608	0.3791	58.21

Záver

Muškat moravský sa vyznačuje nádhernou a nezameniteľnou senzorickou stopou. Jeho výrazný buket delí vinársku obec na dva protipóly: tých, ktorí ho milujú, a tých, ktorí ho nemajú

v oblúbe. Avšak práve kvôli tejto lahodnej muškátovej aróme a plnej chuti má stále mnoho priaznivcov nielen v Českej republike ale aj na Slovensku. Cieľom tejto štúdie bola senzorická analýza vzoriek vín tejto odrody od výrobcov z Čiech a zo Slovenska. Výsledky senzorického posúdenia boli podporené chemickou analýzou jednotlivých vzoriek. Vzorky vín boli zakúpené z obchodnej siete, od českých výrobcov (Vinařství Dufek – Svatobořice-Mistřín, a Sklepy Dolní Dunajovice v Mikulove) a ~~z~~ zo slovenského trhu (Matyšák Pezinok, Schoeller Levice a Vinársky dom Petra Podolu v Kopčanoch). Najvyšší obsah flavonoidov a fenolov bol nameraný u vín z vinárstva Matyšák a Peter Podola, najvyššia antioxidačná aktivita u vína z vinárstva Dufek. Najvyšším skóre bodov bolo ohodnotené víno z vinárstva Sklepy Dolní Dunajovice v Mikulove. Vzorky vín pochádzajúce od českých výrobcov dosiahli počas senzorickej analýzy porovnateľne vyššie skóre, ako vzorky vín pochádzajúce z domácej (slovenskej) obchodnej siete. Domnievame sa, že vzhľadom na zemepisný pôvod tejto odrody, priaznivejšiemu hodnoteniu senzorických vlastností Muškátu moravského od českých výrobcov nahrávali tradičné zručnosti a „kumšt“ domácich vinárov, ktorí túto odrodu vyšľachtili.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied projektom VEGA 1/0156/21 s názvom „Aplikácia viacnásobnej faktorovej analýzy na kvalitatívne a kvantitatívne ukazovatele vyrobeného vína pre dosiahnutie zníženia obsahu biogénnych aminov”.

Literatúra

- Balík, J. Vinařství: návody do laboratorních cvičení. 3. Brno: MZLU, 2006, 96 s. ISBN 80-7157-933-5.
- Baron, M; Sochor, J; Prusova, B; Tomaskova, L; Kumsta, M. A study on the content of terpenic compounds in the cultivar 'MORAVIAN MUSCAT' (*VITIS VINIFERA* L.). *Italian Journal of Food Science: IJFS*; Pinerolo Vol. 29, Iss. 2, 2017. DOI:10.14674/1120-1770/ijfs.v570.
- Čeryová, N. ., Bajčan, D. ., Lidiková, J. ., Musilová, J., Ā nirc, M., Jančo, I. ., Franková, H. ., & Bláhová, M. Phenolic content and antioxidant activity of slovak varietal wines of muscat type. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 10(5), e4292.
- Ivanova, V., Stefova, M., Chinnici, F. Determination of the polyphenol contents in Macedonian grapes and wines by standardized spectrophotometric methods. *Journal of the Serbian Chemical Society* [online]. 2010, 75.1: 45-59.
- Kývalová, E. Stanovení vybraných komponent v různých odrůdách moravských vín: diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, 2013. 33-34 s.
- Matić, P., Sablić, M., Jakobek, L. Validation of spectrophotometric methods for the determination of total polyphenol and total flavonoid content. *Journal of AOAC International* [online] 2017.
- Moharram, H. A. ., Youssef, M. M. Methods for determining the antioxidant activity. *Alexandria Journal of Food Science and Technology* [online]. 2014, 31-42.
- Pavloušek, P. Encyklopedie révy vinné. Computer Press Brno, 2007, 320 str. ISBN: 978-80-251-1704.
- Pospíšilova, D., Sekera, D., Ruman, T. Ampelografia Slovenska. Výskumná a šľachtiteľská stanica vinárska a vinohradnícka Modra, 2005. 367 str. ISBN: 80-96-9350-9-7
- Šottníková, Viera; Hrivna, Ludek; Juzl, Miroslav; Cwиковá, Olga. The difference in color and sensory of organic quality wine and wine from conventional cultivation. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*; 2014, Nitra Vol. 3, 285-288.
- Vavřeková, J., Kvasnička, F. Senzorické profilovanie a spotrebiteľské preferencie muškátových vín moravských z rôznych mikroklim: Európsky potravinársky výskum a technológia, 2019. 245 s.

Kontaktné adresy autorov:

MVDr. Lýdia Mesarčová, PhD., MVDr. Anna Reitznerová, PhD., MVDr. Klára Spišáková, Doc. MVDr. Boris Semjon, PhD., Mgr. Martin Bartkovský, PhD., prof. MVDr. Slavomír Marcincák, PhD. Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika.
E-mail: lydia.mesarcova@uvlf.sk, anna.reitznerova@uvlf.sk, klara.spisakova@uvlf.sk, boris.semjon@uvlf.sk, martin.bartkovsky@uvlf.sk, slavomir.marcincak@uvlf.sk

SENZORICKÁ ANALÝZA FRANKFURTSKÝCH PÁRKOV S PRIDANOU VLÁKNINOU

SENSORY EVALUATION OF FRANKFURTERS WITH ADDED FIBER

Lýdia Mesarčová, Anna Reitznerová, Martin Bartkovský, Matúš Várady, Slavomír Marcinčák

Abstract: The purpose of the study was to evaluate the effect of adding 2% bamboo, apple fiber, and psyllium fiber on the sensory properties of experimentally produced frankfurters. Laboratory analyses were performed on the first and seventh days of storage in a refrigerator. In the sensory analysis, the sausages from the control group and those with added bamboo fiber received the highest ratings. On the other hand, sausages with added psyllium fiber received the lowest scores in several descriptors, including overall acceptability, taste, and aroma.

Keywords: frankfurters, plant fiber, apple, bamboo, psyllium

Úvod

Chuť a dostupnosť mäsových výrobkov ich radí na prvé priečky obľúbenosti u spotrebiteľov konzumujúcich mäso. Na druhej strane sú však výrobkami, ktoré ľahko podliehajú oxidačným procesom a absentuje v nich vláknina. V súčasnej dobe sa konzumenti oveľa viac ako v minulosti zamýšľajú nad stravou, ktorú konzumujú a preto sa zaujímajú nielen o to, či im daná potraviná chutí alebo nechutí, ale či má pre ich organizmus funkčný význam. Rastlinná vláknina tých významov pre organizmus má hneď niekoľko. Nielenže napomáha tráviacim procesom, ale pri jej nedostatku v organizme sa u ľudí prejavujú mnohoraké zdravotné problémy, ako napríklad ochorenia hrubého čreva, obezita, kardiovaskulárne problémy či dokonca rakovina. Preto je výskum fortifikácie mäsových výrobkov kľúčovým krokom a predstavuje tak novodobú zásadnú výzvu mäsového priemyslu v produkcii tzv. „funkčných potravín“.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Za funkčné mäsové výrobky sa považujú produkty, ktoré obsahujú buď zložky zlepšujúce zdravie alebo na druhej strane obsahujú nižšie množstvo látok, ktoré vo väčších množstvách zdravie ľudí poškodzujú, napr. cholesterol, tuk a podobne (Diplock et al., 1999, Yue, 2001). Jednou z možností produkcie týchto funkčných potravín je prídanie zdraviu prospešných zložiek (antioxidantov, bielkovín, PNMK a pod.) do mäsového diela. Mäsové výrobky s obsahom určitého podielu vlákniny sú okrem zdroja bielkovín aj zdrojom kvalitných zložiek podporujúcich trávenie a majú vynikajúci inherentný funkčný a nutričný účinok (Hur et al., 2009; Kumar et al., 2010). Ako vláknina sú kategorizované neškrobové polysacharidy a rezistentné oligosacharidy, lignín, látky spojené s NSP a lignínovým komplexom v rastlinách, iné analogické sacharidy, ako je rezistentný škrob a dextríny, a syntetizované sacharidové zlúčeniny, ako je polydextróza. Ich najvyššiu koncentráciu vieme nájsť v obilninách, strukovinách, ovocí a zelenine (Kumar a Banerjee 2010). Mäso a mäsové výrobky sú potraviny obsahujúce vysoké množstvo bielkovín a tuku, avšak majú nedostatok vlákniny a preto sa obohacovanie v mäsových výrobkoch sa zameriava na zdravotné hľadisko (Sanchez-Zapat et al. 2010, Sofi et al. 2017) ale aj na vplyv na antioxidačnú stabilitu a efekt prídavkov na chuť a ostatné vlastnosti obohatených výrobkov.

Materiál a metódy

V rámci experimentu boli analyzované vzorky frankfurtských párkov vyrobených v technologickej dielni UVLF v Košiciach. Tieto párky boli pripravené podľa tradičnej receptúry s prídavkom 2 % rastlinnej vlákniny (bambusovej, jablčnej a psyllium). Surovina na výrobu párkov bola najprv nakrájaná a pomletá na rezačke s otvormi o priemere 5 mm, následne bola osolená dusitanovou soliacou zmesou a uskladnená pri chladiarenskej teplote do nasledujúceho dňa. Na druhý deň boli do zmesi pridané korenacie zmesi podľa receptúry (mleté biele korenie, nové korenie, muškátový kvet, muškátový orech a brätfix) spolu s rastlinnou vlákninou. Zhotovili sa štyri vzorky mäsového výrobku. Experimentálne vzorky párkov boli označené nasledovne: Kontrola – frankfurtské párky bez prídavku rastlinnej vlákniny, vzorka B – frankfurtské párky s 2 % bambusovej vlákniny, vzorka J – frankfurtské párky s 2 % jablčnej vlákniny a vzorka P – frankfurtské párky s prídavkom 2 % psyllia. Analýza senzorických vlastností prebehla na prvý a siedmy deň skladovania pri chladiarenských teplotách. Panel tvorilo päť vyškolených hodnotiteľov oboch pohlaví vo veku od 24 do 50 rokov, spomedzi pracovníkov Katedry hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín na UVLF v Košiciach. Bol posudzovaný vzhľad vonkajší a na reze, konzistencia, vôňa, chuť a celková prijateľnosť. Bola použitá deväť bodová stupnica hodnotenia senzorických parametrov. V priebehu senzorického hodnotenia vzoriek boli ďalej hodnotené deskriptory pre vzhľad vonkajší a na reze, vôňu, chuť a textúru. Hodnotenie výrobkov sa uskutočnilo na intenzitnej škále od 0 do 10. Hodnotenia boli zapísané do protokolov a následne vyhodnotené. Dáta boli analyzované pomocou GraphPad Prism 10.4.1 (627) 2024 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA, USA), s použitím jednocestnej analýzy variancie (ANOVA) a Tukeyho viacnásobnými porovnávacími post hoc testami ($p < 0,05$). Rôzne písmená v stĺpci označujú významné rozdiely medzi vzorkami $p < 0,05$.

Výsledky a diskusia

V tabuľke č. 1 a č.2 sú prezentované výsledky senzorickej analýzy frankfurtských párkov prvý deň po vyrobení a po siedmich dňoch skladovania. Párky po vyrobení boli analyzované v prvý deň skladovania pri chladiarenskej teplote. Čo sa týka celkovej prijateľnosti, najvyššie bodové skóre dosiahli párky vyrobené s prídavkom bambusovej vlákniny (7.7 ± 0.67), naopak, najnižšie skóre dosiahli párky zo skupiny s prídavkom psyllia (6.9 ± 0.99). V atribúte „vôňa“ najvyšší počet bodov dostali párky z kontrolnej skupiny a párky s prídavkom bambusovej vlákniny, a tie boli zároveň aj najchutnejšie. Najnižší počet bodov bol pridelený párom s prídavkom jablčnej vlákniny. V priemere najnižšie bodové ohodnotenie za konzistenciu, vôňu, chuť a celkovú prijateľnosť mala vzorka skupiny P (s prídavkom psyllium vlákniny). Uvedené zmeny však neboli štatisticky významné (Tabuľka 1) a preto môžeme konštatovať, že rastlinná vlákna v dvojpercentnej koncentrácii nemá vplyv na senzorické vlastnosti mäsových výrobkov po jednom dni skladovania. Naše tvrdenie je v súlade s tvrdením kolektívu autorov Eim et al. (2010), ktorí tvrdia, že prídanie rastlinnej vlákniny (konkrétne mrkvovej) mení organoleptické vlastnosti mäsových výrobkov v závislosti od koncentrácie. Zhoršenie senzorických vlastností bolo pozorované od koncentrácie vlákniny 3 % a vyššie (Eim et al. 2008). V štúdií Alakali et al. (2010) bola použitá arašidová vlákna pri výrobe hovädzích placiiek a ich senzorické vlastnosti sa do koncentrácie 5% významne medzi skupinami nelíšili, až pri koncentrácii 7.5 % došlo k významnému poklesu vzhľadu, chuti, mäkkosti a celkovej prijateľnosti.

Po siedmich dňoch skladovania počas hodnotenia chuti bola chuť párkov s bambusovou a jablčnou vlákninou porovnateľná s párkami z kontrolnej skupiny ($p < 0,05$). Štatisticky najmenej chutné boli párky s prídavkom psyllia a väčšina hodnotiteľov pridala do senzorického protokolu poznámku o tom, že v párkoch cítia pachuť vlákniny. Konzistencia párkov z kontrolnej skupiny (7.7 ± 1.06) a zo skupiny s prídavkom jablčnej vlákniny (7.7 ± 0.95) bola

pre hodnotiteľov najpriateľnejšia a tento výsledok bol štatisticky významný oproti párkom zo skupiny s psylliom. Výhodou pridávania vlákniny nie je len jej neutrálna chuť, ktorá má len minimálny vplyv na zmenu senzorických vlastností mäsových výrobkov, ale jej prítomnosť má viacero funkčných výhod ako je udržanie vody vo výrobku, stabilita emulzie a úprava textúry (Mehta et al. 2015).

Tabuľka 1. Sensorické hodnotenie párkov – hodnotenie senzorických parametrov vzoriek pomocou 9-bodovej stupnice – 1. deň

	K	B	J	P	p
vzhľad vonkajší	7.9 ± 0.57	8.1 ± 0.57	7.8 ± 0.63	8.2 ± 0.63	ns
vzhľad na reze	7.4 ± 0.52	7.7 ± 0.67	7.6 ± 0.84	7.1 ± 0.74	ns
konzistencia	7.4 ± 0.52	7.6 ± 0.70	7.1 ± 0.32	6.8 ± 1.03	ns
vôňa	7.7 ± 0.82	7.4 ± 1.07	7.3 ± 1.34	7.0 ± 0.67	ns
chuť	7.2 ± 1.03	7.5 ± 0.85	6.8 ± 0.92	7.1 ± 0.99	ns
celková priateľnosť	7.5 ± 0.71	7.7 ± 0.67	7.3 ± 0.82	6.9 ± 0.99	ns

K – kontrolná skupina (bez prídavku vlákniny), B - párky s prídavkom 2% obsahu bambusovej vlákniny, J - párky s prídavkom 2% obsahu jablčnej vlákniny, P - párky s prídavkom 2% obsahu vlákniny z psyllia

Tabuľka 2. Sensorické hodnotenie párkov – hodnotenie senzorických parametrov vzoriek pomocou 9-bodovej stupnice – 7. deň

	K	B	J	P	p
vzhľad vonkajší	7.8 ± 0.63	8.0 ± 0.82	7.4 ± 1.26	7.9 ± 0.74	ns
vzhľad na reze	7.9 ± 0.74	8.2 ± 0.63	7.9 ± 0.74	7.3 ± 0.82	ns
konzistencia	7.7 ± 0.65 ^a	7.2 ± 0.70 ^{a,b}	7.7 ± 0.75 ^a	6.9 ± 0.29 ^b	< 0,05
vôňa	7.2 ± 1.14	7.4 ± 0.97	7.5 ± 0.85	7.1 ± 0.88	ns
chuť	7.7 ± 0.65 ^a	7.6 ± 0.85 ^{a,b}	7.3 ± 0.75 ^{a,b}	6.8 ± 0.55 ^b	< 0,05
celková priateľnosť	7.9 ± 0.88	7.9 ± 0.74	7.6 ± 1.26	7.0 ± 0.94	ns

K – kontrolná skupina (bez prídavku vlákniny), B - párky s prídavkom 2% obsahu bambusovej vlákniny, J - párky s prídavkom 2% obsahu jablčnej vlákniny, P - párky s prídavkom 2% obsahu vlákniny z psyllia

Záver

Účelom tejto štúdie bolo overiť vplyv prídavku rastlinnej vlákniny na organoleptické vlastnosti frankfurtských párkov. Tri druhy rastlinnej vlákniny boli pridané do mäsového výrobku počas jeho výroby (bambusová, jablčná a vláknina z psyllia) v dvojpercentnej koncentrácii. Pridaná vláknina výrazne neovplyvnila senzorické vlastnosti výrobkov po jednom dni skladovania, po siedmych dňoch skladovania v párkoch s prídavkom vlákniny z psyllia došlo k miernemu zhoršeniu chuti a konzistencie vyrobených mäsových výrobkov. Pridanie funkčných zložiek do mäsových výrobkov zlepšuje nutričnú hodnotu a reputáciu mäsových výrobkov z hľadiska zdravotných benefitov, niekedy však na úkor senzorických vlastností. Je však potrebný rozsiahlejší výskum zameraný na overenie vhodnosti použitia a druhu vlákniny a tiež reálny odhad koncentrácie použitej vlákniny.

Literatúra

- Alakali, J.S.; Irtwange SV; Mzer MT. Quality evaluation of beef patties formulated with Bambara groundnut (*Vigna subterranean* L.) seed flour. *Meat Science*, **2010**, 85, 215–223.
- Diplock AT; Aggett PJ; Ashwell M; Bornet F; Fern EB; Roberfroid MB. Scientific concepts of functional food in Europe: Consensus document. *British Journal of Nutrition*, **1999**, 81, 1-27.
- Eim VS; Small S; Rossello C; Femenia A. Effect of addition of carrot dietary fibre on the ripening process of a dry fermented sausage (Sobressada). *Meat Science*, **2008**, 80, 173–182.
- Hur SJ; Lim BO; Park GB; Joo, ST. Effect of various fiber additions on lipid digestion during in vitro digestion of beef patties. *Journal of Food Science*, **2009**, 74(9): C653-C657.

Kumar V; Biswas AK; Chatli MK; Sahoo J. Effect of banana and soybean hull flours on vacuum packaged chicken nuggets during refrigeration storage. *International Journal of Food Science and Technology*, **2010**, (In Press).

Mehta N; Ahlawat SS; Sharma DP. et al. Novel trends in development of dietary fiber rich meat products—a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, **2015**, 52, 633–647.

Sanchez-Zapat E, Munoz CM, Fuentes E, Fernandez-Lopez J, Sendra E, Sayas E, Navarro C. Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. *Meat Science*. **2010**, 85, 70–76.

Sofi AS; Jagmohan Singh; Shafiya Rafiq; and Rafia Rashid. “Fortification of Dietary Fiber Ingredients in Meat Application: A Review”. *International Journal of Biochemistry Research & Review*, **2017**, 19, 1-14.

Yue Xu Perspectives on the 21st century development of functional foods: Bridging Chinese medicated diet and functional foods. *International Journal of Food Science and Technology*, **2001**, 36, 229-242.

Kontaktné adresy autorov:

MVDr. Lýdia Mesarčová, PhD., MVDr. Anna Reitznerová, PhD., Mgr. Martin Bartkovský, PhD., Mgr. Matúš Várady, PhD., prof. MVDr. Slavomír Marcincák, PhD. Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika. E-mail: lydia.mesarcova@uvlf.sk, anna.reitznerova@uvlf.sk, martin.bartkovsky@uvlf.sk, matus.varady@uvlf.sk, slavomir.marcincak@uvlf.sk

CELOROČNÝ BITÚNKOVÝ MONITORING ŽALÚDOČNÝCH LÉZIÍ U OŠÍPANÝCH NA SLOVENSKU

YEAR-ROUND SLAUGHTERHOUSE MONITORING OF GASTRIC LESIONS IN PIGS IN SLOVAKIA

Jaroslav Novotný, Zuzana Krepelková, Katarína Bárdová, Lýdia Mesarčová, Anna Reitznerová, Petronela Kyzeková

Abstract: This study aimed to provide updated data on the prevalence and severity of gastric lesions in fattening pigs in Slovakia based on year-round slaughterhouse monitoring. Over a 12-month period, a total of 1,944 pig stomachs were collected and examined post-mortem. The pars esophagea mucosa was evaluated macroscopically using a standardized four-point scoring system (0 – 3): 0 – no lesions, 1 – parakeratosis, 2 – erosions, 3 – ulceration. Additional gastric regions (fundus and pylorus) were assessed for signs of gastritis, necrosis, and ulcer formation. Of all stomachs examined, 52% showed completely healthy gastric mucosa. Pre-ulcerative changes were identified in 48% of cases, comprising parakeratosis (26%), erosions (18%), and ulcerations (4%). Gastritis, primarily localized to the fundic and pyloric regions, was present in 56% of the stomachs. These findings highlight the high prevalence of subclinical gastric lesions in fattening pigs and underscore the importance of systematic surveillance for improving pig health and welfare.

Keywords: gastric ulcers, swine, *pars esophagea*, prevalence

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Ulcerácie žalúdka u ošípaných predstavujú významný zdravotný problém s globálnym výskytom. Zvýšená pozornosť sa venuje najmä výkrmovým ošípaným, keďže tento patologický stav môže viesť k spomaleniu rastu ošípaných, náhlom úhynom a kontaminácii jatočných tiel patogénnymi mikroorganizmami, ako sú *Helicobacter* spp. a *Fusobacterium gastrois*. U ošípaných sa ulcerácie najčastejšie vyskytujú v nežľazovej časti žalúdka – *pars oesophagea*. Môžu sa však objaviť aj v žľazových oblastiach žalúdka, ako je *kardia*, *fundus* a *pylorus* (Canibe a kol., 2016), pričom ich výskyt býva často spojený so systémovými infekciami (Mushonga a kol., 2017; Zalecki, 2015). Ulcerácie *pars oesophagea* sú považované za závažný problém z pohľadu zdravia a welfare ošípaných, pričom ich prevalencia sa výrazne líši medzi jednotlivými chovmi (Swaby a Gregory, 2012). Niektorí autori poukazujú na možnú súvislosť medzi výskytom týchto lézií a intenzívnym rastom zvierat (Preziosi a kol., 2000). Podľa dostupných údajov je mortalita spôsobená týmto ochorením zodpovedná za 20 – 38 % prípadov úhynov počas celého výkrmového obdobia (Melnichouk, 2002), pričom v druhej polovici výkrmu môže byť príčinou až každého druhého úhynu (Deen, 2000). Nežľazová časť žalúdka (*pars oesophagea*), obklopujúca pažerákový vstup, predstavuje relatívne malú oblasť vystlanú viacvrstvovým dlaždicovým epitelom. Jej mikroanatomická štruktúra je náchylná na pôsobenie rôznych škodlivých faktorov, čo podporuje vznik lézií v rozsahu od parakeratózy, cez erózie, až po hlboké ulcerácie (Cybulski a kol., 2024).

Materiál a metodika

Počas obdobia 12 mesiacov bolo vyšetrených celkovo 1944 žalúdkov výkrmových ošípaných. Monitoring sa realizoval na troch bitúnkoch na západnom a východnom Slovensku. Patologické zmeny sliznice žalúdka hodnotila vždy tá istá osoba pomocou modifikovaného

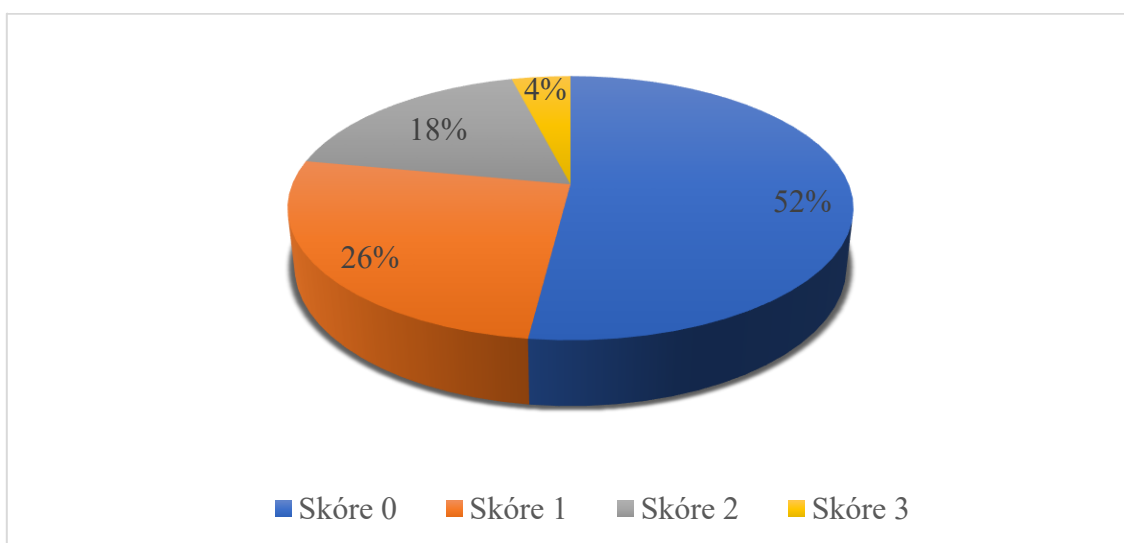
makroskopického skórovacieho systému v rozsahu od 0 do 3 (0 – žiadne lézie, 1 – parakeratóza, 2 – erózia, 3 – žalúdočný vred).

Výsledky a diskusia

Stav bežne označovaný ako „žalúdočný vred“ je presnejšie definovaný ako gastroezofageálna ulcerácia. Lézie postihujú pažerák a kraniálnu, nežľazovú časť žalúdka (*pars oesophagea*). Tieto lézie môžu variovať od počiatočného zhrubnutia povrchu *pars oesophagea*, cez erózie, až po vznik žalúdočných ulcerácií. Môžu byť lokalizované na určitú časť sliznice alebo zasahovať celý povrch *pars oesophagea* (Friendship, 2022). Včasné lézie sú charakterizované hyperkeratózou a parakeratózou dlaždicového epitelu v oblasti, kde pažerák vstupuje do žalúdka. Predpokladá sa, že zhrubnutie epitelového povrchu predstavuje ochrannú reakciu na dráždenie. V oblasti *pars oesophagea* môžu následne vzniknúť trhliny a erózie. Hlboké erózie môžu viesť k akútnej a závažnej strate krvi, a to aj v prípadoch, keď veľká časť povrchu *pars oesophagea* zostáva intaktná. Zahojený vred sa obvykle prejavuje ako hviezdovitá jazva. Procesy erózie a hojenia sa môžu opakovane striedať. V ťažkých prípadoch môže dôjsť k výraznému jazveniu, ktoré vedie k stenóze distálnej časti pažeráka (Friendship, 2022). Prevalencia ulcerácií v oblasti *pars oesophagea* (stupeň 3) u výkrmových ošípaných sa medzi jednotlivými štúdiami výrazne líši – od 2,3 % zaznamenaných v Nórsku, cez 5,1 % v Južnej Afrike až po 6,4 % udávané inými autormi (Mushonga a kol., 2017). Za posledných 20 – 25 rokov boli publikované údaje poukazujúce na prevalenciu ulcerácií až do 15 %, čo naznačuje nárast výskytu tohto ochorenia (Lin a kol., 2024). V našej štúdii sme makroskopicky hodnotili sliznicu *pars oesophagea* pomocou škály podľa Robertsona (2002), pričom sme použili štandardizovaný skórovací systém (0 – 3): 0 – bez lézií, 1 – parakeratóza, 2 – erózie, 3 – ulcerácia. Makroskopické hodnotenie žalúdočných lézií na území Slovenska prebiehalo v období od marca 2024 do marca 2025. Zo 1 944 vyšetrených žalúdkov mala úplne zdravú sliznicu *pars oesophagea* viac ako polovica (52 %). Viditeľné preulceratívne zmeny sa vyskytli vo viac ako 48 % prípadov: parakeratóza (26 %), erózie (18 %) a žalúdočné ulcerácie (4 %; Graf 1).

V štúdii Swaby a Gregory (2012) bolo viac ako 79 % žalúdkov postihnutých preulceratívnymi zmenami, pričom závažné ulcerácie tvorili 6 % prípadov. Naproti tomu v štúdii Cybulskeho a

Graf 1. Ročné hodnotenie výskytu žalúdočných vredov u ošípaných na Slovensku



kol. (2024) mala úplne zdravú sliznicu len 23,71 % žalúdkov, pričom 9,8 % vykazovalo parakeratózu, 8,02 % erózie a až 58,47 % žalúdočné ulcerácie. Gastritída sa v našej štúdii vyskytovala predovšetkým vo fundálnej a pylorickej oblasti, a to v 56 % prípadov. Z týchto

prípadoch bolo až 79 % zaznamenaných u žalúdkov so zdravou sliznicou *pars oesophagea* (so skóre ulcerácie 0 alebo 1). Ulcerácie boli lokalizované v oblasti *pars oesophagea* v 99,92 % prípadov, zatiaľ čo vo fundálnej a kardiálnej oblasti sa vyskytli len v 0,8 % prípadov. V štúdií Lin a kol. 2024 bol taktiež najvyšší podiel ulcerácií zaznamenaný v oblasti *pars oesophagea* (90 %), nasledovaný pylorickou (6,7 %) a kardiálnou oblasťou (3,3 %).

Záver

Táto štúdia predstavuje komplexné, aktuálne hodnotenie prevalencie žalúdočných vredov u výkrmových ošípaných na Slovensku. Na základe údajov z bitúnkov sme zistili, že 48 % vyšetrených žalúdkov vykazuje v súčasnosti viditeľné predulcerózne lézie vrátane parakeratózy (26 %), erózií (18 %) a žalúdočných vredov (4 %). Tieto zistenia zdôrazňujú vysoký výskyt subklinických žalúdočných lézií u výkrmových ošípaných a podčiarkujú dôležitosť systematického sledovania a identifikácie etiologických faktorov pre zlepšenie zdravia a welfare ošípaných.

PodĎakovanie

Táto práca je podporená grantom VEGA 1/0040/24: Výskum prevalencie, etiologických a predispozičných faktorov žalúdočných ulcerózných zmien u ošípaných.

Literatúra

- Canibe, N.; Blaabjerg, K.; Lauridsen, C. Gastric Ulcers in Pigs. 2016. Available online: http://www.pure.au.dk/portal/files/108305983/Vidensyntese_Gastric_ulcers_in_pigs_231216.pdf
- Cybulski, P.; Woźniak, A.; Laska, M.; Jabłoński, A.; Stajeck, T. Gastric ulcers in finishing pigs: the evaluation of selected non-dietary risk factors and impact on production performance. *Porc. Health Manag.* 2024, 10, 11. <https://doi.org/10.1186/s40813-024-00362-0>
- Deen, J. Epidemiology of gastroesophageal ulcers. *Leman Swine Conf.* 2000, 1, 96–7.
- Friendship, M. Gastric ulcers in pigs. 2022. Available online: <https://www.msdsvetmanual.com/digestive-system/gastrointestinal-ulcers-in-large-animals/gastric-ulcers-in-pigs>
- Lin, P.J.; Liao, C.V.; Chiang, H.H.; Lo, D.Y.; Kuo, H.C.; Wu, C.F. The prevalence of porcine gastric ulcer and *Helicobacter suis* in Taiwan. *J. Vet. Med. Sci.* 2024, 86(6), 670 – 676. DOI: 10.1292/jvms.23-0403
- Melnichouk, S.I. Mortality associated with gastric ulceration in swine. *Can. Vet. J.* 2002, 43, 223–5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC339211/>
- Mushonga, B.; Yabaragiye, B.; Kandiwa, E.; Habarugira, G.; Samkange, A. A 3-year prospective study of the incidence of gastric ulcers in pigs slaughtered at Base Abattoir in Rwanda. *Vet. World.* 2017, 10(8), 873–879. DOI:10.14202/vetworld.2017.873-879
- Preziosi, R.; Sarli, G.; Marcato, P. S. Cell proliferation and apoptosis in the pathogenesis of oesophagogastric lesions in pigs. *Res. Vet. Sci.* 2000, 68, 189–196.
- Robertson, I.D.; Accioly, J.M.; Moore, K.M.; Driesen, S.J.; Pethick, D.W.; Hampson, D.J. Risk factors for gastric ulcers in Australian pigs at slaughter. *Prev. Vet. Med.* 2002, 53, 293–303. DOI: 10.1016/S0167-5877(01)00286-0.
- Swaby, H.; Gregory, N.G. A note on the frequency of gastric ulcers detected during post-mortem examination at a pig abattoir. *Meat Sci.* 2012, 90, 269–71.
- Zalecki, M. The influence of antral ulcers on intramural gastric nerve projections supplying the pyloric sphincter in the pig (*Sus scrofa domestica*) - Neuronal tracing studies. *PLOS One.* 2015, 10(5), e0126958. DOI: 10.1371/journal.pone.0126958

Kontaktné adresy autorov:

Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Univerzitná veterinárna nemocnica, Klinika ošípaných, Komenského 73, 041 81 Košice, E-mail: jaroslav.novotny@uvlf.sk, zuzana.krepelkova@uvlf.sk, katarina.bardova@uvlf.sk,
Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Komenského 73, 041 81 Košice, E-mail: lydia.mesarcova@uvlf.sk, anna.reitznerova@uvlf.sk, petronela.kyzekova@uvlf.sk

ANALÝZA STOPOVÝCH MNOŽSTIEV GLUTÉNU V BEZLEPKOVÝCH POTRAVINÁCH

ANALYSIS OF TRACE AMOUNTS OF GLUTEN IN GLUTEN-FREE FOODS

Ivana Regecová, Jana Výrostková, Nikola Dančová, Daniela Bertová

Abstract: In this study, the PCR method was used to detect gluten in 11 food samples labeled as gluten-free or naturally gluten-free. By comparing two isolation procedures, different efficiencies were demonstrated depending on the composition of the samples. Gluten was detected by the PCR method even in some gluten-free products, indicating possible cross-contamination. The PCR method enabled the detection of trace amounts of gluten, confirming its usefulness as a reliable tool for accurate monitoring of gluten-free foods and protecting consumers with celiac disease.

Keywords: gluten-free foods, celiac disease, isolation, gluten, PCR

Úvod

Bezlepkové potraviny sú nevyhnutné pre ľudí trpiaci ochorením nazývaným celiakia, no ich bezpečnosť pre týchto pacientov často závisí od presnej detekcie aj stopových množstiev gluténu. Na tento účel sa používajú rôzne analytické prístupy, medzi ktorými si získava čoraz väčšiu pozornosť metóda PCR. Výsledky takýchto testov však môže ovplyvniť kvalita izolovanej DNA, preto je dôležité porovnať účinnosť rôznych izolačných postupov práve zo zložitej matrici akou je potravina. Táto práca sa zameriava práve na tieto aspekty, s cieľom optimalizovať postup izolácie DNA a detekcie gluténu pomocou polymerázovej reťazovej reakcie, zohľadňujúc pritom aj faktory, ktoré môžu ovplyvniť správnosť a interpretáciu výsledkov.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Glutén je skupina bielkovín nachádzajúcich sa v obilninách, z ktorých pšenica je najviac konzumovaná. Dva hlavné proteíny, ktoré tvoria glutén, sú gliadín a glutenín. Hlavnou úlohou týchto proteínov je vytvárať typické vlastnosti cesta, ako je konzistencia, elasticita alebo schopnosť rásť počas pečenia. Zároveň sú nevyhnutné na udržanie textúry, objemu, uspokojivého roztierania, trvanlivosti a senzorickej kvality pekárenských výrobkov (Šmídová et al 2007). Väčšina ľudí toleruje prítomnosť gluténu v potravinách, ale v súčasnosti existuje niekoľko ochorení spôsobených prítomnosťou gluténu v strave. Medzi najznámejšie ochorenia patrí celiakia, citlivosť na glutén a alergia na pšenicu. Najzávažnejšou formou je celiakia. Je to autoimunitné ochorenie, ktoré postihuje približne 0,7 – 1 % populácie (Catassi, et al., 2022). Pacienti s celiakiou sú rôzne citliví na stopové množstvá gluténu v potravinách, ktoré aj v malých koncentráciách (do 20 ppm) môžu vyvolať zdravotné ťažkosti, preto je nevyhnutné venovať pozornosť ich obsahu, hoci výroba potravín s tak nízkym obsahom lepku je technicky a finančne náročná (FAO/WHO, 2008; Makovicky et al., 2020). Bezpečnou a účinnou liečbou pre pacientov s celiakiou je bezlepková diéta - úplné vynechanie gluténu v potravinách. V súčasnosti je však dodržiavanie takejto diéty relatívne drahé, nepohodlné a ťažko sa dodržiava. Na celom svete existujú špecifické predpisy týkajúce sa označovania bezlepkových potravín. Väčšina z nich je založená na norme *Codex Alimentarius* 118-1979 a odporúča správnu výrobnú prax, aby sa zabránilo krížovej kontaminácii gluténom v rôznych krajinách (Canadian Celiac Association Gluten-Free Certification Program, 2011). Vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ)

č. 828/2014 z 30. júla 2014 o požiadavkách na poskytovanie informácií spotrebiteľom o neprítomnosti alebo zníženom obsahu lepku v potravinách rozlišuje medzi dvoma základnými označeniami: „bezgluténový“ (20 ppm) a „veľmi nízky obsah gluténu“ (100 ppm). Symbol pre bezgluténove (bezlepkové) potraviny, ktorý sa používa pre označenie takýchto potravín je preškrtnutý klasu. Tento symbol môže mať akúkoľvek farbu a môže byť doplnený slovami „bezlepkový“ v príslušnom jazyku. Symbol nie je povinný na obale, ale je uznávaný na celom svete a pomôže celiatikom vybrať si vhodné potraviny (Xhaferaj et al., 2020).

Avšak aj spotrebiteľia, ktorí sa snažia konzumovať iba bezlepkové potraviny, môžu tento lepok konzumovať vo forme tzv. skrytého lepku. V tejto súvislosti je potrebné vedieť, ktoré potraviny a výrobky môžu byť takto kontaminované a v konečnom dôsledku negatívne ovplyvniť zdravie spotrebiteľov (El Khoury et al. 2018). Prvou rizikovou skupinou potravín, ktoré môžu obsahovať skrytý lepok, sú marinády a omáčky. Lepok sa nachádza v omáčkach zahustených múkou alebo aj v tých, ktoré sú ochutené sladovým octom alebo sójovou omáčkou, pretože tieto výrobky sa vyrábajú prevažne s pridaním pšenice. V tomto prípade je vhodné zvoliť bezlepkovú sójovú omáčku alebo prirodzene bezlepkovú japonskú tamari omáčku. Okrem toho treba poznamenať, že pšeničná múka sa tradične mieša s maslom, čím sa vytvára korenie, ktoré tvorí základ mnohých omáčok. Druhým a veľmi častým zdrojom skrytého lepku je spracované mäso a mäsové výrobky, imitácie krabieho mäsa alebo rôzne morské plody. Klobásy, sekaná a mleté mäso často obsahujú plnivá na báze pšenice. Niektoré polotovary, ako napríklad hamburgerové mäsové palacinky, sa môžu doplniť chlebom, ktorý pomáha spojiť mäso a zlepšuje jeho textúru, a preto je vhodné pre celiatikov konzumovať mäso označené ako „100 % mleté mäso“ (Meleo-Erwin et al., 2020). Ďalším rizikom kontaminácie lepkom sú rôzne alternatívy k vegetariánskemu mäsu. Mnohé z týchto výrobkov sa vyrábajú s pridaním seitanu, známeho aj ako pšeničný lepok alebo pšeničné mäso. Iné sa vyrábajú z múky alebo strúhanky obsahujúcej lepok, ktoré slúžia ako spojivá v potravinách (Pagano et al., 2007). Ďalšími potravinami, ktoré môžu obsahovať skrytý lepok, sú nápoje a alkohol. Lepok sa nachádza v ochutených kávach alebo čajoch. Mnohé druhy instantnej kávy a kávy ochutené sušeným mliekom obsahujú lepok ako plnivo (Raymond et al., 2006). Vo väčšine prípadov sa bezlepkové potraviny spracovávajú v spoločnom zariadení spolu s tými, ktoré bežne obsahujú lepok, a preto môže dôjsť ku krížovej kontaminácii.

Súčasný metódy na stanovenie lepku neumožňujú spoľahlivé a opakovateľné meranie lepku v hladinách pod 20 ppm. Existuje niekoľko rôznych analytických metód a technológií na testovanie potravín na alergény: LFT, ELISA. V súčasnosti sa množstvo lepku v potravinách v Slovenskej republike, ako aj v iných krajinách EÚ, stanovuje podľa normy ISO 21415 a ELISA metódou, kde je detekčný limit 4 ppm lepku (Koerner et al., 2013). Na detekciu stopových množstiev gluténu v prirodzene bezlepkových potravinách sa používa polymerázová reťazová reakcia (PCR). Je to jedna zo základných molekulárno-genetických metód a umožňuje in vitro amplifikáciu cieľovej sekvencie DNA v priebehu niekoľkých hodín (Lorenz, 2012). Avšak aj táto metóda pri nesprávnom prevedení má svoje limity. Potravinárske produkty bez akéhokoľvek spracovania sú vhodné pre mnoho typov analytických alebo molekulárnych analýz. Keďže však väčšina vzoriek potravín je do určitej miery spracovaná, DNA je zvyčajne zmenená a fragmentovaná (Madesis et al., 2014). Potravina v procese výroby prechádza množstvom procesov, ktoré vedú k degradácii DNA. Nemusí to teda viesť k uspokojujej PCR amplifikácii, pretože metóda vyžaduje intaktné ciele. Preto výsledné amplifikované sekvencie by mali byť kratšie ako 200 bp, aby sa dosiahli optimálne výsledky (Unsel et al., 1995).

Na základe týchto faktov sa pristúpilo k vývoju efektívnejšieho postupu pre izoláciu DNA a následnú detekciu stopových množstiev gluténu v bezlepkových potravinách.

Materiál a metódy

Detekcii stopových množstiev gluténu sa podrobilo 11 vzoriek výrobkov rastlinného a živočíšneho pôvodu, ktoré boli deklarované výrobcom ako bezlepkové alebo sa vzhľadom na zloženie a spôsob výroby pôvodne neočakáva prítomnosť gluténu. Konkrétne sa jednalo o vzorky: bezlepkové piškóty (Slovensko), kukuričné chrumky (Slovensko), práškový vanilkový pudíng (Slovensko), bezlepkové keksy „Brusienky“ (Slovensko), bezlepkové cestoviny „Felicia Bio“ (Taliansko), instantná káva (Česká republika), kakaový prášok (Slovensko), „Hydinové párky“ (Slovensko), „Špekáčky“ (Slovensko), „Jemná saláma“ (Slovensko) a „Malokarpatská saláma“ (Slovensko). Jednotlivé výrobky na analýzu boli zakúpené v obchodnej sieti od rôznych výrobcov.

Na detekciu gluténu v potravinách, sa použil kit NucleoSpin® Tissue (MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG, Nemecko) a modifikovaný izolačný postup, pri ktorom vzorky v objeme 20 mg spolu so sterilnými zirkónovými a sklenenými guľôčkami (1:1, 0,2 ml) boli umiestnené do 1,5 ml mikro skúmaviek. Následne sa pridalo 10 µl Proteinázy K (Macherey Nagel, Nemecko). Vzorky boli inkubované pri 37 °C počas 30 minút. Po inkubácii boli intenzívne vortexované 1 minútu (metóda vyvinutá v tejto štúdii). Po premiešaní bolo pridaných 800 µl lytického roztoku FG1, ktorý je súčasťou komerčnej súpravy E.Z.N.A. Fungal DNA Mini Kit (Omega Bio-Tek, USA). Vzorky sa inkubovali pri 65 °C počas 10 minút. Následne bola DNA izolovaná podľa postupu uvedeného v návode súpravy E.Z.N.A.® Fungal DNA Mini Kit (Omega Bio-Tek, USA). Získaný supernatant bol použitý ako zdroj DNA v PCR reakciách. Výťažnosť izolácie pomocou jednotlivých postupov a čistota získanej DNA bola detegovaná pomocou BioSpec-nano spektrofotometer (SHIMADZU, Austria)

Následne sa izolovaná DNA použila na detekciu gluténu s použitím primerov WBR11 a WBR13, ktoré boli navrhnuté na základe sekvencií dostupných v databáze GenBank-European Laboratory a podľa Olexovej et al. (2006). Výsledný amplifikovaný špecifický fragment DNA má veľkosť 200 bp.

Polymerázová reťazová reakcia bola realizovaná v objeme 20 µl a obsahovala 1 až 10 ng DNA, 0,5 µl z každého primeru (v koncentrácii 10 pmol/µl), 4,0 µl HOT Firepol® BlendMaster Mix (SolisBioDyne, Tartu, Estónsko). Amplifikácia bola vykonaná v termocykleri Techne (Londýn, UK) s počiatočným krokom pri 95 °C po dobu 13 minút. Počiatočná denaturácia bola nasledovaná 30 cyklami s nasledujúcimi krokmi: 95 °C / 20 s; 52 °C / 60 s a 72 °C / 2 minúty. Po 30 cykloch nasledovalo finálne predĺženie pri 72 °C po dobu 10 minút. Po amplifikácii boli vzorky ochladené na 6 °C.

Amplifikované fragmenty DNA sa vizualizovali v agarózovom gély (1,5 %) ofarbenom Nucleic Acid GelRed® (Biotium INC., USA) pomocou UV transiluminácie v zariadení Mini Bis Pro® (DNR Bio-Imaging Systems Ltd., Izrael).

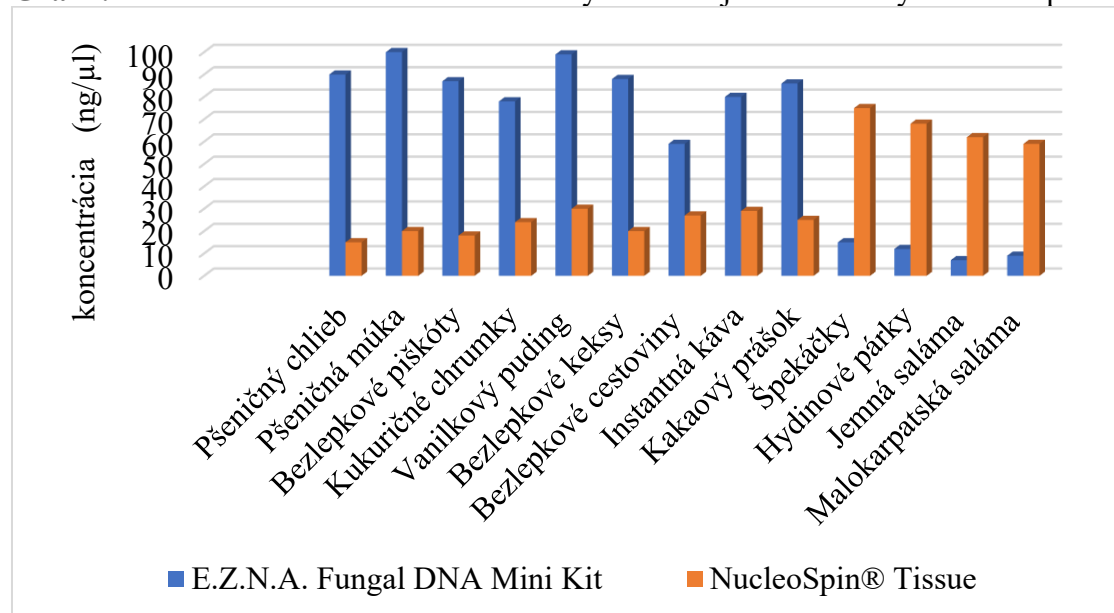
DNA sekvencie získané z amplifikovanej izolovanej DNA boli taktiež porovnávané pomocou programu BLAST (softvérový balík NCBI) so sekvenciami dostupnými v databáze GenBank-EMBL. Ako pozitívne kontroly pre izoláciu a PCR reakciu boli použité vzorky z polohrubej pšeničnej múky a tmavého pšeničného chleba.

Výsledky a diskusia

Metóda PCR sa používa v rôznych oblastiach biologického výskumu a považuje sa za najvýznamnejší objav 80. rokov 20. storočia. Umožňuje selektívne rozmnožiť požadovaný úsek DNA na milión kópií v skúmavke *in vitro*. Pre presnú a rýchlu detekciu gluténu práve metódou PCR je potrebná vysokokvalitná a kompletná DNA vo vhodnej koncentrácii a čo najvyššej čistote, aby sa predišlo falošne negatívnym alebo falošne pozitívnym výsledkom (Borner et al., 1994). Z toho dôvodu, v tejto štúdii bola hodnotená účinnosť dvoch izolačných postupov s využitím komerčných súprav určených na izoláciu DNA – **E.Z.N.A.® Fungal DNA Mini Kit** (OMEGA Bio-tek) a **NucleoSpin® Tissue** (Macherey-Nagel) – na rôznych potravinových

produktoch s cieľom zistiť ich aplikačnú vhodnosť v potravinárskej molekulárnej analýze. Porovnávanie výťažnosti a kvality DNA bolo realizované kvantifikáciou DNA (v ng/μl) a meraním jej čistoty spektrofotometrickou metódou. Ako pozitívne kontroly boli zvolené pšeničný chlieb a pšeničná múka, keďže ide o materiály s dobre dostupnou a kvalitnou DNA rastlinného pôvodu.

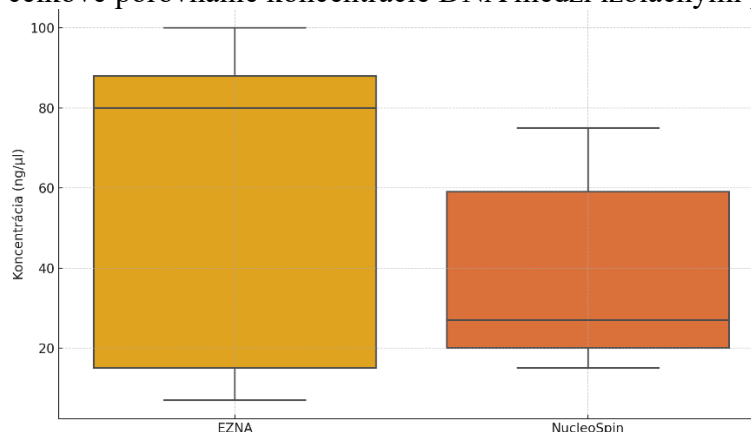
Graf 1. Grafické znázornenie koncentrácií vyizolovanej DNA získaných dvoma postupmi



V prípade modifikovaného postupu s použitím E.Z.N.A.® Fungal DNA Mini Kitu bola zaznamenaná maximálna koncentrácia DNA (90 a 100 ng/μl), čo poukazuje na vysokú efektivitu tejto súpravy pri spracovaní rastlinných polysacharidových potravinových matríc. Naproti tomu, súprava NucleoSpin® Tissue vykázala nižšie hodnoty (15 a 20 ng/μl), aj keď stále v rámci očakávanej detekcie.

Pri skúmaných potravinových vzorkách (bezlepkové produkty, cereálie, puding, káva, kakao, mäsové výrobky) bolo možné pozorovať jasnú diferenciáciu v účinnosti jednotlivých extrakčných postupoch. Izolačný postup s využitím E.Z.N.A.® Fungal DNA Mini Kitu systematicky vykazoval vyššiu výťažnosť DNA najmä vo vzorkách s nižším obsahom tukov a proteínov a vyšším podielom škrobu a cukrov (napr. bezlepkové piškóty, kukuričné chrumky, instantná káva, vanilkový puding).

Graf 2. Grafické celkové porovnanie koncentrácie DNA medzi izolačnými postupmi

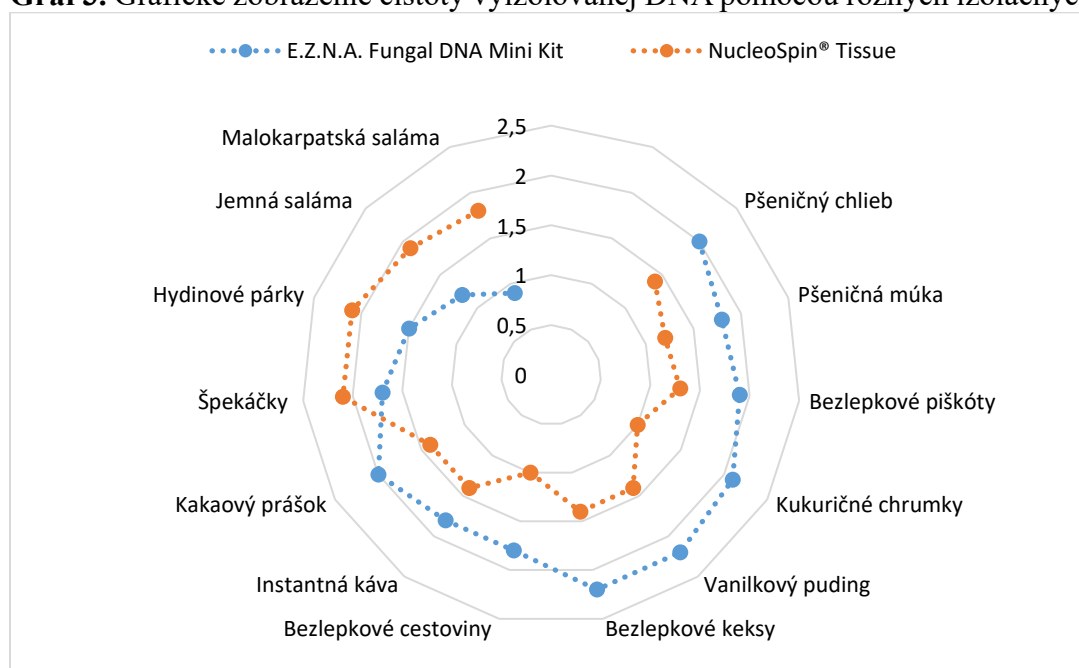


Tabuľka 1. Základné štatistické údaje výťažnosti DNA pri použití dvoch izolačných postupov

Parameter	E.Z.N.A. [®] Fungal DNA Mini Kit	NucleoSpin [®] Tissue
	ng/μl	ng/μl
Priemerná koncentrácia	62,31	36,31
Medián	80,00	27,00
Rozpätie	7 – 100	15 – 75
Smerodajná odchýlka	37,20	21,32

Naopak, v prípade živočíšnych produktov, vykazoval vyššiu extrakčnú účinnosť postup s využitím NucleoSpin[®] Tissue, ktorý poskytol výrazne vyššie koncentrácie DNA. Tento rozdiel možno pripísať lepšiemu rozrušeniu lipidovo-proteínových matric, ktoré sú typické pre mäsové výrobky, a optimalizácii lyzačných podmienok v protokole NucleoSpin[®] Tissue pre živočíšnu tkanivovú hmotu. Pri celkovom hodnotení výťažnosti oboch izolačných postupov priemerná koncentrácia získanej DNA bola vyššia využitím modifikovaného postupu izolácie aj keď medián a rozpätie boli väčšie ako pri druhom izolačnom postupe (graf č. 2 a tabuľka č. 1).

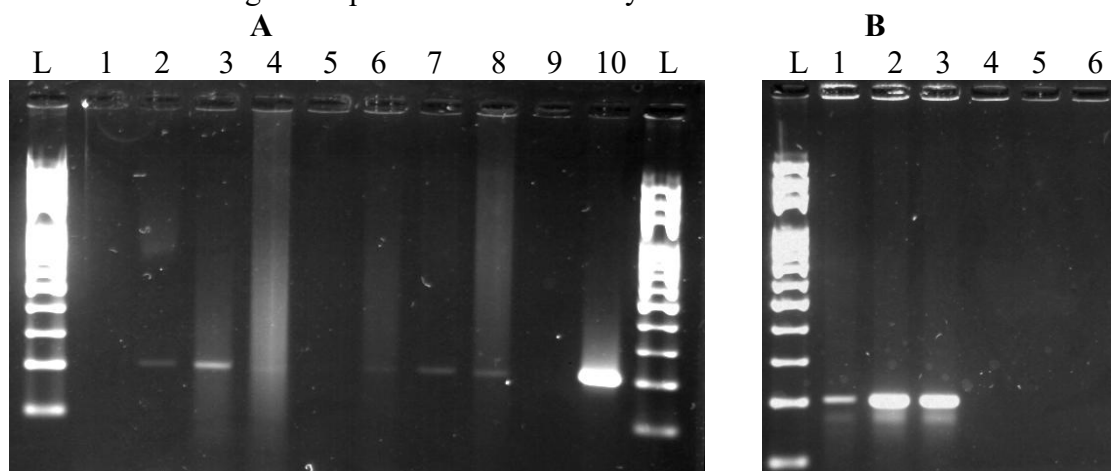
Graf 3. Grafické zobrazenie čistoty vyizolovanej DNA pomocou rôznych izolačných postupov



Pri vyhodnocovaní čistoty získanej DNA, vo väčšine rastlinných vzoriek (napr. bezlepkové piškóty, chrumky, keksy, puding) dosahovala čistota vyššie hodnoty pri použití modifikovaného postupu s využitím E.Z.N.A.[®] Fungal DNA Mini Kito. Naopak, v mäsoových produktoch (napr. špekáčky, hydinové párky, salámy) bola vyššia čistota DNA zaznamenaná pri použití NucleoSpin[®] Tissue kitu. Pozitívne kontroly (pšeničný chlieb a múka) dosiahli vysoké hodnoty pri izolácii pomocou E.Z.N.A.[®] Fungal DNA Mini Kit. Výsledky poukazujú na to, že optimálna čistota DNA závisí nielen od použitého postupu, ale aj od typu potravinovej matrice (graf č. 3).

Na následnú PCR amplifikáciu sa z každej vzorky použila izolovaná DNA, ktorá vykazovala najvyššiu koncentráciu a čistotu. Výsledky PCR metódy odhalili prítomnosť gluténu v zaručene bezpečkových výrobkoch, ale aj v prirodzene bezpečkových potravinách. Išlo najmä o bezpečkové piškóty, bezpečkové sušienky „Brusienky“, kukuričné chrumky, kakaový prášok, instantnú kávu, Jemnú salámu a Malokarpatskú salámu (obrázok č.1). Prítomnosť lepku v týchto vzorkách možno vysvetliť kontamináciou počas ich výroby alebo prítomnosťou „skrytého“ gluténu v prísadách. Ako ukazujú výsledky, detekčný limit metódy PCR je nižší, pretože glutén bol detegovaný aj v potravinách, ktoré boli deklarované ako bezpečkové (t. j. mali lepku menej ako 20 ppm). Metóda je citlivejšia, pretože dokáže detegovať prítomnosť gluténu až do 0,16 ppm, pričom oficiálne používané metódy na kvantifikáciu gluténu v potravinách sa pohybujú od 4 do 5 ppm (Staruch a Mati 2012; Koerner et al., 2013).

Obrázok 1. Detekcia gluténu pomocou PCR metódy



A: L – 100 bp štandarda; dráhy: 1 – negatívna kontrola (voda); 2, 3 – pozitívna kontrola (pšeničný chlieb, pšeničná múka); 4 – bezpečkové piškóty; 5 – vanilkový puding; 6 – kukuričné chrumky; 7 – bezpečkové keksy „Brusienky“; 8 – instantná káva; 9 – bezpečkové cestoviny „Felícia Bio“; 10 – kakaový prášok;

B: L – 100 bp štandarda; Dráha 1 – pozitívna kontrola (pšeničná múka); 2 – Jemná saláma; 3 – Malokarpatská saláma; 4 – Hydínové párky; 5 – Špekáčky; 6 – negatívna kontrola

Dahinden, von Büren a Lüthy (2001) vykonali analýzu gluténu na 15 komerčne zakúpených výrobkoch označených na obale ako „bezpečkový“. Použili PCR reakciu a na porovnanie ELISA metódu. Testovaním sa preukázalo, že 14 produktov spĺňalo požiadavky a 1 vzorka obsahovala viac lepku ako je povolený maximálny limit. Pozitívny výsledok PCR a zároveň negatívny výsledok ELISA testu naznačuje možné pridanie pšeničného škrobu bez gliadínu a naopak možné pridanie gliadínu bez pšenice ako potravinovú prísadu.

Rovnako aj Mati a Staruch (2012) analyzovali 21 vzoriek na prítomnosť gluténu. Jednalo sa o 16 vzoriek bezpečkových mäsových produktov a 5 druhov koreníacich zmesí. Výsledky testovania potvrdili prítomnosť gluténu vo všetkých vzorkách mäsových výrobkov, avšak neboli prekročené maximálne povolené limity. Výnimku tvorila Pečená sekaná, u ktorej bola detegovaná najvyššia hodnota (viac ako 80 ppm). Výrobok bol nesprávne zaradený do kategórie bezpečkových výrobkov, nakoľko sa pri technologickom procese výroby pridával glutén vo forme strúhanky. Pri koreníacich zmesiach sa obsah gluténu potvrdil iba u 1 vzorky, ktorou bola koreníaca zmes Gombasecká. Obsah lepku bol viac ako 12 ppm, čo poukazuje na krížovú kontamináciu u výrobcu pri príprave tejto zmesi.

Zároveň, krížová kontaminácia počas pestovania, zberu alebo spracovania rastlinných komodít je hlavným zdrojom stopových množstiev gluténu v prirodzene bezpečkových rastlinných

potravinách. Rai et al. 2018. Mystkowska et al. (2024) poukazujú, že niektoré bezlepkové múky, napríklad amarantová múka, môžu obsahovať vyššie množstvá lepku (74,9 mg/100 g), čo naznačuje, že aj medzi bezlepkovými produktmi môže byť variabilita v obsahu lepku.

Záver

Monitorovanie prítomnosti gluténu v potravinách je veľmi dôležité, najmä u pacientov s poruchami príjmu potravy súvisiacimi s gluténom. U týchto ľudí sa bezlepková diéta ukázala ako účinná liečba, ale viaceré štúdie uvádzajú, že až 70 % celiatikov nemá napriek prísnej diéte úplne zotavené tenké črevo. Je to spôsobené najmä neúmyselnou konzumáciou stopových množstiev gluténu v potravinách. Preto hlavným prínosom tejto práce bolo optimalizovať postup izolácie DNA gluténu z potravín rastlinného a živočíšneho pôvodu a využitie polymerázovej reťazovej reakcie na detekciu stopových množstiev gluténu v prirodzene bezlepkových aj deklarovaných potravinách. Detekcia stopových množstiev gluténu v bezlepkových výrobkoch poukazuje na prehodnotenie zákonom stanovených limitov koncentrácie gluténu v potravinách, ktoré nazývame bezlepkové, pretože aj stopové množstvá gluténu môžu u citlivých pacientov spôsobiť zdravotné problémy.

Literatúra

- Borner, M. M.; Schneider, E.; Pirnia, F.; Sartor, O.; Trepel, J. B.; Myers, C. E. The detergent Triton X-100 induces a death pattern in human carcinoma cell lines that resembles cytotoxic lymphocyte-induced apoptosis. *FEBS letters*, 1994, vol. 353, no. 2, pp. 129-132.
- Canadian Celiac Association. Gluten-Free Certification Program. 2011, pp. 1–88.
- Catassi, C.; Verdu, E. F.; Bai, J. C.; Lionetti, E. Coeliac disease. *The Lancet*, 2022, no. 10344, pp. 2413-2426.
- Commission Implementing Regulation (EU) No 828/2014 of 30 July 2014 on the requirements for the provision of information to consumers on the absence or reduced presence of gluten in food.
- Dahinden, I.; von Buren, M.; Lüthy, J. A quantitative competitive PCR system to detect contamination of wheat, barley or rye in gluten-free food for coeliac patients. *European Food Research and Technology*, 2001, pp. 228–233.
- El Khoury, D.; Balfour-Ducharme, S.; Joye, I. J. A review on the gluten-free diet: Technological and nutritional challenges. *Nutrients*, 2018, vol. 10, p. 1410.
- FAO/WHO. *Codex Alimentarius* Commission. Standard for Foods for Special Dietary Use for Persons Intolerant to Gluten. 2008.
- Slovak Standards Institute. ISO 21415: 2006. Wheat and wheat flour. Gluten content. Bratislava: 2006.
- Koerner, T. B.; Abbott, M.; Godefroy, S. B.; Popping, B.; Yeung, J. M.; Diaz-Amigo, C.; Koehler, P. Validation procedures for quantitative gluten ELISA methods: AOAC allergen community guidance and best practices. *Journal of AOAC International*, 2013, vol. 96, pp. 1033-1040.
- Lorenz, T. C. Polymerase Chain Reaction: Basic Protocol Plus Troubleshooting and Optimization Strategies. *Journal of Visualized Experiments*, 2012, no. 63, e3998.
- Madesis, P.; Ganopoulos, I.; Sakaridis, I.; Argiriou, A.; Tsaftaris, A. Advances of DNA-based methods for tracing the botanical origin of food products. *Food Research International*, 2014, vol. 60, pp. 163-172.
- Makovicky, P.; Makovicky, P.; Caja, F.; Rimarova, K.; Samasca, G.; Vannucci, L. Celiac disease and gluten-free diet: past, present, and future. *Gastroenterology and Hepatology from Bed to Bench*, 2020, vol. 13, no. 1, p. 1.
- Mati, M.; Staruch, L. Monitoring of a gluten content in selected meat products from three biggest meat producers in Slovakia. *Potravinárstvo*, 2012, vol. 6, pp. 30–33.
- Meleo-Erwin, Z.; Basch, C. H.; Fera, J.; Smith, B. Celiac disease: the use of Instagram in contending with chronic illness. *Journal of Consumer Health on the Internet*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 35–42.
- Mystkowska, I.; Plažuk, E.; Szepeluk, A.; Dmitrowicz, A. Gluten-containing flours and gluten-free flours as a source of calcium, magnesium, iron and zinc. *Scientific Reports*, 2024, vol. 14, no. 1, p. 14643.
- Pagano, A. E. The gluten-free vegetarian. *Practical Gastroenterology*, 2007, vol. 31, pp. 94.
- Rai, S.; Kaur, A.; Chopra, C. S. Gluten-free products for celiac susceptible people. *Frontiers in Nutrition*, 2018, vol. 5, p. 116.
- Raymond, N.; Heap, J.; Case, S. The gluten-free diet: an update for health professionals. *Practical Gastroenterology*, 2006, vol. 30, pp. 67.
- Staruch, L.; Mati, M. Monitoring of a gluten content in selected meat products from three biggest meat producers in Slovakia. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2012, vol. 6, pp. 30-33.
- Šmídová, Z.; Rysová, J. Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology. *Foods*, 2022, vol. 11, p. 480.

Unsold, M.; Beyermann, B.; Brandt, P.; Hiesel, R. Identification of the species origin of highly processed meat products by mitochondrial DNA sequences. *Genome Research*, 1995, vol. 4, pp. 241–243.

Kontaktné adresy autorov:

Regecová Ivana, Katedra hygieny, technológie a bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovensko; E-mail: ivana.regecova@uvlf.sk

Výrostková Jana, Katedra hygieny, technológie a bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovensko; E-mail: jana.vyrostkova@uvlf.sk

Dančová Nikola, Katedra verejného veterinárskeho lekárstva a welfare zvierat, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovensko; E-mail: nikola.dancova@uvlf.sk

Bertová Daniela, Katedra hygieny, technológie a bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovensko; E-mail: daniela.bertova@uvlf.student.sk

KOLORIMETRICKÉ PARAMETRE PÁRKOV V ZÁVISLOSTI OD PRIDANEJ POTRAVINOVEJ VLÁKNINY A DOBY SKLADOVANIA

COLORIMETRIC PARAMETERS OF SAUSAGES AS A FUNCTION OF ADDED DIETARY FIBRE AND STORAGE TIME

Anna Reitznerová, Lýdia Mesarčová, Matúš Várady, Martin Bartkovský, Slavomír Marcinčák

Abstract: The aim of this work was to observe the effect of different types of fibre and storage time on the chemical composition and colorimetric parameters of experimentally produced sausages. The results showed statistically significant differences ($p < 0.01$ to $p < 0.001$) between samples as well as between storage days in all parameters observed. The addition of psyllium fiber had the most significant effect on water content. In contrast, the addition of bamboo fiber did not lead to an increase in fat or protein content. The greatest changes in colorimetric parameters were observed when apple fiber was used, while bamboo fiber caused only minimal changes in the color of the products.

Keywords: sausages, colorimetric parameters, psyllium, bambo fibre, apple fiber

Úvod

Potravinová vláknina je v strave súčasného človeka zastúpená v nedostatočnom množstve. Priemerný príjem vlákniny sa pohybuje medzi 12 – 15 g denne, pričom odporúčaná denná dávka pre dospelú populáciu je 25 – 30 g. Prídavkom vlákniny do mäsových výrobkov sa môžu významne zlepšiť technologické, funkčné a senzorické vlastnosti týchto produktov. Okrem toho, jej prídanie môže prispieť k zvýšeniu výživovej hodnoty mäsových výrobkov, napríklad nahradením časti tuku, a tým aj k zvýšeniu podielu požadovanej dennej dávky vlákniny pre pravidelných konzumentov mäsových produktov. Takáto stratégia môže prispieť k vyváženějšímu stravovaniu a zlepšeniu zdravotného stavu jednotlivcov, ktorí pravidelne konzumujú mäsové výrobky.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Mäso je bohatým zdrojom esenciálnych aminokyselín, mastných kyselín, vitamínov a minerálov, no neobsahuje vlákninu. Vláknina je základnou nestráviteľnou sacharidovou zložkou, ktorá zohráva kľúčovú úlohu v normálnych fyziologických a biochemických procesoch (Mishra et al., 2023; Talukder, 2015). Dôvodom pre prídanie vlákniny do mäsových výrobkov môže byť náhrada syntetických prídavných látok (dusitany a polyfosfáty) alebo náhrada nasýtených tukov. Začlenenie do mäsových výrobkov má potenciál znížiť kalorickú hodnotu produktu, čo môže prispieť k regulácii hmotnosti (Kim a Paik, 2012). Vláknina má významný vplyv na podporu zdravia čriev – pozitívne ovplyvňuje na rast prospešnej črevnej mikrobioty a chráni sliznicu hrubého čreva. Jej dostatočný príjem môže znížovať riziko rakoviny hrubého čreva, obezity, kardiovaskulárnych ochorení a zlepšiť metabolizmus glukózy a lipidov (Biswas et al., 2011; Han et al., 2023). Rastlinná vláknina taktiež zohráva významnú úlohu pri vývoji funkčných potravín. Podľa Roberfroida (2007) je potravinová považovaná za funkčnú vtedy, ak je preukázané, že priaznivo ovplyvňuje jednu alebo viacero funkcií v ľudskom tele nad rámec základných výživových účinkov, a to spôsobom, ktorý je relevantný pre zlepšenie zdravia alebo zníženie rizika ochorenia. Funkčné potraviny môžu byť obohatené o bioaktívne zložky, ako sú karotenoidy, steroly, nenasýtené mastné kyseliny (napríklad omega-3) a diétna vláknina, ktoré prispievajú k podpore celkového zdravia. V mäsovom

priemysle sa vlákna uplatnila pri zlepšení textúry výrobkov, zvýšení výživovej hodnoty, redukcii strát počas varenia a zlepšení chuti (Pame et al., 2021). Podľa vyhlášky Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky týkajúcej sa mäsových výrobkov nie je povolené pridávať vlákninu do trvanlivých mäsových výrobkov, ktoré nie sú tepelne spracované, ani do šunky špeciál a šunky výberovej. Vo vedeckých prácach sa uvádza, že vlákna sa najčastejšie pridáva do klobás, párkov, salám, mäsových guliek a karbonátok. Hlavne sa jedná o vlákninu pochádzajúcu z obilia (pšenica, ovos, raž, ryža), strukovín (sója, hrach), ovocia a zeleniny, ako aj z ďalších zdrojov, ako je pektín, karagenan alebo inulín (Haque et al., 2023; Kim, Paik, 2012).

Materiál a metódy

V rámci pokusu boli analyzované vzorky párkov frankfurtského typu, ktoré boli vyrobené v technologickej dielni UVLF v Košiciach. Párky boli vyrobené podľa tradičnej receptúry s prídavkom rastlinnej (bambusovej, jablčnej, psylliumovej) vlákniny. Experimentálne vzorky párkov boli označené nasledovne: K – kontrolná skupina párkov bez prídavku rastlinnej vlákniny, vzorka B – párky s prídavkom 2 % bambusovej vlákniny (Naturmind, Čína), vzorka J – párky s prídavkom 2 % jablčnej vlákniny (Naturmind, Nemecko) a vzorka P – párky s prídavkom 2 % psylliumovej vlákniny (Naturmind, India). Analýza chemického zloženia a kolorimetrických parametrov pokusných vzoriek párkov bola vykonaná na 1. a 7. deň skladovania (v chladničke pri teplote $4 \pm 2^\circ\text{C}$, balené v igelitovom vrecku).

Chemické zloženie experimentálnych vzoriek párkov (voda, tuk, bielkoviny a popoloviny) bolo stanovené pomocou blízkej infračervenej spektroskopie nedeštruktívnou metódou, a teda bez potreby chemickej úpravy vzoriek na TANGO FT-NIR spektrofotometri (Bruker, Germany) s rozlíšením 16 cm^{-1} , časom merania 64 skenov.

Kolorimetrické parametre L^* a^* b^* párkov boli stanovené kolorimetricky, prístrojom Chroma meter CR-410 (Konica Minolta, Japonsko, meracia plocha $\varnothing 50\text{ mm}$, osvetlenie D65, štandardný pozorovací uhol 2°). Kolorimetrické parametre analyzovaných vzoriek boli vyjadrené vo farebnom priestore CIE $L^*a^*b^*$. Hodnota L^* predstavuje svetlosť (0 – čierna až 100 – biela), a^* (intenzita červenej (+)/zelenej (-)), b^* (intenzita žltej (+)/modrej (-)). Výsledky kolorimetrických parametrov boli spracované v programe Color Data Software CM-S100w SpectraMagic™ NX (Konica Minolta, Japonsko).

Dáta boli analyzované pomocou GraphPad Prism 10.4.1 (627) 2024 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA, USA), s použitím dvojcestnej analýzy variácie (ANOVA). Model zahŕňal vplyv vlákniny a vplyv tepelného opracovania. Individuálne rozdiely sa určili pomocou Tukeyho post-testu s viacnásobným porovnaním a rôzne písmená (a,b,c,d) v stĺpci označujú významné rozdiely $p < 0,05$.

Výsledky a diskusia

Chemické zloženie vzoriek experimentálne pripravených párkov s prídavkom potravinovej vlákniny je uvedené v tabuľke 1. Analýzou chemického zloženia sa zistil najvyšší podiel vody vo vzorke P (psylliumová vlákna) v 1. deň skladovania (68,28%), čo môže byť spôsobené jej vysokou schopnosťou viazať vodu (Haque et al., 2020). V tejto vzorke došlo počas skladovania k poklesu obsahu vody o 3,13 %. Prídavok vlákniny ovplyvnil aj ostatné vzorky, kde podiel vody mierne vzrástol, s najvýraznejším nárastom vo vzorke K.

Na začiatku skladovania bol najnižší podiel tuku zistený vo vzorke B (11,16 %) a najvyšší vo vzorke J (12,05 %). Na 7. deň vzorky s prídavkom rastlinnej vlákniny vykazovali len malé zmeny v obsahu tuku. Obsah bielkovín vo vzorkách B, J a P bol na 1. deň skladovania porovnateľný s kontrolnou skupinou. Najvyšší obsah bielkovín bol zaznamenaný vo vzorke P (13,88 %) a najnižší vo vzorke B (12,87 %) na 7. deň skladovania. Vzorky s vlákninou (P, J) mali vyšší obsah popolovín ako kontrolná vzorka (K) na 1. deň skladovania. Po 7 dňoch sa

tento trend zachoval, pričom najvyšší obsah popolovín bol vo vzorkách K (2,44 %) a P (2,53 %). Mishra et al. (2023) vo svojej práci uvádzajú, že chemické zloženie mäsových výrobkov je výrazne ovplyvnené typom pridanej vlákniny a použitou koncentráciou, čo sa zhoduje s nami získanými výsledkami.

Tabuľka 1. Chemické zloženie experimentálnych párkov s prídavkom potravinovej vlákniny na 1. a 7. deň skladovania

<i>Vzorka</i>	<i>Voda (%)</i>	<i>Tuk (%)</i>	<i>Bielkoviny (%)</i>	<i>Popoloviny (%)</i>
1. deň skladovania				
K	65,78 ± 0,06 ^a	11,36 ± 0,04 ^b	13,19 ± 0,09 ^{abc}	2,63 ± 0,03 ^c
B	66,00 ± 0,09 ^{abc}	11,16 ± 0,05 ^a	13,03 ± 0,05 ^a	2,45 ± 0,02 ^b
J	65,85 ± 0,13 ^{ac}	12,05 ± 0,04 ^c	13,22 ± 0,09 ^c	2,29 ± 0,02 ^a
P	68,28 ± 0,04 ^b	11,41 ± 0,09 ^b	13,10 ± 0,05 ^a	2,60 ± 0,04 ^c
7. deň skladovania				
K	66,27 ± 0,05 ^b	11,95 ± 0,05 ^{bcd}	13,34 ± 0,05 ^b	2,44 ± 0,02 ^b
B	66,13 ± 0,07 ^b	11,50 ± 0,07 ^a	12,87 ± 0,05 ^a	2,38 ± 0,03 ^b
J	66,10 ± 0,07 ^b	11,85 ± 0,05 ^c	13,60 ± 0,07 ^c	2,29 ± 0,05 ^a
P	65,16 ± 0,07 ^a	11,83 ± 0,05 ^{b,c}	13,88 ± 0,08 ^d	2,53 ± 0,03 ^c
p-vláknina	< 0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p-skladovanie	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

K – kontrolná skupina párkov bez prídavku rastlinnej vlákniny; B – párky s prídavkom bambusovej vlákniny; J – párky s prídavkom jablčnej vlákniny; P – párky s prídavkom psylliumovej vlákniny; p-vláknina: p hodnota pre hlavný faktor štatistickej analýzy vplyv prídavku vlákniny; p-skladovania: p hodnota pre hlavný faktor štatistickej analýzy vplyv doby skladovania. Priemery zdieľajúci zhodný horný index v stĺpci, nie sú vzájomne štatisticky významné (Tukeyho test, $p < 0,05$).

Namerané hodnoty jednotlivých parametrov L*, a*, b* sú uvedené v tabuľke č. 2. Pridanie rastlinnej vlákniny ovplyvnilo všetky sledované parametre a bola preukázaná výrazná štatistická významnosť v závislosti od druhu pridanej rastlinnej vlákniny ($p < 0,001$) a od doby skladovania ($p < 0,001$) v experimentálnych vzorkách párkov. Na 1. deň skladovania mala najvyššiu hodnotu L* (svetlosť) kontrolná vzorka. Najtmavšie párky, teda s najnižšou hodnotou L*, boli s prídavkom jablčnej vlákniny, čo pravdepodobne súvisí s jej prirodzene tmavohnedou farbou. Podobné výsledky uviedli aj iní autori po použití jablčnej vlákniny do sekanej a kuracích burgerov (Ribeiro et al., 2023; Huber et al., 2016). Kolorimetrický parameter a* dosiahol najvyššiu hodnotu vo vzorke P (s prídavkom psylliumovej vlákniny) na 1. deň skladovania, čo naznačuje intenzívnejší odtieň v porovnaní s ostatnými vzorkami. Tento trend pretrvával aj na 7. deň skladovania - vzorka P si zachovala najvyššiu hodnotu a*. Kumar et al. (2015) uvádzajú, že vyššie hodnoty parametra a*, teda smerujúce k červenej farbe, sú v mäsových výrobkoch očakávané a žiaduce, pretože zvyšujú ich senzorickú atraktivitu. Vzorky B (s bambusovou vlákninou) a J (jablčnou vlákninou) vykazovali nižšie hodnoty a*, čo

znamená menej výrazný červený odtieň. Na 1. a 7. deň skladovania vykazovala vzorka J najvyššiu hodnotu b^* , čo naznačuje vyšší stupeň žltého odtieňa v porovnaní s ostatnými vzorkami. Nami získané výsledky podporujú tvrdenie Biswas et al. (2011), že potravinová vláknina môže vďaka svojim fyzikálno-chemickým vlastnostiam zlepšiť farbu, textúru a senzorické vlastnosti výrobkov, a to aj nad rámec svojich nutričných benefitov. Meranie kolorimetrických parametrov L^* , a^* a b^* preukázalo výraznú štatistickú významnosť v závislosti od použitého druhu pridanej rastlinnej vlákniny ($p < 0,001$) v experimentálnych vzorkách párkov a od doby skladovania ($p < 0,001$).

Tabuľka 2. Kolorimetrické parametre (L^* , a^* , b^*) experimentálnych párkov s prídavkom potravinovej vlákniny na 1. a 7. skladovania

<i>Vzorka</i>	<i>$L^*(D65)$</i>	<i>$a^*(D65)$</i>	<i>$b^*(D65)$</i>
<i>1.deň skladovania</i>			
K	$65,50 \pm 0,09^d$	$9,18 \pm 0,03^c$	$8,18 \pm 0,08^a$
B	$65,25 \pm 0,08^c$	$9,15 \pm 0,08^b$	$8,20 \pm 0,11^a$
J	$61,99 \pm 0,07^a$	$8,82 \pm 0,04^a$	$10,32 \pm 0,06^c$
P	$64,27 \pm 0,06^b$	$9,68 \pm 0,05^d$	$8,57 \pm 0,05^b$
<i>7.deň skladovania</i>			
K	$64,38 \pm 0,06^d$	$9,70 \pm 0,04^c$	$8,50 \pm 0,05^a$
B	$64,01 \pm 0,06^c$	$9,54 \pm 0,02^b$	$8,37 \pm 0,04^b$
J	$61,63 \pm 0,06^a$	$8,96 \pm 0,02^a$	$10,52 \pm 0,05^c$
P	$62,21 \pm 0,04^b$	$9,85 \pm 0,04^d$	$8,56 \pm 0,06^a$
<i>p-vláknina</i>	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$
<i>p-skladovania</i>	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$

K – kontrolná skupina párkov bez prídavku rastlinnej vlákniny; B – párky s prídavkom bambusovej vlákniny; J – párky s prídavkom jablčnej vlákniny; P – párky s prídavkom psylliumovej vlákniny; p-vláknina: p hodnota pre hlavný faktor štatistickej analýzy vplyv prídavku vlákniny; p-skladovania: p hodnota pre hlavný faktor štatistickej analýzy vplyv doby skladovania. Priemery zdieľajúci zhodný horný index v stĺpci, nie sú vzájomne štatisticky významné (Tukeyho test, $p < 0,05$).

Záver

Na základe výsledkov experimentu možno konštatovať, že prídavok rastlinnej vlákniny do mäsových výrobkov ovplyvňuje ich chemické zloženie a kolorimetrické parametre, pričom každý typ vlákniny má špecifický vplyv na jednotlivé parametre. Párky s psylliumovou vlákninou vykázali najvyšší podiel vody v skúmaných vzorkách, čo možno pripísať jej vysokým schopnostiam viazať vodu. Avšak počas skladovania psyllium nedokázalo udržať naviazanú vodu, čo viedlo k jej strate a negatívne sa to prejavilo na textúre párkov. Párky s jablčnou vlákninou vykazovali najvýraznejší farebný rozdiel oproti ostatným experimentálnym párkom, čo sa prejavilo najnižšou hodnotou svetlosti a najintenzívnejším žltým odtieňom.

Psylliumová vláknina prispela k zvýrazneniu červeného odtieňa výrobkov. Naopak, bambusová vláknina nemala významný vplyv na farebné parametre.

Literatúra

- Biswas, A.K., Kumar, V., Bhosle, S., Sahoo, J., Chatli, M.K. (2011): Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health. *Int J Livest Prod.* 2011;2:45–54.
- Han, X., Ma, Y., Ding, S., Fang, J., Liu, G. (2023): Regulation of dietary fiber on intestinal microorganisms and its effects on animal health. *Animal Nutrition.* (2023) 14:356–69.
- Talukder, S. (2015): Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 55(7):1005-11.
- Haque, A., Ahmad, S., Khan, I. (2020): Incorporation of Food Materials as a Source of Dietary Fibres and Natural Antioxidants in Meat Products and their Effect on Product Quality and Human Health: A Mini Review. *Journal of Buffalo Science*, 2020, 9, 76-83.
- Huber, E., Francio, D.L., Biasi, V., Mezzomo, N., Ferreira, S.R.S. (2016). Characterization of vegetable fiber and its use in chicken burger formulation. *Journal of Food Science and Technology*, 53 (7), 3043-3052.
- Kim, H.J., Paik, H.D. (2012): Functionality and application of dietary fiber in meat products. *Korean J Food Sci Anim.* 32:695–705.
- Kumar, Y., Yadav, D.N., Ahmad, T., Narsaiah, K. (2015): Recent trends in the use of natural antioxidants for meat and meat products. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 14(6):796–812.
- Mishra, B.P., Mishra, J., Paital, B., Rath, P.K., Jena, M.K., Reddy, B.V.V., Pati, P.K., Panda, S.K., Sahoo, D.K. (2023): Properties and physiological effects of dietary fiber-enriched meat products: a review. *Front Nutr.* Nov 30;10:1275341.
- Pame, K., Daimary, B., Borah, S. (2022). Utilization of dietary fibre in meat products as functional foods. *International Journal of Agriculture, Environment and Biology.* 15(01), 147-151.
- Ribeiro, W.O., Ozaki, M.M., dos Santos, M., Rodríguez, A.P., Soares de Castro, R.J., Sato, H.H., Campagnol, P.C.B., Pollonio, M.A.R. (2023). Improving the textural and nutritional properties in restructured meat loaf by adding fibers and papain designed for elderly. In *Food Research International.* 165, 112539.
- Roberfroid, M.B. 2007. Inulin-type fructans: functional food ingredients. *The Journal of Nutrition*, 137, 11, 2493–2502S.
- Talukder, S. Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a review. (2015): *Crit Rev Food Sci Nutr.* 55(7):1005-11.
- Vyhláška č. 83/2016 Z.z. Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky zo 14. januára 2016 o mäsových výrobkoch.

Kontaktné adresy autorov:

MVDr. Anna Reitznerová, PhD.; MVDr. Lýdia Mesarčová, PhD.; Mgr. Matúš Várady, PhD.; Mgr. Martin Bartkovský, PhD.; prof. MVDr. Slavomír Marcincák, PhD. Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika. E-mail: anna.reitznerova@uvlf.sk, lydia.mesarcova@uvlf.sk, martin.bartkovsky@uvlf.sk, slavomir.marcincak@uvlf.sk.

VPLYV SKRMOVANIA HUMÍNOVÝCH LÁTKO A PROBIOTÍK NA KVALITU PRSNEJ A STEHENNEJ SVALOVINY BROJLEROVÝCH KURČIAT

EFFECT OF FEEDING HUMIC SUBSTANCES AND PROBIOTICS ON THE QUALITY OF BREAST AND THIGH MUSCLES OF BROILER CHICKENS

Anna Reitznerová, Lýdia Mesarčová, Beáta Koréneková, Erika Nosková, Martin Bartkovský, Martin Faldyna, Boris Semjon, Jozef Nagy, Slavomír Marcinčák

Abstract: The aim of the study was to evaluate the effect of humic substances and probiotics on the chemical composition of muscle and sensory properties of broiler chicken meat. After application of humic substances, fat content increased and protein content decreased in the breast muscle, which was not reflected in the thigh muscle. Probiotics increased fat content in the breast muscle and decreased fat and increased protein in the thigh muscle. Sensory evaluation showed an improvement in tenderness and overall meat acceptability with no significant changes in colour, flavour or juiciness.

Keywords: feed, humic substances, probiotics, breast meat, leg meat

Úvod

Použitie humínových látok v kŕmnej dávke brojlerových kurčiat predstavuje sľubnou alternatívou k antibiotickým rastovým stimulátorom. Ich aplikácia vedie k zlepšeniu zdravotného stavu, vyššej jatočnej výťažnosti a najmä k zlepšeniu kvality mäsa a bezpečnosti potravín. Rovnako aj probiotiká vykazujú široké spektrum pozitívnych účinkov - od podpory rastu až po ochranu zdravia čriev a zvýšenie kvality mäsa. V podmienkach chovu bez použitia antibiotík zohrávajú kľúčovú úlohu v prevencii ochorení a podpore celkovej vitality zvierat.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Od roku 2006 Európska únia (na základe smernice 1831/2003/ES) zakázala používanie antibiotík ako rastových stimulátorov v chove hospodárskych zvierat, vrátane hydiny. Od roku 2022 platí aj zákaz profylaktického používania antibiotík, a to v dôsledku narastajúceho výskytu baktérií rezistentných voči antibiotikám, akumulácie ich rezíduí v živočíšnych produktoch a rizika prenosu rezistentných kmeňov zo zvierat na človeka prostredníctvom potravinového reťazca (Staneček et al., 2011). To viedlo k intenzívnemu výskumu a hľadaniu účinných alternatív k antibiotikám. Predmetom záujmu sa stali extrakty z rôznych korenín, bylín, fermentované krmivo a humínové látky (Skalická et al., 2019; Arif et al., 2019) a kŕmne doplnkové látky (prebiotiká, probiotiká, organické kyseliny, atď.) za účelom zlepšenia zdravia a rastu brojlerových kurčiat (Jha et al., 2020). Humínové látky boli Európskou komisiou klasifikované ako kŕmne produkty, ktoré sa môžu používať vo výžive zvierat. Bol potvrdený ich pozitívny vplyv na zdravotný stav a produkčné ukazovatele brojlerových kurčiat. Ich doplnenie do krmiva podporuje trávenie, imunitu, zlepšuje konverziu krmiva a vedie k produkcii kvalitnejšieho mäsa s priaznivejším chemickým zložením (Marcinčák et al., 2023). Probiotiká sú efektívna a bezpečná alternatíva k antibiotikám v chove hydiny. Ich účinok závisí od výberu kmeňa, dávky a spôsobu podávania (Halder et al., 2024). Probiotiká – živé mikroorganizmy (napr. *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*) podporujú trávenie, zvyšujú absorpciu živín a tým zvyšujú produktivitu rastu a kvalitu mäsa (Yaqoob et al., 2022).

Pre významný vplyv humínových látok a probiotík na zdravie brojlerových kurčiat a ako novej alternatívy za antibiotiká, bolo cieľom experimentu zhodnotiť vplyv podávania probiotík vo vode a humínových látok v krmive brojlerových kurčiat na chemické zloženie a senzoričné hodnotenie prsnej a stehennej svaloviny získanej z pokusných brojlerových kurčiat.

Materiál a metódy

V experimente bola analyzovaná prsná a stehenná svalovina brojlerových kurčiat. Pre tento účel bolo chovaných 160 kusov brojlerových kurčiat (mäsový hybrid, COBB 500). Jednodňové kurčatá boli privezené priamo od dodávateľa (Hydina Slovensko s.r.o.) a rovnomerne rozdelené do štyroch skupín po 40 kusov. Všetky skupiny boli kŕmené dvakrát denne rovnakými priemyselne vyrábanými kŕmnymi zmesami BR1 (1. – 10. deň), BR2 (11. – 30. deň) a BR3 (31. – 37. deň). Kurčatá mali prístup k vode *ad libitum*.

Kontrolnej skupine (K) boli podávané len základné kŕmne zmesi (KZ). V prvej experimentálnej skupine (P) bol od 1. dňa výkrmu vo vode podávaný probiotický kmeň *Lactobacillus fermentum* 2I3 v dávke 1ml na kura denne. Druhej experimentálnej skupine (H) boli do KZ pridávané humínové látky v dávke 0,6 % vo forme prípravku Humac Natur AFM Mycotoxisorb (Humac s.r.o., Košice), pričom o rovnaké množstvo bolo znížené množstvo KZ. V tretej experimentálnej skupine (HP) boli kurčatám vo vode podávané probiotiká (*Lactobacillus fermentum*; 1 ml/kurča/deň) a zároveň boli do krmiva pridávané humínové látky (Humac Natur AFM Mycotoxisorb; 0,6 %), pričom o uvedené množstvo bolo znížené množstvo KZ. Kurčatá boli jatočne opracované na 38. deň výkrmu.

Jednotlivé vzorky prsnej a stehennej svaloviny boli analyzované 24 hodín po zabití a skladované v chladiacej komore pri teplote 4 ± 2 °C. Fyzikálno-chemická analýza experimentálnych vzoriek prsnej a stehennej svaloviny bola vykonaná podľa metód AOAC (1990). Experimentálne vzorky prsnej a stehennej svaloviny boli podrobené senzoričkej analýze, ktorá bola vykonaná v Špecializovanom senzoričkom laboratóriu na Inštitúte vzdelávania veterinárnych lekárov v Košiciach, ktoré je zriadené podľa všeobecného plánu na usporiadanie senzoričných pracovísk (ISO 8589, 2007). Senzoričný panel tvorilo 5 poučených hodnotiteľov vo veku od 28 do 50 rokov, ktorí mali dostatočné praktické skúsenosti s hodnotením hydínového mäsa. Pri zostavovaní protokolu pre posudzovanie experimentálnych vzoriek prsnej svaloviny kurčiat sa vychádzalo z metodiky autorov Lawless a Heymann (2010). Protokol pozostával z 9-bodovej hedonickej stupnice na hodnotenie farby, vône, šťavnatosti, krehkosti a celkovej prijateľnosti vzoriek, kde hodnoty znamenali: 1 - veľmi zlý/á, 2 - zlý/á, 3 - menej chutný/á, 4 - neuspokojivý/á, 5 - priemerný/á, 6 - uspokojivý/á, 7 - chutný/á, 8 - dobrý/á, 9 - veľmi dobrý/á.

Štatistická analýza bola vykonaná v štatistickom programe Graph Pad Prism 9.0 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA). Výsledky z jednotlivých analýz boli vyjadrené ako priemery a smerodajná odchýlka (SD) zo šiestich meraní. Za štatisticky významnú hladinu významnosti bola zvolená hodnota $p < 0,05$.

Výsledky a diskusia

Základnými zložkami tela hydiny sú voda, bielkoviny a tuky, pričom v menšom množstve sa vyskytujú nebielkovinové zlúčeniny, kreatín, nízko molekulové peptidy, voľné aminokyseliny (Nagy et al., 2011). Priemerné hodnoty týchto základných zložiek prsnej a stehennej svaloviny experimentálnych skupín brojlerových kurčiat sú uvedené v tabuľke 1. Obsah vody v prsnej a stehennej svalovine sa pohyboval na úrovni 74 %. Aplikácia humínových látok a probiotík vyvolala štatisticky významné rozdiely iba v obsahu bielkovín stehennej svaloviny ($p < 0,05$). V prsnej svalovine bol stanovený tuk v rozmedzí 0,84 – 1,61 %. Vyššie hodnoty tuku sa zistili v experimentálnych skupinách po aplikácii probiotík *Lactobacillus fermentum* 2I3

a humínových látok. V stehennej svalovine bol obsah tuku vyšší než v prsnej svalovine, čo súvisí s rozdielnou funkciou a štruktúrou týchto svalov. Najnižšie hodnoty tukov boli stanovené v experimentálnej skupine P, ktorá mala prídavok probiotík. Priemerné hodnoty bielkovín v prsnej svalovine boli v rozsahu 21,71 – 22,61 % a v stehennej svalovine 18,41 – 19,39 %. Vyšší obsah bielkovín v stehennej svalovine bol stanovený v skupine, kde bol do vody aplikovaný probiotický kmeň.

Marcinčák et al. (2023) uvádzajú, že po skrmovaní humínových látok dochádza k zníženiu obsahu tuku a zvýšeniu obsahu bielkovín v prsných svaloch, čo sa nezhoduje s nami získanými výsledkami. V našom pokuse boli v prsnej svalovine stanovené nižšie hodnoty tuku (0,84 – 1,61 %), ako hodnoty uvádzané Semjonom et al. (2020), ktorí pri skrmovaní 0,8 % a 1,0 % humínových látok v krmive namerali 2,76 %, resp. 2,69 %. Podobne Hudák et al. (2021) zaznamenali obsah tuku 2,28 % pri 0,7 % zastúpení humínových látok v krmive. Jaďuttová (2019) uvádza, že 0,8 % prídavok humínových látok nemal vplyv na obsah tuku a bielkovín stehennej svaloviny, čo korešponduje s našimi výsledkami.

Tabuľka 1. Chemické zloženie prsnej a stehennej svaloviny (%) experimentálnych skupín brojlerových kurčiat

	K	P	H	HP	p-hodnota
Prsná svalovina					
voda (%)	74,34 ± 0,82	74,62 ± 0,12	74,96 ± 0,49	74,81 ± 1,14	>0,05
tuk (%)	0,95 ± 0,41	1,61 ± 0,23	1,56 ± 0,70	0,84 ± 0,22	>0,05
bielkoviny (%)	22,61 ± 0,72	22,00 ± 0,35	21,71 ± 0,83	22,52 ± 0,84	>0,05
Stehenná svalovina					
voda (%)	73,89 ± 0,68	74,99 ± 0,63	74,62 ± 0,87	74,03 ± 1,80	>0,05
tuk (%)	6,74 ± 0,67	4,71 ± 1,10	6,44 ± 1,13	5,90 ± 2,09	>0,05
bielkoviny (%)	18,42 ± 0,57 ^b	19,39 ± 0,31 ^a	18,41 ± 0,38 ^b	18,52 ± 0,37 ^{ab}	<0,05

K – kontrolná skupina; P – experimentálna skupina s prídavkom probiotického kmeňa *Lactobacillus fermentum* 213; H – experimentálna skupina s prídavkom humínových látok 0,6 % Humac® Natur AFM Mycotoxisorb; HP – experimentálna skupina s prídavkom humínových látok 0,6 % Humac® Natur AFM Mycotoxisorb a probiotického kmeňa *Lactobacillus fermentum* 213

Kvalita mäsa je ovplyvnená stravou na viac ako 30 % (Haščík et al., 2012) a priamo súvisí so správnou porážkou a jatočným opracovaním v hygienických podmienkach. Pri hodnotení prijateľnosti mäsa a mäsových výrobkov zohráva kľúčovú úlohu zmyslové hodnotenie, ktoré zahŕňa parametre ako farba, vzhľad, vôňa, chuť, šťavnatosť a krehkosť (Yakali, 2022). Výsledky senzorického hodnotenia vzoriek prsnej svaloviny získanej z experimentálnych brojlerových kurčiat sú uvedené v tabuľke 2. Senzorické hodnotenie ukázalo, že vzorky mäsa experimentálnych skupín H a HP boli najlepšie hodnotené z hľadiska celkovej prijateľnosti. Vo všetkých experimentálnych skupinách bola zaznamenaná vyššia krehkosť v porovnaní s kontrolou ($p < 0,001$). Pri hodnotení farby, vône, chuti, šťavnatosti hodnotitelia nezaznamenali štatisticky významné rozdiely medzi vzorkami prsnej svaloviny experimentálnych skupín ($p > 0,05$). Semjon et al. (2020) zaznamenali zlepšené vnímanie kvality prsnej svaloviny po skrmovaní humínových látok v krmive, pričom výrazné zlepšenie chuti mäsa sa prejavilo pri 1,0 % zastúpení humínových látok. Rovnako ako v našom pokuse, ani Čurlej et al. (2015) nezaznamenali výrazné senzorické rozdiely pri 0,6 % humínových látok v krmive, avšak zaznamenali zlepšenie textúry mäsa. Podobne, Akaichi et al. (2022) uvádzajú zlepšenie farby a vône prsnej svaloviny pri 0,1 % podiele humínových látok.

Tabuľka 2. Výsledky senzorického hodnotenia experimentálnych vzoriek prsnej svaloviny brojlerových kurčiat

parameter	K	P	H	HP	P - hodnota
<i>farba</i>	8,00 ± 1,15	8,00 ± 1,56	7,40 ± 1,71	8,10 ± 0,99	>0,05
<i>vôňa</i>	7,80 ± 1,69	7,70 ± 1,16	7,00 ± 0,94	7,90 ± 0,88	>0,05
<i>chuť</i>	7,00 ± 1,41	7,20 ± 1,23	7,10 ± 0,57	7,30 ± 1,25	>0,05
<i>šťavnatosť</i>	5,90 ± 1,29	6,60 ± 1,58	6,10 ± 1,52	6,30 ± 1,16	>0,05
<i>krehkosť</i>	5,90 ± 1,20 ^c	7,70 ± 0,82 ^{ab}	7,00 ± 1,25 ^{cb}	7,90 ± 0,88 ^{a1}	<0,001
<i>celková prijateľnosť</i>	7,50 ± 0,85	7,80 ± 0,63	7,30 ± 1,06	7,70 ± 0,95	>0,05

K – kontrolná skupina; P – experimentálna skupina s prídavkom probiotického kmeňa *Lactobacillus fermentum* 213; H – experimentálna skupina s prídavkom humínových látok 0,6 % Humac® Natur AFM Mycotoxisorb; HP – experimentálna skupina s prídavkom humínových látok 0,6 % Humac® Natur AFM Mycotoxisorb a probiotického kmeňa *Lactobacillus fermentum* 213

V tabuľke 3 sú uvedené výsledky senzorického hodnotenia stehennej svaloviny získanej z experimentálnych brojlerových kurčiat. Na základe hodnotenia sa preukázal štatisticky významný rozdiel vo farbe stehennej svaloviny medzi experimentálnymi skupinami ($p < 0,01$), pričom najnižšie bodové hodnotenie bolo zaznamenané v skupine H. Krehkosť mäsa sa vo všetkých experimentálnych skupinách štatisticky významne líšila od kontrolnej skupiny ($p < 0,01$). V ostatných hodnotených parametroch (vôňa, chuť, šťavnatosť, celková prijateľnosť) neboli medzi jednotlivými hodnotenými skupinami zistené štatisticky významné rozdiely ($p > 0,05$). Pelicano et al. (2003) hodnotili účinok probiotík na senzorické vlastnosti mäsa brojlerových kurčiat a uviedli, že suplementácia probiotík vo vode a v kŕmnej dávke viedla k zlepšeniu kvality mäsa.

Tabuľka 3. Výsledky senzorického hodnotenia experimentálnych vzoriek stehennej svaloviny brojlerových kurčiat

parameter	K	P	H	HP	p - hodnota
<i>farba</i>	7,60 ± 1,17 ^a	7,60 ± 0,84 ^a	6,10 ± 1,37 ^b	7,60 ± 0,97 ^a	<0,01
<i>vôňa</i>	7,00 ± 1,15	7,20 ± 1,14	6,90 ± 1,52	7,30 ± 1,06	>0,05
<i>chuť</i>	7,20 ± 0,63	7,10 ± 1,37	7,30 ± 1,42	7,40 ± 0,97	>0,05
<i>šťavnatosť</i>	6,50 ± 0,85	7,20 ± 1,32	7,10 ± 0,88	7,50 ± 1,08	>0,05
<i>krehkosť</i>	6,20 ± 0,79 ^a	7,00 ± 1,05 ^{ab}	7,60 ± 0,52 ^b	7,40 ± 0,70 ^b	<0,01
<i>celková prijateľnosť</i>	7,20 ± 0,42	7,70 ± 0,95	7,20 ± 1,03	7,60 ± 0,84	>0,05

K – kontrolná skupina; P – experimentálna skupina s prídavkom probiotického kmeňa *Lactobacillus fermentum* 213; H – experimentálna skupina s prídavkom humínových látok 0,6 % Humac® Natur AFM Mycotoxisorb; HP – experimentálna skupina s prídavkom humínových látok 0,6 % Humac® Natur AFM Mycotoxisorb a probiotického kmeňa *Lactobacillus fermentum* 213

Záver

Používanie humínových látok a probiotík ako novej náhrady za antibiotiká podporuje zdravie a rast hydiny a ovplyvňuje chemické zloženie svaloviny brojlerových kurčiat. Po aplikácii humínových látok bol v prsnej svalovine stanovený vyšší obsah tuku a nižší obsah bielkovín, čo sa však neprejavilo v stehennej svalovine. Probiotiká zvýšili obsah tuku v prsnej svalovine, pričom v stehennej svalovine došlo k zníženiu tuku a zároveň k zvýšeniu obsahu bielkovín. Senzorické hodnotenie ukázalo, že prídavok probiotík a humínových látok nemal výrazný

vplyv na farbu, vôňu ani šŕavnatosť mäsa, no zlepšil krehkosť a celkovú prijateľnosť mäsa. Pre ďalší výskum je potrebné skúmať optimálne koncentrácie týchto látok.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja (50 %). Štúdia vznikla aj vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-18-0039 (50 %).

Literatúra

- Akaichi, A., Jebali, A., Benlarbi, M.; Mahjoub, T.; Kaboudi, K., Chaouacha-Chekir, R.B., Haouas, Z., Boudhrioua, N. (2022). Effects of humic acid and organic acids supplements on performance, meat quality, leukocyte count, and histopathological changes in spleen and liver of broiler chickens. *Res. Vet. Sci.* 150, 179–188.
- AOAC. Official Methods of Analysis, 15th ed. (1990). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Arif, M., Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Saeed, M., Arain, M. A., & Elnesr, S. S. (2019). Humic acid as a feed additive in poultry diets: a review. In *Iranian journal of veterinary research*, 20(3), 167–172.
- Yakali, E. (2023). Sensory Analysis In Meat and Meat Products. *International Journal of Agricultural Science*, 8, 27 – 37.
- Čurlej, J., Mellen, M., Marcinčák, S., Belej, L., Židek, R., Čertík, M., Klempová, T. (2015). Impact of additives in broiler nutrition on the quality of breast muscles. In *Folia veterinaria*, 59, 179–184.
- Halder, N., Sunder, J., De, A.K., Bhattacharya, D., Joardar, S.N. (2024). Probiotics in poultry: a comprehensive review. *JoBAZ* 85, 23.
- Haščík, P., Pavelková, A., Arpasová, H., Čuboň, J., Bobko, M., Tkáčová, J., Kačániová, M., Bučko, O. (2019). The profile of fatty acids in chicken meat after humic acid and phytobiotics application, In *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9, 439–444.
- Hudák, M., Semjon, B., Marcinčáková, D., Bujňák, L., Nad', P., Koréneková, B., Nagy, J., Bartkovský, M., Marcinčák, S. (2021). Effect of Broilers Chicken Diet Supplementation with Natural and Acidified Humic Substances on Quality of Produced Breast Meat. In *Animals* (Basel). Apr 10;11(4):1087.
- Jaďuttová, I. Humínové kyseliny ako krmné aditíva a ich vplyv na produkčné zdravie hydiny a kvalitu produkovaného mäsa. Dizertačná práca. UVLF : Košice, 2019, 87.
- Jha, R., Das, R., Oak, S., Mishra, P. (2020). Probiotics (Direct-Fed Microbials) in Poultry Nutrition and Their Effects on Nutrient Utilization, Growth and Laying Performance, and Gut Health: A Systematic Review. In *Animals*. 10, 1863.
- Lawless, H. T. – Heymann, H. Sensory evaluation of food: Principles and practices. 2nd Ed. Springer_Verlag: New York, 2010. p. 596. ISBN 978-1-4419-6487-8.
- Marcinčák, S., Semjon, B., Marcinčáková, D., Reitznerová, A., Mudroňová, D., Vašková, J., Nagy, J. (2023). Humic Substances as a Feed Supplement and the Benefits of Produced Chicken Meat. *Life* (Basel). Apr 1;13(4):927.
- Ozturk, E., Ocak, N., Turan, A., Erener, G., Altop, A., Cankaya, S. (2012). Performance, carcass, gastrointestinal tract and meat quality traits, and selected blood parameters of broilers fed diets supplemented with humic substances. In *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 1, 59–65.
- Semjon, B., Marcinčáková, D., Koréneková, B., Bartkovský, M., Nagy, J., Turek, P., Marcinčák, S. (2020). Multiple factorial analysis of physicochemical and organoleptic properties of breast and thigh meat of broilers fed a diet supplemented with humic substances. In *Poultry Science*. Mar; 99(3):1750–1760.
- Skalická, M., Nad', P., Bujňák, L., Hudák, M. (2019). Effect of humic substances on the mineral composition of chicken meat. In *Anim Husb Dairy Vet Sci*. 3, 2–5.
- Stanačev, V., Glamočić, D., Milošević, N., Puvača, N., Stanačev, V., Plavša, N. (2011). Effect of garlic (*Allium sativum*L.) in fattening chicks nutrition. *African Journal of Agricultural Research*, 6(4), 943–948.
- Yaqoob M, Wang G, Wang M. (2022). An updated review on probiotics as an alternative of antibiotics in poultry. A review. In *Anim Biosci*, 35(8), 1109–1120.

Kontaktná adresa autorov:

MVDr. Anna Reitznerová, PhD.; MVDr. Lýdia Mesarčová, PhD.; MVDr. Beáta Koréneková, PhD.; Mgr. Martin Bartkovský, PhD.; MVDr. Erika Nosková; doc. MVDr. Boris Semjon, PhD.; prof. MVDr. Slavomír Marcinčák, PhD. Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika. E-mail: anna.reitznerova@uvlf.sk,

lydia.mesarcova@uvlf.sk, martin.bartkovský@uvlf.sk, beata.korenekova@uvlf.sk, boris.semjon@uvlf.sk,
slavomír.marcincak@uvlf.sk.

Doc. MVDr. Martin Faldyna, Ph.D., Výzkumný ústav veterinárního lékařství, v. v. i., Brno, Hudcova 296/70, 621
00 Brno, Česká republika. E-mail: martin.faldyna@vri.cz.

ZMENY SENZORICKÝCH VLASTNOSTÍ SYROV CAMEMBERTSKÉHO TYPU VPLYVOM VÁKUOVÉHO BALENIA

THE CHANGES IN SENSORY PROPERTIES OF CAMEMBERT-TYPE CHEESES AS AFFECTED BY VACUUM PACKING

Boris Semjon, Andrea Zavacká, Zuzana Megyesy Eftimová, Jana Zahumenská

Abstract: The aim of this work was to evaluate the effect of vacuum packing of Camembert-type cheeses during a 14-day storage period at refrigerator temperatures 4 ± 2 °C. Sensory panel evaluated cheese samples before and after storage by completing the protocol for a 9-point hedonic evaluation and compiling a sensory profile of the samples. Significant differences in aroma descriptors were found between pre- and post-storage samples for positive buttery ($p < 0.05$) and yoghurt aroma, and negative more intense ammoniacal and pungent aroma in the vacuum-packed cheese samples ($p < 0.001$). Vacuum-packed samples had significantly more intense bitter garlic and ammoniacal flavours after storage, which can be considered as a negative effect of vacuum packing ($p < 0.001$). Based on the more intense negatively rated descriptors in the vacuum-packed cheese samples after storage, 14 days of storage of such cheeses in the absence of atmospheric air cannot be recommended.

Keywords: camembert-type cheese, sensory evaluation, quantitative descriptive analysis

Úvod

Senzorická analýza je vedecká disciplína, ktorá sa zaoberá hodnotením základných zmyslových vlastností potravín, ako sú chuť, vzhľad, vôňa a textúra (Stone et al., 2020). Metóda senzorickej analýzy sa využíva pri kontrole kvality potravinárskych surovín, prídavných látok a hotových výrobkov. Okrem výrobcov potravín je senzorická analýza dôležitou súčasťou hygienického dozoru vykonávaného štátnymi kontrolnými orgánmi (Kinclová et al., 2004). Zohráva hlavne významnú úlohu v potravinárskom priemysle, pretože umožňuje hodnotenie potravín na základe ich zmyslových vlastností, ako sú chuť, vôňa, vzhľad, textúra, a preto predstavuje nevyhnutný nástroj pri kontrole kvality, vývoji nových produktov a zabezpečovaní spotrebiteľskej spokojnosti. Zmyslové hodnotenie sa využíva na identifikáciu nežiaducich odchýlok vo výrobkoch, čím prispieva k udržaniu štandardnej kvality a bezpečnosti potravín (Lawless a Heymann, 2010).

Camembert je mäkký, zrejúci syr s plesňou na povrchu, primárne zrejúci pomocou mikroorganizmov pochádzajúcich z pridaných čistých mliekarenských kultúrach, ktoré zahŕňajú mikroskopické vláknité huby, hlavne *Penicillium camemberti*. Má tvar plochého valca alebo jeho sektorov. Syrové cesto má takmer bielu až svetložltú farbu a pri stlačení palcom je mäkké, ale nie drobivé. Zrenie prebieha od povrchu smerom do stredu syra. Plynové dutinky sa vo vnútri zvyčajne nevyskytujú, ale niekoľko otvorov a prasklín je prípustných. Je to typ syra, ktorý prechádza dvoma hlavnými fázami počas svojho zrenia. Tieto fázy sú charakterizované významnými zmenami v textúre, chuti, aróme a chemických vlastnostiach. Hlavný rozdiel medzi čerstvým a zrelým syrom spočíva v biochemických procesoch, ktoré prebiehajú počas zrenia, pričom do hry vstupujú mikroorganizmy ako rôzne kvasinky a baktérie. Čerstvý camembert, ktorý neprešiel fázou zrenia, je charakteristický svojou jemnou a krémovou textúrou. Obsahuje vyšší obsah vody a má jemnejšiu a menej vyvinutú chuť. V tomto štádiu má väčšinu svojich proteínov ešte nezmenených, čo znamená, že proteolytické enzýmy ešte neprešli plným cyklom rozkladu na menšie peptidy a aminokyseliny. V dôsledku toho sa u čerstvého syra nedosahuje typická aróma a chuť, ktorá sa spája so zrelým camembertom

(Leclercq-Perlat et al., 2004). Cieľom tejto práce bolo posúdiť zmeny v senzorickom hodnotení syrov camembertskeho typu v závislosti od rôznych podmienok ich balenia počas skladovania.

Materiál a metódy

Experimentálne vzorky syrov boli zakúpené v obchodnej sieti. Sensorické hodnotenie syrov camembertskeho typu bolo vykonané pomocou 9-bodovej hedonickej stupnice a pomocou kvantitatívnej deskriptívnej analýzy s cieľom posúdiť kvalitatívne zmeny v závislosti od rôznych podmienok balenia syrov. Na analýzu boli použité tri skupiny vzoriek: vzorky pred skladovaním (PS), vzorky skladované 14 dní v podmienkach bez vakuu (NBV) a vzorky 14 dní skladované vo vákuu (VB). Pre zabalenie syrov do vákuových podmienok bola použitá komorová vákuová balička (Boss NE 2746 N, Nemecko). Vzorky camembertskeho syra mali nasledovné zloženie: pasterizované mlieko, jedlá soľ, mliekarenské kultúry, plesňová kultúra *Penicillium camemberti*. Obsah tuku v sušine bol približne 45 %.

Hodnotenie vzoriek syrov prebiehalo v laboratórnej cvičebni Katedry hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín Univerzity veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, za kontrolovaných podmienok, teplota prostredia 20 ± 2 °C, neutrálne osvetlenie, pričom vzorky boli anonymizované a podávané pri optimálnej konzumnej teplote.

Každá vzorka bola skladovaná za kontrolovaných podmienok pri chladičových teplotách 4 ± 2 °C, pričom sa sledovali zmeny v senzorických vlastnostiach. Vyškolený panel hodnotiteľov posudzoval vybrané senzorické vlastnosti experimentálnych syrov pomocou 9-bodovej hedonickej stupnice. Každý člen hodnotiaceho panela degustoval všetky pripravené vzorky a vyplnením predložených protokolov posúdil ich vonkajší a vnútorný vzhľad, vôňu, konzistenciu, chuť a celkovú prijateľnosť.

Pri zostavovaní senzorického profilu experimentálnych vzoriek sa postupovalo podľa metodiky senzorickej analýzy, všeobecného návodu na určovanie senzorického profilu (ISO 13299, 2003) a podľa autorov Lawless a Heymann (2010). Posudzovatelia hodnotili intenzitu nasledovných vybraných deskriptorov na 10 bodovej intenzitnej škále: svetlý, krémový, masťný a vyzretý vzhľad, textúru, jemnosť, elasticitu, gumovitost', homogénnosť, tvrdosť kôry a chuťovo-aromatický profil mliečna, maslová, plesňová, hubová, kvetová, jogurtová, kyslá, slaná, sladká, prenikavá, ostrá, amoniakálna, cesnaková, horká, masťná.

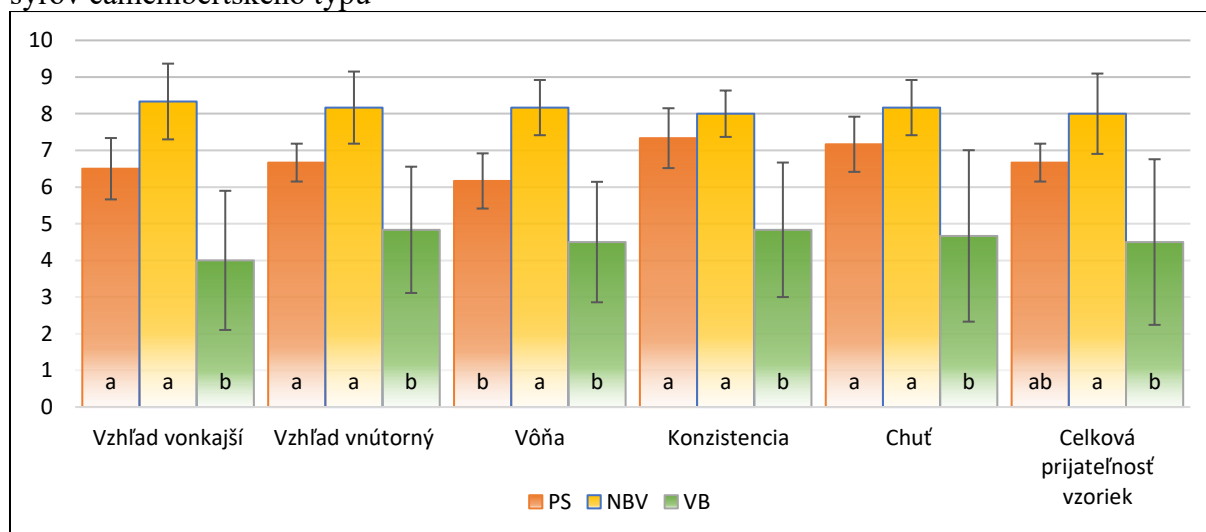
Dosiahnuté výsledky analýz boli vyhodnotené s použitím štatistického softvéru R - statistics software (R Core Team, 2024). Vo vzorkách syrov bol ako hlavný faktor pre štatistickú analýzu zvolený vplyv doby skladovania v rôznych podmienkach balenia vzoriek syrov. Pre štatistické porovnanie dosiahnutých výsledkov bola použitá metóda jednocestnej analýzy rozptylu (Two-way analysis of variance - ANOVA) a Tukeyho test pre viacnásobné porovnávanie priemerov s nastavenou hladinou štatistickej významnosti $p < 0,05$.

Výsledky a diskusia

Graf č. 1 znázorňuje výsledky senzorického hodnotenia vzoriek syrov camembertskeho typu na základe vybraných parametrov: vonkajší vzhľad, vnútorný vzhľad, vôňa, konzistencia, chuť a celková prijateľnosť. Hodnotenú boli tri skupiny vzoriek: PS (syr pred skladovaním) – znázornený oranžovou farbou, NBV (syr skladovaný bez vákuových podmienok) – znázornený modrou farbou, VB (syr skladovaný vo vákuovom balení) – znázornený zelenou farbou. Z dosiahnutých výsledkov štatistickej analýzy bol zistený štatisticky významný rozdiel v nasledovných parametroch hedonického hodnotenia vzoriek syrov pred a po skladovaní: vonkajší vzhľad ($p < 0,001$), vnútorný vzhľad ($p < 0,001$), vôňa ($p < 0,001$), konzistencia ($p < 0,01$), chuť ($p < 0,01$) a celková prijateľnosť vzoriek ($p < 0,01$). Z výsledkov vyplýva, že najvyššie hodnotenia dosiahli vzorky syrov po skladovaní bez vákuového balenia, čo poukazovalo na pozitívny vplyv doteraz nastavenej metódy balenia camembertskejších syrov pre distribúciu do obchodnej siete. Naopak, vzorky s vákuovým balením dosiahli v priemere nižšie

hodnotenia po skladovaní, najmä pri parametroch vône a konzistencie. V každom analyzovanom parametri hedonického hodnotenia bol zistený štatisticky významný rozdiel medzi vzorkami pred skladovaním, vzorkami po skladovaní nebalených vo vákuu voči vzorkám po skladovaní balených vo vákuových podmienkach ($p < 0,05$). Jediný rozdiel v hedonickom hodnotení bol zistený v parametri vône, kde najlepšie hodnotená vôňa bola vo vzorkách syrov po skladovaní bez vákuových podmienok. Medzi vzorkami s vákuovým balením a pred skladovaním nebol vo vône zistený významný rozdiel ($p > 0,05$).

Graf č. 1. Vplyv skladovacích podmienok na hedonické hodnotenie experimentálnych vzoriek syrov camembertskeho typu



Priemery, ktoré zdieľajú zhodný horný index (a - b), nie sú štatisticky významne odlišné (Tukeyho test, $p < 0,05$).

Graf č. 2, 3, 4 a 5 znázorňuje výsledky senzorickej deskriptívnej analýzy v rámci hodnotenia experimentálnych vzoriek syrov camembertskeho typu. Radarové grafy zobrazujú intenzitu jednotlivých vizuálnych, aromatických, konzistenčných a chuťových deskriptorov, pričom vo vzorkách bol posudzovaný vplyv skladovania, resp. podmienok skladovania na ich senzorický profil.

Výsledky deskriptívnej analýzy poukazujú, na to, že vzorky po skladovaní nebalené vo vákuových podmienkach mali najintenzívnejší svetlý, krémový, vyzretý a masný vzhľad, avšak v týchto deskriptoroch neboli zistené štatisticky významné rozdiely (graf č. 2, $p > 0,05$). Medzi vzorkami pred a po skladovaní boli v deskriptoroch arómy zistené významné rozdiely len v maslovej ($p < 0,05$), jogurtovej, amoniakálnej a penikavej aróme (graf č. 3, $p < 0,001$). Vplyv vákuového balenia sa najviac prejavil najintenzívnejšou negatívnou amoniakálnou a penikavou ostrou arómou. Naproti tomu, pozitívna jogurtová a maslová aróma bola pozorovaná vo vzorkách po skladovaní, avšak v podmienkach bez vákuového balenia.

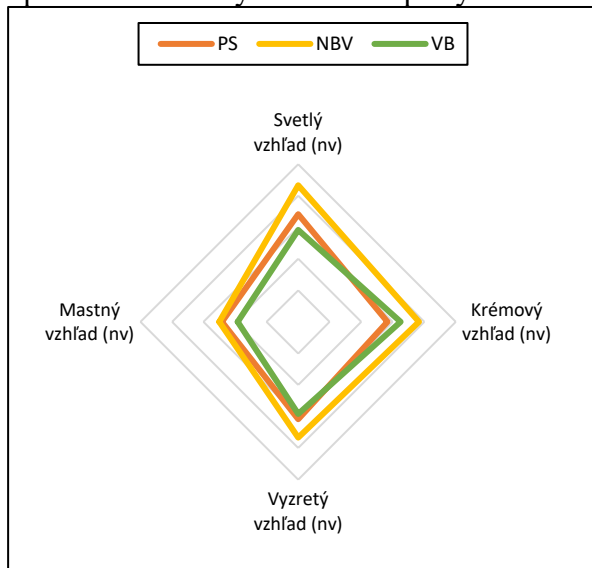
Spomedzi chuťových deskriptorov boli zistené významné rozdiely v deskriptoroch plesňovej ($p < 0,05$), hubovej, horkej, cesnakovej a amoniakálnej chuti ($p < 0,001$). Vzorky s vákuovým balením mali po skladovaní významne intenzívnejšiu horkú cesnakovú a amoniakálnu chuť, čo je možné považovať za negatívny vplyv vákuového balenia (graf č. 4).

Pri hodnotení konzistencie vzoriek syrov bolo zistené, že významne sa prejavila medzi vzorkami len rozdielna homogénna konzistencia, a to s najvyššou intenzitou pri vzorkách syrov po skladovaní nebalených vo vákuových podmienkach (graf č. 5, $p < 0,05$).

Senzorické hodnotenie potravín ako prvá informácia o potravinách z fyziologického hľadiska, vytvára u človeka pozitívny alebo negatívny vzťah, vzbudzuje chuť alebo naopak, potravinu sa stáva príťažlivou alebo podozrivou (Baranová, 2018; Maľová, 2020). Plesňový syr je zrejúci

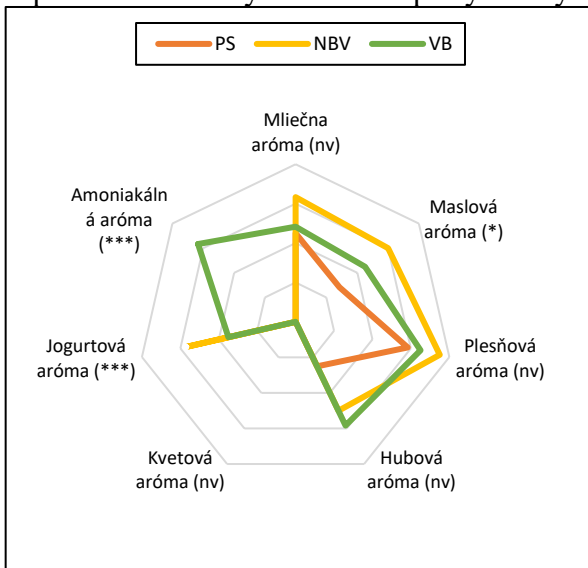
syra, ktorého zrenie je sprevádzané aj rastom charakteristickej plesne vo vnútri syra alebo na jeho povrchu, alebo kombináciou rastu takýchto plesní vo vnútri syra a na jeho povrchu (Dudríková a Pažáková 2017).

Graf č. 2. Výsledky stanovenia senzorického profilu vzoriek syrov – deskriptory vzhľadu

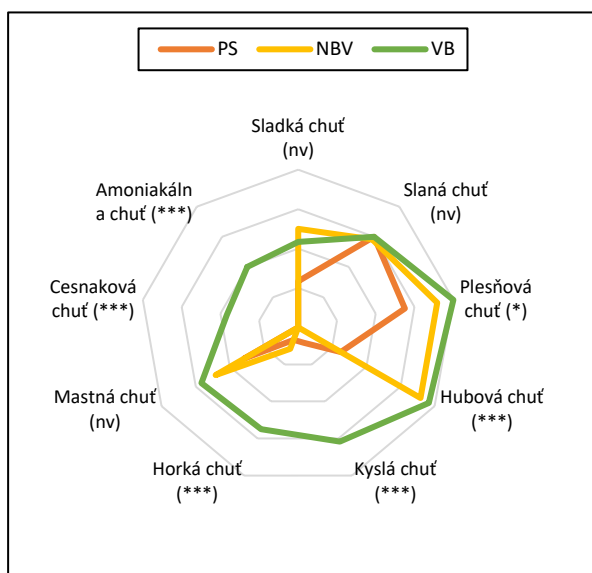


*nv - štatisticky nevýznamný rozdiel ($p > 0,05$). Symboly * - štatisticky významné rozdiely na hladinách $p < 0,05$, ** a *** - štatisticky významné rozdiely na hladinách $p < 0,01$ a $p < 0,001$.*

Graf č. 3. Výsledky stanovenia senzorického profilu vzoriek syrov – deskriptory arómy

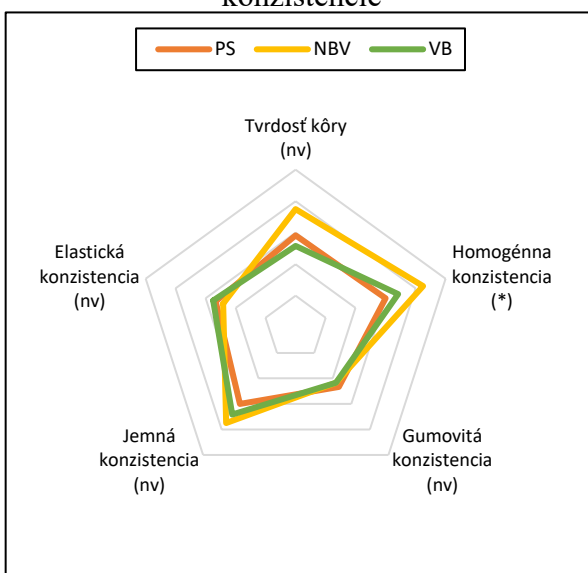


Graf č. 4. Výsledky stanovenia senzorického profilu vzoriek syrov – deskriptory chuti



*nv - štatisticky nevýznamný rozdiel ($p > 0,05$). Symboly * - štatisticky významné rozdiely na hladinách $p < 0,05$, ** a *** - štatisticky významné rozdiely na hladinách $p < 0,01$ a $p < 0,001$.*

Graf č. 5. Výsledky stanovenia senzorického profilu vzoriek syrov – deskriptory konzistencie



Pri senzorickom hodnotení syrov sa jednotlivé vlastnosti posudzujú ako balenie, ktoré skúma správnosť balenia a označenia výrobku so zameraním na prípadné nedostatky a odchýlky. Pri posúdení vzhľadu sa analyzuje tvar, povrch a stav kôry alebo ochrannej vrstvy syra. Farba na reze hodnotí farebný odtieň a jej rovnomernosť. Konzistencia a štruktúra sa hodnotia na základe

vzhľad a hmatových pocitov. Najprv sa skúma vôňa, a potom sa zameriava posudzovateľ na chuť. Podľa normy ISO 13559 (2007) predstavuje senzorická analýza kľúčový nástroj pre výrobcov potravín a sektor spracovania potravín, tým že pomáha zabezpečiť dodržiavanie hygienických noriem a zvyšuje dôveru spotrebiteľov v bezpečnosť potravín.

Vákuové balenie sa bežne používa v potravinárskom priemysle na predĺženie trvanlivosti rôznych výrobkov vrátane syrov. Pri zvažovaní vhodnosti vákuového balenia syra Camembert je nevyhnutné analyzovať výhody aj možné nevýhody spojené s touto metódou. Použitie mikroskopických vláknitých húb v čistej mliekarenskej kultúre v syroch camembertskeho typu prispieva k intenzívnej chuti a vôni syra, ako aj k charakteristickej textúre, ktorá vzniká v dôsledku silného lipolytického a proteolytického pôsobenia počas procesu zrenia. Dĺžka zrenia pritom úzko súvisí s dobou ich skladovania. Napr. syr Hermelín je zvyčajne optimálne konzumovateľný do približne troch týždňov po vyzretí, pričom celková proteolýza prebieha po dobu piatich týždňov, čo vedie k výraznejšej chuti a krémovejšej textúre syra.

Jednou z hlavných výhod vákuového balenia je jeho schopnosť potláčať aeróbne baktérie a plesne, ktoré môžu znehodnotiť potraviny a skrátiť ich trvanlivosť. Výrazne tiež znižuje oxidačné poškodenie, čo je obzvlášť prospešné pre zachovanie kvality mastných potravín, ako sú napríklad syry (Costa et al., 2016; Nájera et al., 2024). Štúdie naznačujú, že vákuové balenie môže účinne predĺžiť trvanlivosť syrov tým, že zabráňuje degradácii spôsobenej kyslíkom a rastu mikroorganizmov (Frau et al., 2021; Nájera et al., 2021). Konkrétne v prípade syra Camembert sa vákuové podmienky spájajú so zníženou mikrobiálnou aktivitou, čím sa potenciálne zvyšuje bezpečnosť a trvanlivosť (Costa et al., 2016; Nájera et al., 2021). Avšak, ako poukazujú výsledky tejto práce, v rámci senzorického hodnotenia boli syry camembertskeho typu skladované vo vákuových podmienkach boli ohodnotené posudzovateľmi nižšími bodmi v celkovom hedonickom hodnotení a intenzívnejšími negatívnymi deskriptormi v rámci posudzovania senzorického profilu syrov. Ďalší výskum v tejto oblasti by sa mal zamerať na experimentálnu výrobu syrov v laboratórnych podmienkach a využitie vákuových podmienok pri balení syrov, alebo modifikovanej atmosféry. Tým by sa mohla eliminovať prípadná nežiadúca sekundárna kontaminácia, ktorá mohla byť taktiež zodpovedná za zhoršenie senzorickej kvality syrov po skladovaní.

Záver

Hlavným cieľom tejto práce bolo posúdiť zmeny v senzorických vlastnostiach vzoriek syrov camembertskeho typu ako sú vzhľad, textúra, vôňa a chuť pred a po 14 dňovom skladovaní za vákuových podmienok a bez vákuového balenia. Panel posudzovateľov posudzoval predložené vzorky syrov pred a po skladovaní. Posudzovatelia vyplňali protokol 9-bodového hedonického hodnotenia a protokol so zoznamom jednotlivých vizuálnych, aromatických, texturálnych a chuťových deskriptorov. Medzi vzorkami pred a po skladovaní boli v deskriptoroch arómy zistené významné rozdiely v pozitívne maslovej a jogurtovej aróme, a negatívnej intenzívnejšej amoniakálnej a prenikavej aróme vo vzorkách vákuovo balených syrov. Vzorky s vákuovým balením mali po skladovaní významne intenzívnejšiu horkú cesnakovú a amoniakálnu chuť, čo je možné považovať za negatívny vplyv vákuového balenia. Na základe intenzívnejších negatívne hodnotených deskriptorov vo vzorkách vákuovo balených syrov po skladovaní nie je možné odporúčať 14 dňové skladovanie takýchto syrov za neprítomnosti atmosférického vzduchu.

Literatúra

Baranová, M. Laboratórne cvičenie z hygieny a technológie potravín rastlinného pôvodu, Košice : Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, 2018. 148 s. ISBN 978-80-8077-587-2.
Costa, C., Lucera, A., Lacivita, V., Saccotelli, M., Conte, A., Nobile, M. (2016). Packaging optimisation for portioned canestrato di moliterno cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 69(3), 401-409.

Dudríková, E., Pažáková, J. Manuál pre laboratórne vyšetrenie mlieka a mliečnych výrobkov. Košice : Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, 2017. 237 s. ISBN 978-80-8077-566-7.

Frau, F., Carate, J., Salinas, F., Pece, N. (2021). Effect of vacuum packaging on artisanal goat cheeses during refrigerated storage. *Food Science and Technology*, 41(2), 295–303.

ISO 13299. Senzorická analýza. Metodika. Všeobecný návod na určovanie senzorického profilu. 2003.

Kinclová a kol. (2014). Senzorická analýza potravín. *Veterinárství*, 54(9), 362–364.

Lawless, H. T., Heymann, H. *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. 2. vyd. New York : Springer, 2010, 596 p. ISBN 978-1-4419-6487-8

Leclercq-Perlat, M. N., Buono, F., Lambert, D., Latrille, E., Spinnler, H. E., Corrieu, G. (2004). Controlled production of Camembert-type cheeses. Part I: Microbiological and physicochemical evolutions. *Journal of Dairy Research*, 71(3), 346–354.

Maľová, J. Senzorická analýza potravinárskych komodít. Košice : Univerzita Veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, 2020, 160 s. ISBN 978-80-8077-680-0.

Nájera, A., Murua, M., Martínez, O., Albisu, M., Barrón, L. (2024). A sustainable material for sheep's cheese wedges stored under different atmosphere conditions. *Foods*, 13(9), 1423.

Nájera, A., Nieto-Ortega, S., Barrón, L., Albisu, M. (2021). A review of the preservation of hard and semi-hard cheeses: quality and safety. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(18), 9789.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024.

Stone, H. et al. *Sensory evaluation practices*. New York: Academic Press, 2020. 480 p. ISBN 978-0-12-815334-5.

Kontaktné adresy autorov:

Boris Semjon, doc. MVDr., PhD., Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika, e-mail: boris.semjon@uvlf.sk;

Andrea Zavacká, Mgr., Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika, e-mail: boris.semjon@uvlf.sk;

Zuzana Megyesy Eftimová, Ing. Mgr., PhD., Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika, e-mail: zuzana.megyesy.eftimova@uvlf.sk;

Jana Zahumenská, MVDr., PhD., Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika, e-mail: slavomir.marcincak@uvlf.sk.

VPLYV MACERÁCIE A PRÍDAVKU KVASINKOVEJ KULTÚRY *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* V TECHNOOGII VÝROBY VÍNA NA ANTIOXIDAČNÉ VLASTNOSTI VÍNA ODRODY LIPOVINA

INFLUENCE OF MACERATION AND ADDITION OF *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* YEAST CULTURE IN WINE PRODUCTION TECHNOLOGY ON THE ANTIOXIDANT PROPERTIES OF THE LIPOVINA VARIETY WINE

Boris Semjon, Martin Bartkovský, Zuzana Megyesy Eftimová, Slavomír Marcinčák

Abstract: The aim of this research was to evaluate the influence of two maceration procedures in the process of biological regulation and controlled fermentation of grape must. The first was the application of a pure culture of the wine yeast *Saccharomyces cerevisiae* and the second was the vinification technique of maceration without the application of the yeast culture in the experimental white wine Lipovina (*Vitis vinifera* L.) from the Slovak part of the Tokaj wine-growing region. The formation of bioactive components in the wine was affected by maceration as well as maceration with the addition of yeast culture, which resulted in significantly increased antioxidant activity as well as total phenolic and flavonoid content ($p < 0.001$).

Key words: wine; antioxidant activity; total polyphenols, total flavonoids

Úvod

V posledných desaťročiach prebieha intenzívny výskum zameraný na charakteristiku priaznivých účinkov miernej konzumácie vína na zdravie ľudí. Víno je veľmi bohatým zdrojom polyfenolov, akými sú katechíny, epikatechíny, kvercetin, rutín, myricetin, antokyány, fenolové kyseliny (kyselina galová, kyselina kávová, kyselina p-kumárová atď.), trans-resveratrol a mnoho ďalších polyfenolov a zlúčenín. Mnohé z týchto zlúčenín majú podľa doposiaľ publikovaných prác kardioprotektívny, antikarcinogénny, antivírusový, antidegeneratívny a antibakteriálny účinok (Bajčan et al. 2018; King et al., 2006).

Vinohradnícka oblasť Tokaj je výnimočná vinárska oblasť v srdci Európy, ktorá sa rozprestiera na území dvoch krajín: Maďarska (5800 ha) a Slovenska (929 ha). Na Slovensku sa vinohradnícka oblasť Tokaj nachádza v juhovýchodnej časti a v Maďarsku v severovýchodnej časti povodia Bodrogu. V severnej časti predstavujú hranicu Zemplínske vrchy a na juhu je vinohradnícka oblasť ohraničená sútokom riek Tisa a Bodrog v Maďarsku (Marcinčák et al. 2022). Odroda viniča Lipovina (registrovaná od roku 1952) je rozšírená najmä v krajinách východnej Európy, napríklad v Maďarsku, kde sa pestuje len vo vinohradníckych oblastiach, hlavne v tokajskej oblasti (Murphy, 2014). Na Slovensku tvorí z tokajských vín približne 25% odrodové víno Lipovina (Marcinčák et al. 2022). Tokajské vína predstavujú vína, ktoré obsahujú veľké množstvo organických zlúčenín patriacich do rôznych chemických tried (Furdíková et al., 2020).

Cieľom tejto štúdie bolo analyzovať vplyv tradičných metód výroby tokajského vína na chemické vlastnosti experimentálnych vzoriek vín, resp. ich antioxidačné vlastnosti v podobe celkového obsahu polyfenolových látok, flavonoidov a celkovej antioxidačnej aktivity. Posudzovali sme vplyv dvoch maceračných postupov v procese biologickej regulácie a riadenej fermentácie hroznového muštu. Prvým bola aplikácia čistej kultúry kvasiniek *Saccharomyces cerevisiae* a druhým vinifikačná technika macerácie bez aplikácie kultúry kvasiniek v experimentálnom bielom víne Lipovina (*Vitis vinifera* L.) zo slovenskej časti vinohradníckej oblasti Tokaj.

Materiál a metódy

Odroda viniča hroznorodého (*Vitis vinifera* L.) Lipovina bola ručne zozbieraná vo vinohradnícka oblasť Tokaj zo slovenskej časti a prevezená do experimentálnej vínnej pivnice Univerzity veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach (Košice, Slovensko). Celkovo sa zozbieralo 400 kg hrozna v dobrom hygienickom stave, v optimálnej zrelosti, na základe maximálneho obsahu cukru (rozpustná sušina: priem. 22,5° Brix) Z hrozna sa odstránili zhnité bobule, lístie, strápnia a rozdrvilo sa pomocou horizontálneho drviča a odlišťovača DMCI Goma (Grifo Marchetti, Piadena Drizzona, Taliansko) a vodného lisu Lancman VSX 80 (Lancman, Slovinsko). Celý objem hrozna sa naraz odstránil a rozdrvil. Následne bol celý objem zozbieraného hrozna rozdelený na tri časti pre prípravu experimentálnych vzoriek.

- Prvá kontrolná skupina vzoriek (K) bola rozdelená do nerezových nádrží s objemom 100 l, do ktorých bol pridaný oxid siričitý (SO₂) v koncentrácii 40 mg/l,
- Druhá skupina experimentálnych vzoriek (M) bola podrobená maceračnému procesu v nerezovej nádrži z nehrdzavejúcej ocele, počas 7 dní bez prístupu kyslíka, pri teplote 18 ± 2 °C, s prídavkom SO₂ v množstve 40 mg/l. Po macerácii sa vykvasený mušt vylisoval a premiestnil do čistej nerezovej nádrže kde sa dokončil proces fermentácie.
- Tretia skupina vzoriek (MK) prešla rovnakým procesom ako druhá pokusná skupina, avšak počas 7-dňovej macerácie sa do nerezovej nádrže pridala kultúra vínnych kvasiniek *Saccharomyces cerevisiae* (O.K. SERVIS BioPro, s.r.o, Praha, Česká republika) v množstve 30 g/100 l. Každá skupina vzoriek pozostávala z troch opakovaní. Fermentačné procesy každej skupiny prebiehali pri kontrolovanej teplote (18 ± 2 °C) počas štyroch týždňov. Vzorky vín sa odoberali na 3., 7. a 14. deň, 4. týždeň a po 3 mesiacoch do sterilných uzatvárateľných nádob v množstve 500 ml a okamžite sa analyzovali.

Na meranie antioxidačnej aktivity experimentálnych vzoriek vín sa použila metóda vychytávania radikálov DPPH (2,2-difeny-1-pikrylhydrazyl). Farebné zmeny v roztoku DPPH sa stanovili spektrofotometrickým meraním absorbancie pri λ 517 nm pomocou UV-VIS spektrofotometra. Úroveň antioxidačnej aktivity sa vyjadrila ako % inhibície DPPH radikálov podľa Brand-Williamsa (Brand-Williams et al., 1995). Každá vzorka vína sa analyzovala v troch opakovaniach. Celkový obsah polyfenolov sa stanovil spektrofotometrickou metódou Folin-Ciocalteu (Singleton-Rossi, 1965). Po reakcii fenolových zlúčenín s Folin-Ciocalteuovým činidlom sa absorbancia merala pomocou UV-VIS spektrofotometra (Helios γ , Thermo spectronic, Cambridge, UK) pri λ 700 nm. Celkový obsah polyfenolov sa vyjadril na základe kalibračnej krivky kyseliny galovej v mg GAE/l vzorky. Koncentrácia celkových polyfenolov bola vyjadrená ako ekvivalent kyseliny galovej (mg/l GAE). Stanovenie celkového obsahu flavonoidov sa uskutočnilo pomocou spektrofotometrickej metódy podľa Lamaisona a Carnata (Willett, 2002). Absorbancia vzoriek sa merala pri vlnovej dĺžke 415 nm oproti slepej vzorke pomocou UV-VIS spektrofotometra. Výsledky stanovenia celkového obsahu flavonoidov boli vyjadrené ako ekvivalent kvercetínu (mg/l QE).

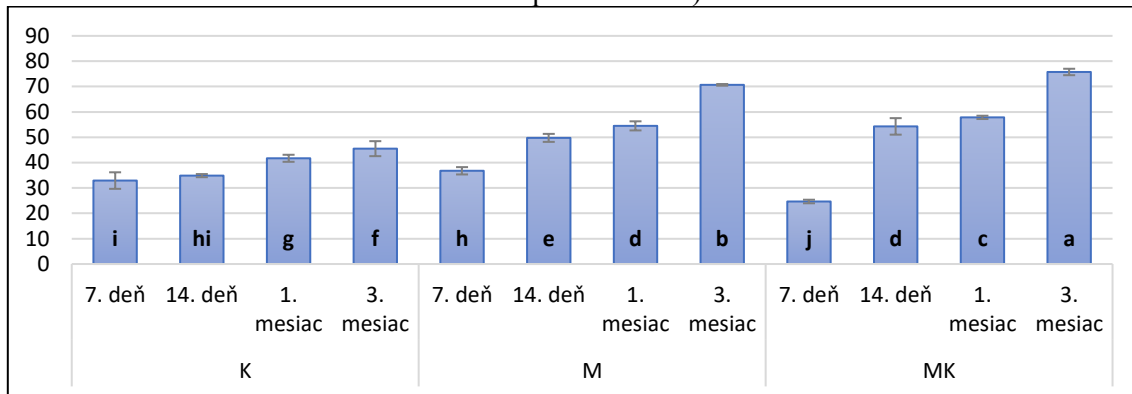
Štatistická analýza dosiahnutých výsledkov jednotlivých analýz bola vykonaná pomocou štatistického softvéru R verzia 4.2.3 (R Core Team, 2024). Výsledky boli vyhodnotené pomocou metódy analýzy rozptylu hodnôt (ANOVA) a Tukeyho testom pre viacnásobné porovnanie priemerov na hladine významnosti $p < 0,05$. Ako hlavné faktory zvolenej štatistickej boli zvolené: vplyv technológie výroby vína (použitie macerácie a kombinácie macerácie, a kultúry vínnych kvasiniek) a produkčná fáza experimentálnej výroby vína.

Výsledky a diskusia

Graf č. 1, 2 a 3 uvádza výsledky dosiahnutých meraní celkovej antioxidačnej aktivity, celkového obsahu polyfenolových látok a celkového obsahu flavonoidov v experimentálnych vzorkách vína. Najnižšia počiatočná antioxidačná aktivita nameraná na 7. deň výroby vína bola zaznamenaná v experimentálnej skupine vzoriek MK. Počas jednotlivých produkčných fáz

výroby sa antioxidačná aktivita významne zvyšovala vo všetkých skupinách vzoriek ($p < 0,001$). Najvyšší nárast antioxidačnej aktivity (207 %) bol pozorovaný v skupine vzoriek MK, zatiaľ čo v kontrolnej skupine K bol nárast len na úrovni 38 % inhibície DPPH radikálu.

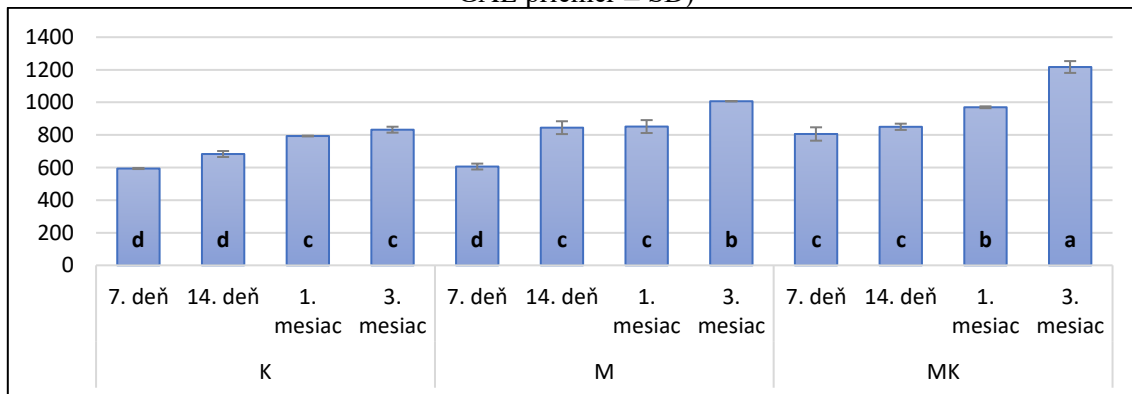
Graf 1. Výsledky stanovenia antioxidačnej aktivity v experimentálnych vzorkách vín (% inhibície DPPH priemer $\pm$ SD)



K – kontrolná skupina, M – vzorky vína s maceráciou, MK – vzorky vína s maceráciou a s pridanou kultúrou vínnych kvasiniek. Priemery zdieľajúce zhodný horný index nie sú vzájomne štatisticky významné (Tukeyho test, $p < 0,05$).

Na základe nameraných výsledkov celkového obsahu polyfenolových látok boli na začiatku obdobia spracovania vína v kontrolných vzorkách vín namerané hodnoty v rozsahu $594,00 \pm 3,22$ mg/l GAE (graf č. 2). Medzi prvým meraním na 7. deň produkcie a posledným meraním v 3. mesiaci bol pozorovaný nárast celkového obsahu polyfenolových látok v kontrolnej skupine vín ($832,33 \pm 2,26$ mg/l GAE). Celkový obsah polyfenolov v experimentálnych vzorkách vína sa počas produkčných fáz výroby vína významne zvýšil ($p < 0,001$). Najvyšší nárast celkového obsahu polyfenolových látok počas výrobného procesu bol zaznamenaný v skupine M (66,20 %), zatiaľ čo najnižší v kontrolnej skupine (40,12 %). Počas prvého týždňa zrenia vína dosiahli macerované vzorky M najnižšiu nameranú hodnotu $606,23 \pm 18,4$ mg/l GAE. Počas štvrtého merania v 3. mesiaci bol zaznamenaný nárast celkového obsahu polyfenolových látok na úrovni $1007,50 \pm 0,71$ mg/l GAE. Vo vzorkách MK bol počas jednotlivých meraní zaznamenaný rastúci trend. Od prvého merania na 7. deň až po poslednú produkčnú fázu v tretom mesiaci bol celkový obsah polyfenolov nasledovný: $806,00 \pm 41,06 < 850,17 \pm 19,09 < 970,17 \pm 5,56 < 1\,217,67 \pm 36,27$ mg/l GAE.

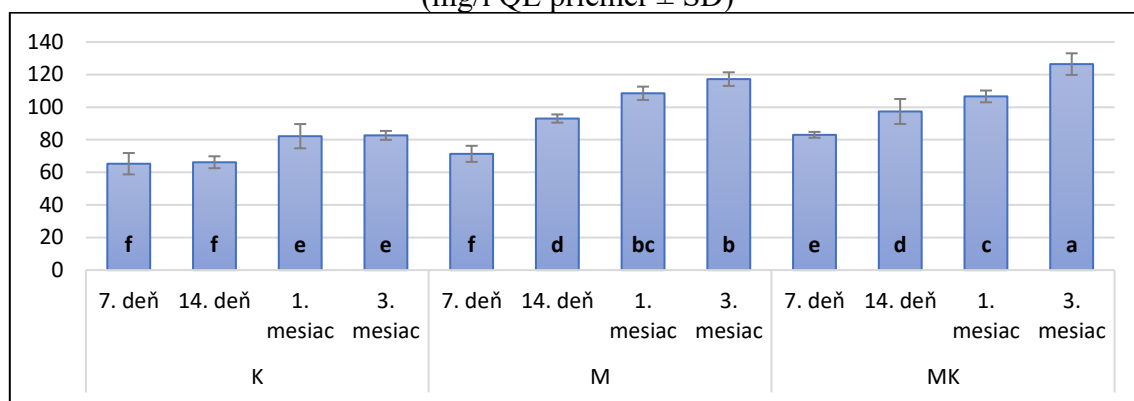
Graf 2. Výsledky stanovenia celkového obsahu polyfenolov v experimentálnych vzorkách vín (mg/l GAE priemer $\pm$ SD)



K – kontrolná skupina, M – vzorky vína s maceráciou, MK – vzorky vína s maceráciou a s pridanou kultúrou vínnych kvasiniek. Priemery zdieľajúce zhodný horný index nie sú vzájomne štatisticky významné (Tukeyho test, $p < 0,05$).

V kontrolných vzorkách bol zaznamenaný nárast celkového obsahu flavonoidov, pričom počiatočná hodnota bola na úrovni $65,27 \pm 3,66$ mg/l QE a konečná hodnota $82,67 \pm 2,73$ mg/l QE (graf č. 3). V experimentálnych vzorkách skupiny M sme zaznamenali nárast celkového obsahu flavonoidov o $45,94$ mg/l QE počas obdobia medzi prvým a posledným meraním. Podobne to bolo aj v experimentálnych vzorkách skupiny MK, v ktorých sa celkový obsah flavonoidov zvyšoval s pribúdajúcim obdobím zrenia vína resp. s pribúdajúcou produkčnou fázou, kedy počiatočná hodnota bola na úrovni $83,00 \pm 1,79$ mg/l QE na 7. deň a $126,49 \pm 6,6$ mg/l QE v poslednej fáze, na tretí mesiac. Z dosiahnutých výsledkov je možné konštatovať, že najvyššie namerané hodnoty celkovej antioxidačnej aktivity, celkového obsahu polyfenolových látok a celkového obsahu flavonoidov boli namerané v macerovaných vzorkách s prídavkom kvasinkovej vínnej kultúry (MK). Skupiny vzoriek M a MK obsahovali vyšší obsah bioaktívnych látok v porovnaní s kontrolnými vzorkami vín, čo mohlo byť spôsobené dlhým kontaktom muštu so šupkou, ktorý je charakteristickým pre tradičnú výrobu tokajského vína. Macerácia, proces prebiehajúci počas fermentácie, má tak preukázateľný vplyv na extrakciu polyfenolových látok z hrozna do vína a zvyšuje ich obsah.

Graf 3. Výsledky stanovenia celkového obsahu flavonoidov v experimentálnych vzorkách vín (mg/l QE priemer $\pm$ SD)



K – kontrolná skupina, M – vzorky vína s maceráciou, MK – vzorky vína s maceráciou a s pridanou kultúrou vínnych kvasiniek. Priemery zdieľajúce zhodný horný index nie sú vzájomne štatisticky významné (Tukeyho test, $p < 0,05$).

Celková polyfenolová a antioxidačná aktivita silne súvisí s procesom macerácie (Pereira et al., 2015; Várady et al., 2022). Celkovo vyššie hodnoty antioxidačnej aktivity a celkového obsahu polyfenolových látok a flavonoidov boli pozorované vo vzorkách macerovaného vína (M a MK) v porovnaní s kontrolnou skupinou. Bagirzade et al. (2024) pozorovali relatívne podobné hodnoty ($610 - 640$ mg/L GAE) na 3 – 4 deň vo vzorkách macerovaných bielych vín vyrobených metódou obdobnou aká sa používa v Tokajskej oblasti. Tieto zistenia sú taktiež v súlade aj so štúdiou Kowalczyka et al. (2022), ktorí analyzovali vína vyrobené klasickou metódou, klasickou metódou s maceráciou a metódou z Tokajskej oblasti. Naproti tomu, Tauchen et al. (2015) pozorovali nižšie hodnoty celkového obsahu polyfenolov v bielom macerovanom víne z Gruzínska nižšie hodnoty celkového obsahu polyfenolových látok (400 mg/L GAE). Hodnoty však boli oveľa vyššie v oranžových vínach, ktoré prešli maceráciou (1880 mg/L GAE). Ivanova et al. (2010) zistili, že čas macerácie a obsah SO_2 ovplyvňujú celkový obsah polyfenolových látok vo vínach zvýšením ich obsahu. Bajčan et al. (2018) a Eftimová et al. (2018) skúmali antioxidačné vlastnosti vo fľaškovom, polosuchom víne Lipovina 2015, resp. 2004, ktorých výsledky boli porovnateľné s našimi výsledkami týkajúcimi sa antioxidačných vlastností vzoriek vín. Zloženie polyfenolov môže súvisieť s faktormi, ako sú odroda hrozna, zemepisný pôvod, organoleptické vlastnosti a technológia výroby vína (Eftimová et al., 2018; Sádecká et al., 2018; Nikfardjam et al., 2006).

Záver

Z dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať, že macerácia používaná v procese výroby vína v Slovenskej časti vinohradníckej oblasti Tokaj je nevyhnutná na zlepšenie určitých aspektov vín. Sedemdnňová macerácia odrody Lipovina prezentovaná v tejto štúdii mala významný vplyv na kvalitu vína. Bolo zistené, že tvorba bioaktívnych zložiek významne zvýšila celkovú antioxidačnú aktivitu, celkový obsah polyfenolov a celkových flavonoidov v experimentálnych vzorkách vína. V prípade vzoriek vína s prídavkom vínnej kultúry kvasiniek bola macerácia vysoko významná. Tieto bioaktívne látky vo výžive ľudí majú významný prínos, napr. by mohli znížiť riziko vzniku kardiovaskulárnych ochorení, cukrovky a niektorých druhov rakoviny.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied projektom VEGA 1/0156/21.

Literatúra

- Bagirzade, A.; Omarov, Y.; Heydarov, E.; Ismayilov, M.; Gasimova, A.; Cavadov, M.; Nabiyeu, A. Improvement of technology for producing wine material for Tokaj wine. *East.-Eur. J. Enterp. Technol.* 2024, 1, 52–63.
- Bajčan, D.; Vollmannová, A.; Šnirc, M.; Árvay, J.; Mezey, J.; Šimanský, V.; Trebichalský, P.; Stanovič, R.; Timoracká, M. Phenolic compounds and antiradical activity in Tokaj wines. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.* 2018, 8, 955–959.
- Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Sci. Technol.* 1995, 28, 25–30.
- Eftimová, Z.; Eftimová, J.; Balážová, E. Antioxidant activity of Tokaj essence. *Potravin. Slovak. J. Food Sci.* 2018, 12, 323–329.
- Furdíková, K.; Machynáková, A.; Drtilová, T.; Špánik, I. Comparison of Different Categories of Slovak Tokaj Wines in Terms of Profiles of Volatile Organic Compounds. *Molecules* 2020, 25, 669.
- Ivanova, V.; Stefova, M.T.; Chinnici, F. Determination of the polyphenol contents in Macedonian grapes and wines by standardized spectrophotometric methods. *J. Serb. Chem. Soc.* 2010, 75, 45–59.
- King, R. E.; Bomser, J. A.; Min, D. B. 2006. Bioactivity of resveratrol. *Comprehensivereviews. Food Science and Food Safety*, 5, 3, 2006, p. 65–70.
- Kowalczyk, B.; Bieniasz, M.; Kostecka-Gugała, A. The Content of Selected Bioactive Compounds in Wines Produced from Dehydrated Grapes of the Hybrid Variety ‘Hibernal’ as a Factor Determining the Method of Producing Straw Wines. *Foods* 2022, 11, 1027.
- Marcinčák, S.; Semjon, B.; Turek, P.; Zigo, F. Cultural Heritage in the Region of Eastern Slovakia. In *Cultural Heritage—Possibilities for Land-Centered Societal Development. Environmental History*, 1st ed; Hernik, J., Walczycka, M., Sankowski, E., Harris, B.J. Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2022; Volume 13, pp. 35–55.
- Murphy, C. Grapes: Origins and Development. In *Encyclopedia of Global Archaeology*, 1st ed. Smith, C., Ed.; Springer: New York, NY, USA, 2014; pp. 3107–3111.
- Nikfardjam, M.P.; László, G.Y.; Dietrich, H. Resveratrol-derivatives and antioxidative capacity in wines made from botrytized grapes. *Food Chem.* 2006, 96, 74–79.
- Pereira, V.; Pereira, A.C.; Perez Trujillo, J.P.; Cacho, J.; Marques, J.C. Amino Acids and Biogenic Amines Evolution during the Estufagem of Fortified Wines. *J. Chem.* 2015, 2015, 494285.
- R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2024.
- Sádecká, J.; Jakubíková, M.; Májek, P. Fluorescence spectroscopy for discrimination of botrytized wines. *Food Control* 2018, 88, 75–84.
- Singelton, V.L.; Rossi, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic—Phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 1965, 6, 144–158.
- Tauchen, J.; Mařík, P.; Kvasnicová, M.; Maghradze, D.; Kokoška, L.; Vaněk, T.; Landa, P. In vitro antioxidant activity and phenolic composition of Georgian, Central and West European wines. *J. Food Compos. Anal.* 2015, 41, 113–121.
- Várady, M.; Tauchen, J.; Frankova, A.; Kloucek, P.; Popelka, P. Effect of method of processing specialty coffee beans (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on bioactive and volatile compounds. *LWT-Food Sci. Technol.* 2022, 172, 114245.
- Willett, W.C. Balancing life-style and genomics research for disease prevention. *Science* 2002, 292, 695–698.

Kontaktné adresy autorov:

Boris Semjon, doc. MVDr., PhD., Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika, e-mail: boris.semjon@uvlf.sk;

Martin Bartkovský, Mgr., PhD., Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika, e-mail: martin.bartkovsky@uvlf.sk;

Zuzana Megyesy Eftimová, Ing. Mgr., PhD., Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika, e-mail: zuzana.megyesy.eftimova@uvlf.sk;

Slavomír Marcincák, prof. MVDr., PhD., Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika, e-mail: slavomir.marcincak@uvlf.sk.

INOVATÍVNE METÓDY SPRACOVANIA VÝBEROVEJ KÁVY

INNOVATIVE METHODS OF PROCESSING SPECIALITY COFFEE

Matúš Várady, Magdalena Grajzer, Peter Popelka

Abstract: The aim of this study was to determine the effect of methods of processing, such as natural, washed, honey, anaerobic fermentation, and carbonic maceration, on the contents of heavy metals, fatty acid composition, and bioactive compounds in roasted specialty coffees from various countries of origin (Ethiopia, Burundi, Nicaragua, and Peru). The processing method affected the contents of Cr, Cd, and Pb in the roasted coffees ($p < 0.001$). Cd content was highest in Ethiopian Coffee processed by anaerobic fermentation ACR (0.062 mg/kg). The content of linoleic acid was highest in Peruvian coffee processed by carbonic maceration (CM) (48.04% FAME), and the content of palmitic acid was highest in the same coffee but processed naturally (38.96% FAME). Antioxidant capacity (AC) was highest with the CM method (85.7 $\mu\text{g TE/mg}$). AC for the Burundi coffee was highest with the natural method (128.8 $\mu\text{g TE/mg}$), which leads us to the conclusion that different processing methods can also greatly affect the content of bioactive compounds and antioxidant activities in specialty coffees.

Keywords: post-harvest coffee processing, heavy metals, fatty acids, specialty coffee

Úvod

Kávové nápoje sú jednou z najobľúbenejších komodít, ktoré sa v posledných rokoch konzumujú, a ich antioxidačné vlastnosti zohrávajú dôležitú úlohu v ľudskom zdraví. Spracovanie kávy je jedným z najdôležitejších procesov vedúcich k eliminácii poškodených zŕn a zvýšeniu kvality zŕn vrátane úpravy chuti a vône. Rôzne metódy spracovania môžu tiež výrazne ovplyvniť obsah bioaktívnych zlúčenín a antioxidačné aktivity vo výberových kávach. Výberová káva je termín používaný pre kávu, ktorá má štandardizovaný proces výroby, od výberu kritérií pre kávové plantáže až po prípravu kávy, ktoré pred podávaním klientovi prejdú predbežnými testami triedenia a cuppingu. Jedným z najdôležitejších kritérií je dosiahnutie skóre 80 bodov alebo viac na 100-bodovej škále.

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Výberové kávy majú najvyššiu kvalitu na trhu a ich spracovanie je jednou z najdôležitejších činností ovplyvňujúcich kvalitu a bezpečnosť zŕn. Druh/kultivár, geografický pôvod, chyby zŕn, druhy nápojov a spôsoby spracovania, praženia, prípravy a skladovania sú preto veľmi dôležité pri porovnávaní kvality kávy (Várady et al., 2022a,b). Farmári začali experimentovať s novými metódami pozberového spracovania, keď sa na trh dostali výberové kávy. Spontánne metódy spracovania (prírodná, premývaná, medová) nahradili indukované metódy (anaeróbna fermentácia a karbonická macerácia), ktoré môžu zvýšiť kvalitu a cenu kávy, ale aj ovplyvniť úroveň podpory zdravia či potenciálne znížiť množstvo nebezpečných látok (Várady et al., 2022a, 2024).

Materiál a metódy

Boli použité vzorky káv 100% *C. arabica* z Nikaraguy a Etiópie (Project FOX Roastery, Praha, Česká republika), Burundi (Diamonds roastery pražiareň, Dunajská Lužná, Slovensko) a Peru (Father's Coffee Roastery, Ostrava, Česká republika). Nikaragujské (NIC) zrná boli získané z kávovej oblasti Nueva Segovia (farmárka Martha Maria Albir). Zrná boli odrody Red Catuai zozbierané v roku 2020 a boli spracované dvoma metódami, mokrou a medovou. Etiópske (ETH) zrná boli získané z kávovej oblasti Sidama (farmár Daye Bensa). Zrná boli odrody

Heirloom zozbierané v roku 2020 a boli spracované metódami anaeróbnej fermentácie (tkz. EAO a ACR - názvy prevzaté z farmy). Rozdiel medzi metódami EAO a ACR je v technike sušenia. Pri metóde EAO sa zrná sušia na afrických posteliach. Pri ACR metóde, sa kvôli urýchleniu fermentácie, zrná sušia vysoko v horách na afrických posteliach, pričom sa skladajú do veľkej hromady, nie na plochu. Zrná kávy Burundi (BUR) boli získané z kávovej oblasti Kayanza a zo spracovateľskej stanice Nemba. Boli odrody Red Bourbon zozbierané v roku 2020 a boli spracované dvoma metódami, prírodnou a anaeróbnou fermentáciou. Peruánske (PER) zrná boli získané z okresu Huabal v kávovej oblasti Cajamarca. Zrná boli odrody Catuai zozbierané v roku 2020 a boli spracovaná prírodnou metódou a pomocou karbonickej macerácie. Zelené zrná sa pražili pri konečnej teplote 204 °C počas 5 minút. Čas vývoja (čas po prvom prasknutí) bol približne 30 s a pomer medzi časom vývoja a celkovým časom praženia pre každú vzorku bol 11–14 %. Zrná boli pražené v dávkach po 50 g v pražičke vzoriek Ikawa PRO 100 (Ikawa Ltd., Londýn, Spojené kráľovstvo).

Ťažké kovy chróm (Cr), kadmium (Cd), olovo (Pb) boli identifikované viacprvkovou technikou pomocou hmotnostnej spektrometrie s indukčne viazanou plazmou. Metylestery mastných kyselín (FAME) získané z extraktov pražených zŕn boli analyzované plynovou chromatografiou-hmotnostnou spektrometriou. Celkový obsah polyfenolov (TP) sa meral pomocou reakcie s Folin-Ciocalteu fenolovým činidlom. Výsledky boli vyjadrené ako ekvivalenty kyseliny galovej ($\mu\text{g GAE/mg kávy}$). Antioxidačná kapacita (AC) bola stanovená pomocou metódy kapacity absorpcie kyslíkových radikálov (ORAC). Výsledky sú vyjadrené ako ekvivalenty Troloxu ($\mu\text{g TE/mg kávy}$).

Výsledky a diskusia

Účinky rôzneho spracovania kávy na obsah bioaktívnych zložiek, ako je celkový polyfenol (TP), celková antioxidačná kapacita (AC), je uvedené v Tabuľke 1. Antioxidačná kapacita bola najvyššia pri metóde CM (85,7 $\mu\text{g TE/mg}$). AC pre kávu BUR bola najvyššia pri prírodnej metóde (128,8 $\mu\text{g TE/mg}$). Obsah celkových polyfenolov (TP) bol vyšší vo fermentovaných ako nefermentovaných kávach (Haile and Kang, 2019), čo je v rozpore s výsledkami pre pražené kávy ETH a BUR spracované anaeróbnou fermentáciou. Pražené BUR kávy spracované pomocou anaeróbnej fermentácie však mali obsah TP 31,8 $\mu\text{g GAE/mg}$, čo bolo najviac zo všetkých káv v experimente. Podobne obsah TP v prírodnej *C. arabica* uvádzaný z rôznych oblastí (Brazília, Kolumbia, Etiópia a India) sa pohyboval od 29,5 do 43,0 $\mu\text{g GAE/mg}$, ale obsah tiež závisel od stupňa praženia. Antioxidačná aktivita káv závisí od rovnováhy zlúčenín vytvorených a degradovaných počas praženia (Vignoli et al., 2014), čo bolo tiež v súlade so súčasnými výsledkami. Antioxidačná kapacita (AC) sa však výrazne líšila medzi praženými kávami spracovanými prírodnými a fermentačnými metódami.

Je jasné, že kávové zrná strávia viac času v kávových plodoch počas anaeróbnej fermentácie a kávové zlúčeniny sú pravdepodobne viac chránené pred degradáciou počas praženia v porovnaní s prirodzene spracovanými zrnami, ako je to v PER kávach.

Tabuľka 1. Vplyv spracovania na antioxidačné parametre v pražených kávach (priemer $\pm$ SD, n = 3)

Káva	Spracovanie	TP	AC
ETH	AF-EAO	28,9 $\pm$ 7,41	84,1 $\pm$ 22,1
	AF-ACR	27,3 $\pm$ 3,98	70,9 $\pm$ 15,0
BUR	Natural	25,3 $\pm$ 4,95	128,8 $\pm$ 18,7

Káva	Spracovanie	TP	AC
NIC	Anaerobic	31,8 ± 5,77	105,4 ± 21,7*
	Washed	26,2 ± 6,10	72,4 ± 10,4
	Honey	26,3 ± 6,25	64,7 ± 9,17
PER	Natural	25,1 ± 4,52	59,5 ± 13,9
	CM	23,3 ± 3,12	85,7 ± 14,8*
<i>p</i>		0,03	< 0,001

Zloženie mastných kyselín (MK) vzoriek výberových káv je znázornené v Tabuľke 2. Obsah kyseliny linolovej (C18:2n6) sa pohyboval od 43,25 do 48,04 % a k. palmitovej (C16:0) sa pohyboval od 33,09 do 38,96 %, čím sa stali najrozšírenejšími MK. Medzi NIC-H a NIC-W boli výrazné rozdiely v obsahu k. olejovej (C18:1n9) a k. linolovej. Priemerné zloženie MK pre väčšinu výberových káv bolo v súlade s rozsahmi uvádzanými v iných štúdiách (Bobková et al., 2022, Echeverri-Giraldo et al., 2023). Obsah k. linolovej bol vyšší o 6,57 – 4,37 % v porovnaní s inými štúdiami uvádzajúcimi nižšie hodnoty 36,68 – 41,50 % (Figueiredo et al., 2015), 43,67 % (Bobková et al., 2022) a 39,83 – 40,54 % (Echeverri-Giraldo et al., 2023). Nedávno bolo identifikovaných 21 MK vo výberových kávach, na rozdiel od komerčných káv, kde sú pravdepodobne MK znehodnotené nadmerným pražením. Zloženie MK sa však považuje za chemický deskriptor na rozlíšenie odrôd kávy ako jeden z najdôležitejších faktorov pri definovaní kvality kávy (Martin et al., 2001). Rozdiely v zložení MK v tejto štúdii sa však pripisovali najmä spôsobu spracovania, napriek tomu, že niektoré vzorky boli z rovnakej krajiny, farmy a odrody.

Tabuľka 2. Zloženie mastných kyselín (% FAME) výberovej kávy (priemer ± SD, n = 3)

Káva	k. palmitová C16:0	k. stearová C18:0	k. olejová C18:1n9	k. linolová C18:2n6	k. linolénová C18:3n3	k. arachidová C20:0
ETH AF- EAO	33,8 ± 0,57	7,30 ± 0,03	9,59 ± 0,44	45,9 ± 1,05	1,34 ± 0,13	2,05 ± 0,12
ETH AF- ACR	34,4 ± 0,06	6,76 ± 0,03	9,60 ± 0,29	45,8 ± 0,48	1,62 ± 0,10	1,89 ± 0,12
BUR natural	36,3 ± 0,59	6,98 ± 0,08	8,14 ± 0,01	45,4 ± 0,47	1,18 ± 0,01	2,07 ± 0,03
BUR AF	34,1 ± 0,03	6,88 ± 0,03	8,79 ± 0,01	46,6 ± 0,21	1,46 ± 0,23	2,19 ± 0,08
NIC washed	34,7 ± 0,47	6,65 ± 0,01	8,70 ± 0,30	47,2 ± 0,19	1,11 ± 0,04	2,17 ± 0,06
NIC honey	33,5 ± 0,04	6,75 ± 0,01	9,96 ± 0,10	46,1 ± 0,40	1,47 ± 0,31	2,24 ± 0,04
PER natural	39,0 ± 0,45	6,12 ± 0,21	7,41 ± 0,28	45,3 ± 0,55	Nd	2,17 ± 0,17
PER CM	34,9 ± 0,27	6,64 ± 0,07	8,30 ± 0,02	48,0 ± 0,24	Nd	2,24 ± 0,08

Záver

Výsledky predloženej štúdie viedli k záveru, že spôsob spracovania kávy môže ovplyvniť obsah mastných kyselín, ťažkých kovov a bioaktívnych zlúčenín vo výberovej káve. Štúdia tiež zistila, že zrná kávy spracované anaeróbnou fermentáciou boli schopné zachovať bioaktívne zlúčeniny na vysokej úrovni a prispeli k antioxidačnej aktivite praženej kávy v závislosti od krajiny pôvodu. Pražená fermentovaná káva však mala vyšší obsah ťažkých kovov ako prirodzene fermentovaná káva. Preto je dôležité monitorovanie ťažkých kovov v rámci vstupných kontrol, keď káva spracovaná novými metódami vstupuje na trh. Nové metódy fermentácie môžu pravdepodobne pomôcť zlepšiť väčšinu kvalitatívnych parametrov, ale je potrebné ďalšie štúdium, aby sme pochopili vplyv fermentácie na výberové kávy z rôznych oblastí a na ďalšie kvalitatívne a senzorické parametre.

PodĎakovanie

Táto štúdia bola podporená z prostriedkov Vedeckej grantovej agentúry MŠ SR a Slovenskej akadémie vied (VEGA 1/0038/25) a Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I03-03-V05-00017

Literatúra

- da Silva, A., Mendes, F.Q., Reis, M.R., Passos, F.R., de Carvalho, A.M.X., de Oliveira Rocha, K.R., Pinto, F.G. 2017. Determination of heavy metals in the roasted and ground coffee beans and brew. *African Journal of Agricultural Research* vol.12, no. 4 pp. 221–228. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11832>
- Azam, K., Akhtar, S., Yun Yun Gong, Y.Y., Routledge, M.N., Ismail, A., Oliveira, C.A.F., Iqbal, S.Z., Ali, H. 2021. Evaluation of the impact of activated carbon-based filtration system on the concentration of aflatoxins and selected heavy metals in roasted coffee. *Food Control* vol. 121, 107583. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107583>
- Bobková, A., Poláková, K., Demianová, A., Belej, E., Bobko, M., Jurčaga, L., Gálik, B., Novotná, I., Iriondo-deHond, A., Del Castillo, M. D. 2022. Comparative analysis of selected chemical parameters of *Coffea arabica*, from Cascara to Silverskin. *Foods*, vol. 11, no. 8, pp. 1082. <https://doi.org/10.3390/foods11081082>
- Echeverri-Giraldo, L.F., Pinzón Fandiño, M.I., González Cadavid, L.M., Rodríguez Marín, N.D., Moreno Ríos, D.A., Osorio Pérez, V. 2023. Determination of lipids and fatty acids in green coffee beans (*Coffea arabica* L.) harvested in different agroclimatic zones of the Department of Quindío, Colombia. *Agronomy*, vol. 13, no. 2560. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102560>
- Figueiredo, L.P., Borém, F.M., Ribeiro, F.C., Giomo, G.S., da Silva Taveira, J.H., Malta, M.R. 2015. Fatty acid profiles and parameters of quality of specialty coffees produced in different Brazilian regions. *African Journal of Agricultural Research*, vol. 10, no. 35, pp. 3484–3493. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9697>
- Haile, M., Kang, W.H. 2019. Antioxidant activity, total polyphenol, flavonoid and tannin contents of fermented green coffee beans with selected yeasts. *Fermentation*, vol. 5, p. 29. <https://doi.org/10.3390/fermentation5010029>
- Martin, M.J., Pablos, F., Gonzales, A.G., Valdenebro, M.S., Leon-Camacho, M. 2001. Fatty acid profiles as discriminant parameters for coffee varieties differentiation. *Talanta*, vol. 54, no. 2, pp. 291–297. [https://doi.org/10.1016/s0039-9140\(00\)00647-0](https://doi.org/10.1016/s0039-9140(00)00647-0)
- Várady, M., Slusarczyk, S., Boržiková, J., Hanková, K., Vieriková, M., Marcinčák, S., Popelka, P. 2021. Heavy-metal contents and the impact of roasting on polyphenols, caffeine, and acrylamide in specialty coffee beans. *Foods*, vol. 10, 1310. <https://doi.org/10.3390/foods10061310>
- Várady, M., Tauchen, J., Frankova, A., Kloucek, P., Popelka, P. 2022a. Effect of method of processing specialty coffee beans (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on bioactive and volatile compounds. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 172, 114245. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114245>
- Várady, M., Tauchen, J., Kloucek, P., Popelka, P. 2022b. Effects of total dissolved solids, extraction yield, grinding, and method of preparation on antioxidant activity in fermented specialty coffee. *Fermentation*, vol. 8, 375. <https://doi.org/10.3390/fermentation8080375>
- Várady, M., Boržiková, J., Popelka, P. 2024. Effect of processing method (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on the availability of heavy metals in specialty coffee. *Heliyon*, vol. 10, no. 3, e25563. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25563>
- Vignoli, J.A., Viegas, M.C., Bassoli, D.G., Benassi, M.T. 2014. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of Arabica and Robusta coffees. *Food Research International*, vol. 61, pp. 279–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.006>

Kontaktná adresa autorov:

Mgr. Matúš Várady, PhD., Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika, e-mail: matus.varady@uvlf.sk

Sezónna variabilita kvalitatívnych parametrov mlieka malých prežúvavcov

Seasonal Influence on the Physicochemical Properties of Milk from Small Ruminants

Jana Výrostková, Mariana Kováčová, Ivana Regecová

Abstract: The study analyzes the effect of the month of milking on the physico-chemical properties of sheep and goat milk. In sheep milk, fat content increased from $5.63 \pm 0.92\%$ in April to $9.01 \pm 0.72\%$ in September, and fat-free dry matter rose from $8.88 \pm 0.37\%$ to $13.21 \pm 0.38\%$. Lactose levels decreased, with a drop in goat milk from $4.36 \pm 0.44\%$ to $3.95 \pm 0.52\%$. Protein content in goat milk ranged from $3.26 \pm 0.65\%$ to $4.01 \pm 0.67\%$. The highest density of sheep milk was recorded in September at 1034.48 ± 0.39 g/l. No added water was detected in any milk sample. The results confirm significant variability in quality parameters during lactation ($p < 0.001$) and highlight the suitability of sheep and goat milk for dairy product manufacturing depending on the lactation stage. The diverse composition and physico-chemical properties of ruminant milk influence its processing characteristics and the structural changes induced by processing, which may further affect the properties of the resulting dairy products.

Keywords: quality of milk, physico-chemical analysis, sheep and goat milk

Úvod

Fyzikálno-chemická analýza predstavuje kľúčový nástroj na hodnotenie kvality mlieka ako aj mliečnych výrobkov z neho vyrobených. Určenie fyzikálno-chemických vlastností mlieka, stanovenie koncentrácie jednotlivých zložiek je nevyhnutné pre posúdenie jeho kvality pre ďalšie spracovanie (Kamao a kol., 2007). Ovčie a kozie mlieko zohráva dôležitú úlohu vo výžive v mnohých častiach sveta. Celosvetovo zaznamenala produkcia ovčieho a kozieho mlieka v posledných desaťročiach rýchly rast a predpokladá sa, že do roku 2030 sa ďalej zvýši o 26 %, respektíve 53 %. Rastúci dopyt spotrebiteľov po ovčom a kozom mlieku pramení z ich vnímaných zdravotných výhod a rastúceho záujmu znalcov o ich produkty (Pulina a kol., 2018). Zloženie a fyzikálno-chemické vlastnosti mlieka sa prirodzene líšia medzi druhmi prežúvavcov (Raynal-Ljutovac a kol., 2007). Medzi známe vlastnosti ovčieho a kozieho mlieka, ktoré sa líšia od kravského mlieka, patrí vyšší podiel mastných kyselín (MK) so stredne dlhým reťazcom, vyšší obsah bielkovín a tukov v ovčom mlieku a nižší obsah α s1-kazeínu v kozom mlieku (Park a kol., 2007). V rámci každého druhu sú vlastnosti mlieka ovplyvnené štádiom laktácie, pôrodnosťou, stravou a podnebím, ktoré sa môžu líšiť v rôznych ročných obdobiach v závislosti od produkčných systémov (Timlin a kol., 2021). Sezónne zmeny v zložení ovčieho a kozieho mlieka boli zaznamenané celosvetovo (Sevi a kol., 2004; Garzón a kol., 2021; de la Fuente a kol., 2009). Produkcia mlieka je pri týchto druhoch zvierat sezónna, pričom zvieratá rodia a začínajú produkovať mlieko v rovnakom ročnom období (zvyčajne koncom zimy až na jar), aby lepšie využívali čerstvé pastviny ako hlavný zdroj krmiva (Auldist a kol., 1998). V takýchto systémoch sa postupujúce štádiá laktácie synchronizujú s rôznymi ročnými obdobiami a zohrávajú dôležitú úlohu pri ovplyvňovaní zloženia a vlastností sezónneho mlieka. Okrem toho sa podnebie a strava zvierat môžu v rôznych ročných obdobiach líšiť a môžu prispievať k rôznym vlastnostiam mlieka. Predchádzajúce štúdie preukázali, že sezónnosť zohráva dôležitú úlohu pri ovplyvňovaní zloženia mlieka (Li a kol., 2022).

Rôzne zloženie a fyzikálno-chemické vlastnosti mlieka prežúvavcov ovplyvňujú jeho spracovateľské vlastnosti a štrukturálne zmeny vyvolané spracovaním, čo môže ďalej ovplyvniť vlastnosti produktu a jeho trávenie. Napríklad je známe, že ovčie a kozie mlieko má

nižšiu tepelnú stabilitu ako kravské mlieko (Pan a kol., 2022). Kozie mlieko produkuje slabší jogurt a syridlo indukované syridlom ako kravské a ovčie mlieko (Miocinovic a kol., 2016). Cieľom tejto štúdie je komplexne charakterizovať zloženie a fyzikálno-chemické vlastnosti ovčieho a kozieho mlieka v oblasti východného Slovenska a pochopiť vplyv sezónnych výkyvov a zmien vyvolaných teplom na vlastnosti mlieka.

Materiál a metodika

Vzorky mlieka pochádzali z farmy na východnom Slovensku v období od apríla do septembra. Ovce a kozy boli dojené dvakrát denne (ráno a večer). Mlieko sa získavalo ručným dojením (z ranného dojenia) v súlade s hygienickými podmienkami do sterilných nádob na vzorky a prepravené pri teplote 4 °C do laboratória Univerzity veterinárneho lekárstva a farmácie v Košiciach a následne podrobené fyzikálno-chemickej analýze.

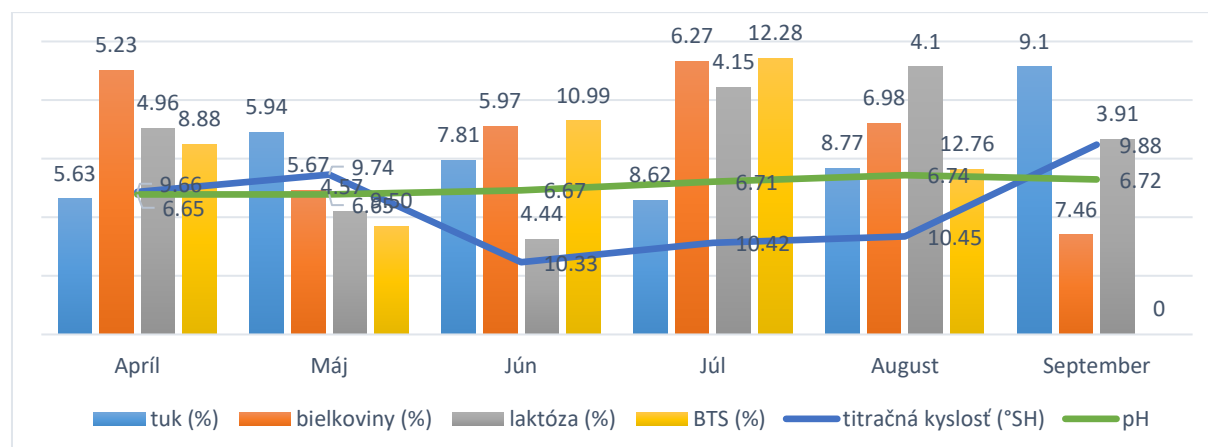
Obsah tuku, bielkovín, laktózy, sušiny bez tuku (BTF), pridanej vody a hustota vo vzorkách ovčieho a kozieho mlieka boli analyzované pomocou prístroja na analýzu mlieka Lactoscan MCCW (Milkotronic Ltd., Nova Zagora, Bulharsko) (Hajmohammadi a kol., 2020), ktorý bol výrobcom predkalibrovaný na meranie parametrov surového ovčieho a kozieho mlieka podľa štandardných metód a postupov. Hodnota pH bola určená pomocou pH metra 7110 (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten, Nemecko), ktorý sa pred každým meraním kalibroval pomocou štandardných tlmivých roztokov s pH 4,01 a 7,00 (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten, Nemecko). Titračná kyslosť (TK) mliečnych vzoriek bola stanovená pomocou Soxhlet-Henkelovej metódy a vyjadrená v °SH na 100 ml (Hanuš a kol., 2020).

Číselné údaje prezentované v tejto štúdii sú vyjadrené ako priemerná hodnota pre každý parameter $\pm$ štandardná odchýlka. Štatistická analýza bola vykonaná jednofaktorovou analýzou rozptylu. ANOVA a Tukeyho test pre viacnásobné porovnanie priemerov s intervalom spoľahlivosti nastaveným na 95 % boli vykonané pomocou štatistického softvéru GraphPad Prism 8.3.0.538 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA).

Výsledky a diskusia

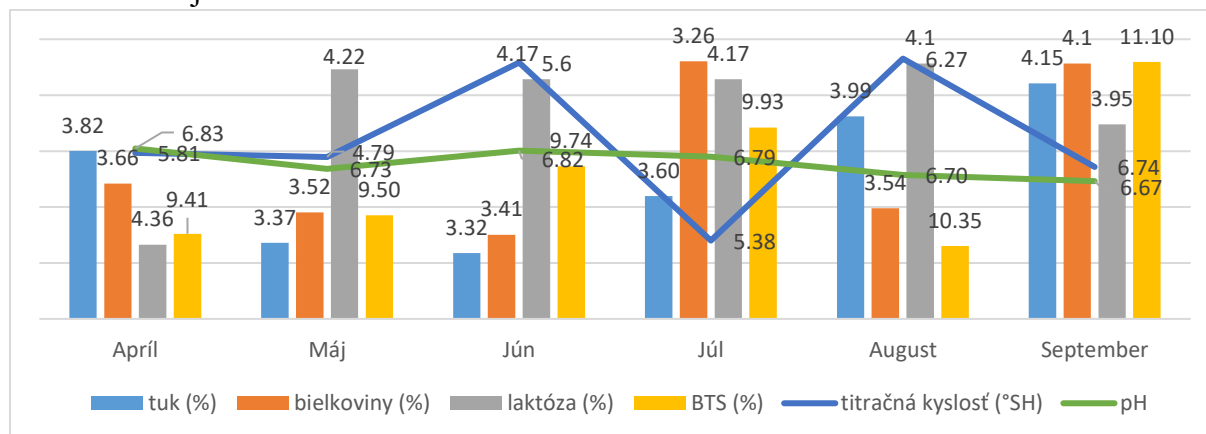
Fyzikálna a chemická analýza je dôležitým nástrojom na určenie kvality ovčieho a kozieho mlieka a mliečnych výrobkov. Vplyv jednotlivých mesiacov na kvalitatívne vlastnosti mlieka zaznamenali štúdie viacerých autorov (Bhosale a kol., 2009; Vijayakumar a kol., 2017). Sezóna produkcia významne ovplyvnila všetky kvalitatívne znaky mlieka. Priemerná hodnota vybraných fyzikálnych a chemických parametrov ovčieho a kozieho mlieka sú zhrnuté v grafoc 1 a 2.

Graf 1. Priemerné hodnoty fyzikálno-chemických ukazovateľov ovčieho mlieka v závislosti od mesiaca dojenia



Ovčie mlieko má vyššiu špecifickú hmotnosť, viskozitu, index lomu, titračnú kyslosť a nižší bod tuhnutia a obsahuje vyšší celkový obsah sušiny a vyšší obsah živín ako kravské mlieko. Veľkosť tukových guľôčok je v ovčom mlieku menšia (65 % guľôčok je menších ako 3 μ m). To je výhodné pre stráviteľnosť a efektívnejší metabolizmus lipidov v porovnaní s tukom v kravskom. Všeobecne sa výroba ovčieho mlieka sústreďuje na výrobu syrov, ktorá sa zvyčajne vykonáva na úrovni fariem alebo v malých miestnych mliekarnách. Charakteristiky zloženia uprednostňujú ovčie mlieko na výrobu syrov (Merlin Junior a kol., 2015). V ovčom mlieku mesiac dojenia významne ovplyvnil všetky kvalitatívne znaky analyzovaného mlieka (Graf 1). Obsah tuku a beztukovej sušiny sa zvyšoval s časom laktácie ($p < 0,001$). Najvyšší nárast bol zaznamenaný u obsahu tuku a beztukovej sušiny, keď sa obsah tuku zvýšil z apríla o $5,63 \pm 0,92$ % na $9,01 \pm 0,72$ % v septembri a tiež obsah beztukovej sušiny sa zvýšil na $13,21 \pm 0,38$ % v septembri v porovnaní s $8,88 \pm 0,37$ % v apríli (Graf 1). Koncentrácia bielkovín v ovčom mlieku, ako aj tuku a bielkoviny, sa počas laktačného obdobia zvýšila ($p < 0,001$). Hlavným cieľom štúdie Bhosale a kol., 2009 bolo sledovať vplyv jednotlivých mesiacov laktácie na zloženie a fyzikálno-chemické vlastnosti mlieka. Jednotlivé mesiace poukázali na významné rozdiely v obsahu tuku, čo sa zhoduje aj so štúdiou Charnobai a kol., 1999. Merlin Junior a kol., 2015 vo svojej štúdii zaznamenali priemerné hodnoty tuku (7,28 %) a bielkovín (5,86 %) v ovčom mlieku, ktoré zodpovedajú našim výsledkom v grafe 1. Obsah laktózy bol však najnižší na konci laktácie v septembri ($p < 0,001$). Rozdiel zistený v hladinách laktózy medzi rôznymi publikáciami a našou štúdiou možno vysvetliť zhoršením zdravia vemen. Je dobre známe, že hladiny laktózy sú znížené počas klinickej a subklinickej mastitídy, ktorá je tiež spojená s vysokým SCC (Seelvaggi a kol. 2014; Pirisi a kol., 1999). Hustota ovčieho mlieka bola najnižšia v máji $1033,17 \pm 0,27$ g/l a najvyššia v septembri $1034,48 \pm 0,39$ g/l. Zvýšenie hustoty a zníženie obsahu laktózy v našej štúdii súvisí aj s vysokým počtom somatických buniek. Prítomnosť pridanej vody nebola zistená v žiadnej vzorke ovčieho mlieka. Mesiace dojenia ovplyvnili kyslosť ovčieho mlieka ($p < 0,001$). Výsledky stanovenia pH počas celého obdobia nepreukázali žiadnu významnú zmenu ($p > 0,05$).

Graf 2. Priemerné hodnoty fyzikálno-chemických ukazovateľov kozieho mlieka v závislosti od mesiaca dojenia



Analýzy chemického zloženia a fyzikálnych vlastností kozieho mlieka (Graf 2) ukazujú významné zmeny v obsahu tuku, najmä medzi júnom a septembrom ($p < 0,001$). V prípade ukazovateľa tuku existoval vzťah medzi množstvom tuku a jednotlivými mesiacmi dojenia. Mlieko v poslednom mesiaci a v prvom mesiaci laktácie malo vyšší obsah bielkovín ako mlieko v strednej fáze laktácie ($p < 0,05$). Podobný trend sa zistil aj pri obsahu tuku, s výrazne vyššími hodnotami v skorých a neskorých fázach laktácie v porovnaní so strednými fázami laktácie.

Obsah bielkovín sa pohyboval v rozmedzí od $3,26 \pm 0,65$ % do $4,01 \pm 0,67$ % ($p < 0,001$) (Graf 2). Parametre kozieho mlieka, najmä obsah bielkovín (Graf 2), boli ovplyvnené jednotlivými mesiacmi. Priemerný obsah bielkovín v kozom mlieku je 3,4 % (Goetsch a kol., 2001). Naše výsledky ukázali vyššiu hodnotu zistených bielkovín vo vzorkách kozieho mlieka (Graf 2). Rastúci trend obsahu tuku od začiatku do konca laktácie potvrdili Vacca a kol., 2010 a Přidalová a kol., 2008 v kozom mlieku. Rovnako ako v našom prípade, aj ďalšie štúdie Guo a kol., 2001; Strzałkowska a kol., 2010 a Mestawet a kol., 2012 zistili najnižší obsah tuku v kozom mlieku v strednom štádiu laktácie, rovnako ako výsledky našej štúdie (Graf 2) počas júna a júla. McInnis a kol., 2015 potvrdili vyššiu prítomnosť tuku a bielkovín počas prvého mesiaca dojenia.

Výsledky poukazujú aj na pokles laktózy počas mesiaca dojenia ($p < 0,05$). Najvyššia hladina bola na začiatku laktácie v apríli $4,36 \pm 0,44$ % a najnižšia na konci laktácie 3,95 $\pm$ 0,52 %. Obsah beztukovej sušiny a hustota kozieho mlieka sa počas tohto obdobia významne zvýšili ($p < 0,001$). Vyššia koncentrácia BTS bola zaznamenaná v septembri (Graf 2). Hustota kozieho mlieka bola počas celého obdobia nestabilná ($p < 0,001$). Rovnako ako v ovčom mlieku, ani v kozom mlieku nebola zistená žiadna pridaná voda. To znamená, že nedošlo k žiadnemu pokusu o falšovanie mlieka. Kyslosť kozieho mlieka sa počas roka menila ($p < 0,001$). Najvyššia kyslosť kozieho mlieka bola zistená v septembri a najnižšia hodnota bola zistená počas mája. V súlade s tým, keďže čím vyššia je kyslosť, tým nižšie je pH, pH bolo na jar vyššie (apríl - pH $6,83 \pm 0,70$) a v porovnaní na jeseň nižšie (september $6,67 \pm 0,90$).

Záver

Z výsledkov vyplýva, že mesiac dojenia významne ovplyvňuje fyzikálno-chemické vlastnosti ovčieho aj kozieho mlieka. V oboch druhoch mlieka bol pozorovaný nárast obsahu tuku, bielkovín a sušiny smerom ku koncu laktácie. Laktóza naopak postupne klesala, čo môže súvisieť so zdravotným stavom vemená. Hustota, kyslosť a ďalšie ukazovatele sa tiež menili podľa fázy laktácie. Tieto zmeny poukazujú na potrebu zohľadňovať mesiac dojenia pri hodnotení kvality mlieka a jeho vhodnosti na jeho ďalšie spracovanie.

Literatúra

- AULDIST, Martin J.; WALSH, Brian J.; THOMSON, Norman A. Seasonal and lactational influences on bovine milk composition in New Zealand. *Journal of Dairy Research*, 1998, 65(3): 401–411.
- CHORNOBAI, C. A., et al. Physical-chemical composition of in natura goat milk from cross Saanen throughout lactation period. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 1999, 49(3): 283–286.
- DE LA FUENTE, L. F., et al. Factors influencing variation of fatty acid content in ovine milk. *Journal of Dairy Science*, 2009, 92(8): 3791–3799.
- GARZÓN, A., et al. Derivation of multivariate indices of milk composition, coagulation properties, and curd yield in Manchega dairy sheep. *Journal of Dairy Science*, 2021, 104(8): 8618–8629.
- GOETSCH, A. L., et al. Dairy goat performance with different dietary concentrate levels in late lactation. *Small Ruminant Research*, 2001, 41(2): 117–125.
- GUO, Ming R., et al. Seasonal changes in the chemical composition of commingled goat milk. *Journal of Dairy Science*, 2001, 84: E79–E83.
- HAJMOHAMMADI, M., et al. Composition and occurrence of aflatoxin M1 in cow's milk samples from Razavi Khorasan Province, Iran. *International Journal of Dairy Technology*, 2020, 73: 40–45.
- HANUŠ, O., et al. Změny technologických vlastností mléka malých přežvýkavců v důsledku falšování mlékem kravským. *Mlékařské listy* 183, 2020, 31: 4–13.
- KAMAO, M.; TSUGAWA, N.; SUHARA, Y.; OKANO, T. Determination of fat-soluble vitamins in human plasma, breast milk and food samples: Application in nutrition survey for establishment of "Dietary Reference Intakes for Japanese". *Journal of Health Science*, 2007, 53: 257–262. <https://doi.org/10.1248/jhs.53.257>
- LI, Siqi; YE, Aiqian; SINGH, Harjinder. Seasonal variations in the characteristics of milk fat and the whipping properties of cream. *International Dairy Journal*, 2022, 127: 105288.
- MCINNIS, Elizabeth A., et al. Analysis of raw goat milk microbiota: Impact of stage of lactation and lysozyme on microbial diversity. *Food Microbiology*, 2015, 46: 121–131.
- MERLIN JUNIOR, Ivandré Antonio, et al. Sheep milk: physical-chemical characteristics and microbiological quality. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 2015, 65(3): 193–198.

- MESTAWET, T. A., et al. Milk production, composition and variation at different lactation stages of four goat breeds in Ethiopia. *Small Ruminant Research*, 2012, 105(1–3): 176–181.
- MIOCINOVIC, J., et al. Rheological and textural properties of goat and cow milk set type yoghurts. *International Dairy Journal*, 2016, 58: 43–45.
- PAN, Zheng, et al. Kinetics of heat-induced interactions among whey proteins and casein micelles in sheep skim milk and aggregation of the casein micelles. *Journal of Dairy Science*, 2022, 105(5): 3871–3882.
- PARK, Y. W., et al. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 2007, 68(1–2): 88–113.
- PIRISI, Antonio, et al. Effects of sheep α s1-casein CC, CD and DD genotypes on milk composition and cheesemaking properties. *Journal of Dairy Research*, 1999, 66(3): 409–419.
- PŘIDALOVÁ, Hana, et al. Safety and quality of milk products from goat's farm in Czech Republic. *Acta Scientiarum Polonorum: Medicina Veterinaria*, 2008, 7(4).
- PULINA, G., et al. Invited review: Current production trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(8): 6715–6729.
- RAYNAL-LJUTOVAC, K., et al. Heat stability and enzymatic modifications of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 2007, 68(1–2): 207–220.
- SELVAGGI, Maria, et al. Investigating the genetic polymorphism of sheep milk proteins: a useful tool for dairy production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(15): 3090–3099.
- SEVI, A., et al. Effects of lambing season and stage of lactation on ewe milk quality. *Small Ruminant Research*, 2004, 51(3): 251–259.
- STRZAŁKOWSKA, Nina, et al. The concentration of free fatty acids in goat milk as related to the stage of lactation, age and somatic cell count. *Animal Science Papers and Reports*, 2010, 28(4): 389–395.
- TIMLIN, Mark, et al. The impact of seasonality in pasture-based production systems on milk composition and functionality. *Foods*, 2021, 10(3): 607.
- VACCA, Giuseppe M., et al. Relationships between milk characteristics and somatic cell score in milk from primiparous browsing goats. *Animal Science Journal*, 2010, 81(5): 594–599.

Kontaktné adresy autorov:

Jana Výrostková, doc. MVDr., PhD., Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárského lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, Košice 041 81 e-mail: jana.vyrostkova@uvlf.sk

Mariana Kováčová, PhDr., PhD., Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárského lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, Košice 041 81 e-mail: mariana.kovacova@uvlf.sk

Ivana Regecová, doc. MVDr., PhD., Katedra hygieny, technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárského lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, Košice 041 81 e-mail: ivana.regecova@uvlf.sk

Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti
pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy
pri Slovenskej akadémii vied v Bratislave, 2025

Pedologická sekcia



KOEFICIENT ŠTRUKTÚRNOSTI AKO SÚČASŤ PÔDNEJ ŠTRUKTÚRY RÔZNYCH SYSTÉMOV OBRÁBANIA PÔDY

THE STRUCTURAL COEFFICIENT AS PART OF THE SOIL STRUCTURE OF VARIOUS SOIL TILLAGE SYSTEMS

Rastislav Bušo, Roman Hašana

Abstract: This study examined the impact of various tillage technologies (conventional, minimization, mulch-till, no-till) on the soil structural coefficient in selected growing seasons (2006 – 2021). On average, from 2006 to 2021, the soil structural coefficient was lowest in conventional technology and highest in no-till technology. From the perspective of soil structure over the period 2006 - 2021, a trend indicating the advantages of conservation technologies can be observed, especially in years when high temperatures are combined with significant rainfall deficits.

Keywords: structural coefficient, soil tillage, conventional, minimization, mulch-till, no-till, conservation agriculture

Úvod

V našich zemepisných šírkach sa využívajú, okrem konvenčnej, i tzv. konzervačné technológie obrábania pôdy. Tieto technológie sa na Slovensku využívajú už desiatky rokov a sú s nimi dobré skúsenosti. Rovnako dobré skúsenosti majú farmári nielen v Európe ale na celom svete. Farmárov na Slovensku k ich používaniu vedú nielen špecifické podmienky Slovenska, ale aj zmenené ekonomické (financie) i ekologické podmienky (podnebie, pôda, vlaha, atď.). Základnou filozofiou týchto spôsobov obrábania pôdy je uchovať (konzervovať) v pôde všetko, čo je z hľadiska jej úrodnosti priaznivé a vylúčiť všetky negatívne vplyvy na pôdu spôsobené nesprávnym hospodárením človeka.

Medzi najdôležitejšie dôvody riešenia problematiky konzervačných technológií, z pohľadu nielen farmárskej praxe, ale aj vedy a výskumu, patrí obmedzenie spotreby pohonných hmôt, úspora pracovných síl, vývoj nových strojov na obrábanie pôdy, uľahčenie a urýchlenie obrábania pôdy, skrátenie pracovnej špičky pri zakladaní porastov, poznanie vplyvu mechanického obrábania na pôdne vlastnosti a vývoj rastliny, zavedenie účinných herbicídov, ochrana pred vodnou a veternou eróziou, uchovanie pôdnej vlahy. Nezanedbateľné je i ekonomické hľadisko, najmä v dnešnom čase nárastu cien vstupov do poľnohospodárskej prvovýroby.

Obrábanie pôdy tak nemožno opomínať pre jeho mnohostranný význam vo vzťahu k nasledujúcim pracovným operáciám a k dosiahnutiu konečného výsledku – úrody.

Súčasný stav riešenej problematiky

Pôdna štruktúra je jedným z parametrov kvality pôdy (Kay. *et al.* 2006), dôležitým činiteľom pri vytváraní priaznivých fyzikálnych podmienok pri pestovaní kultúrnych rastlín. Ako uvádzajú Žak *et al.* (2005) pôdna štruktúra rozhoduje o zabezpečení rastlín dostatočným množstvom fyziologicky prístupnej vlahy, prevzdušnení a uvoľňovaní živín v prijateľnej forme. Štruktúra pôdy je dôležitá vlastnosť, ktorá ovplyvňuje fyzikálno-chemicko-biologické procesy v pôde. Pôdne častice sa prirodzenými silami pútajú do zhlukov, tzv. agregátov. Agregáty sú tvorené minerálnym i organickým podielom a sú stmelované pomocou zlúčenín hliníka, železa, vápnika a humusovými látkami. Pevnosť tejto prirodzenej väzby, ktorá drží agregáty pohromade, je veľmi dôležitá, pretože určuje ich stabilitu. Štruktúrny stav pôdy je vzájomne priestorové usporiadanie týchto agregátov. Agregáty podľa veľkosti rozlišujeme na

makroagregáty, ktoré sú väčšie ako 250 μm a mikroagregáty, s veľkosťou 2 – 250 μm . Častice menšie ako 2 μm označujeme ako ílovité častice (Tisdall & Oades 1982). Koeficient štruktúrnosti je indikátor, ktorým sa určuje kvalita štruktúrneho stavu pôdy a stupeň poškodenia pôdnej štruktúry. Koeficient štruktúrnosti vyjadruje vzťah medzi agronomicky hodnotnými (0,25 – 10 mm) a menej hodnotnými štruktúrnymi elementami (> 10 a $< 0,25$ mm). Výsledkom je bezrozmerné číslo. Čím je vyšší koeficient štruktúrnosti, tým je pôdna štruktúra lepšia, a naopak (Hůla *et al.* 2010). Koeficientom štruktúrnosti (KS) je vyjadrená kvalita pôdnej štruktúry. Je to pomer medzi štruktúrnymi časticami (agregátmi) a zvyškom pôdy v pôdnom profile (Vopravil *et al.* 2011). Tebrügge & Eichhorn (1992) pri skúmaní ekonomických a ekologických aspektov obrábania pôdy porovnávali tri systémy spracovania pôdy, pričom veľkosti a stability pôdnych agregátov pripisovali rozhodujúcu funkciu pri formovaní pôdnej štruktúry. Miština & Kováč (1993) uvádzajú, že obrábanie pôdy môže nepriaznivo ovplyvniť stabilitu pôdnych agregátov s následnou tvorbou pôdneho prísušku, redukciu infiltrácie a vzchádzania rastlín. Van Ouwerkerk (1992) považuje za najdôležitejšiu štruktúru pôdy v mieste, ktoré je najcitlivejšie z hľadiska rozvoja koreňovej sústavy rastliny t.j. v oblasti osivového lôžka. Z agronomického hľadiska je podľa Dema (1995) významný podiel makroagregátov, za ktoré považujeme obyčajne zhluky, ktoré pozostávajú z viacerých vzájomne scementovaných častíc. Za dolnú hranicu pre rozmer makroagregátov sa prijalo 0,25 mm, kým ich horná hranica má viac-menej relatívnu hodnotu. Väčšina autorov považuje za takúto hranicu rozmer do 7 mm, niektorí až 10 mm i viac. Zhoda je však v tom, že za agronomicky najcennejšie sa považujú agregáty, ak ich rozmer je medzi 0,5 – 3 mm (Tebrügge & Eichhorn 1992; Demo *et al.*, 1995 a iní). Veľkosť pôdnych agregátov môžeme teda považovať za faktor určujúci charakter pôdnej štruktúry. Meranie veľkosti pôdnych agregátov a ich zastúpenie v jednotlivých veľkostných skupinách predstavuje metódu, ktorou môžeme charakterizovať či už účinky konkrétnych pracovných orgánov strojov, ako aj vplyv jednotlivých technológií obrábania pôdy (Nozdrovický & Abellová, 1998). Diferencovaným aspektom obrábania pôdy aj vo vzťahu k fyzikálnym vlastnostiam pôdy sa v zahraničí venovali napr. López-Fando & Almendros (1995), Suškevič (1995), Etana *et al.* (1999), Hao *et al.* (2001), Knežević *et al.* (2003), Matula (2003), Stipešević & Kladivko (2005). V našich podmienkach sa týmito technológiami zaoberali viacerí autori, ako napr. Miština & Kováč (1993), Žák *et al.* (2002, 2006), Kotorová & Hnát (2005), Žembery (2016), Kotorová & Šoltysová (2015), Pires (2017), Fernandes (2023).

Cieľom príspevku je v časovom období rokov 2006 – 2021 zdokumentovať vplyv rôznych spôsobov obrábania pôdy v pokusoch NPPC – VÚRV v Piešťanoch na koeficient štruktúrnosti pôdy vo vzťahu k poveternostným pomeroch v sledovaných ročníkoch.

Materiál a metódy

Pokusy s rôznymi technológiami obrábania pôdy, v rámci osevného postupu pšenica ozimná – kukurica na zrnó – jačmeň jarný – sója fazuľová, sme realizovali na Výskumnom pracovisku NPPC VÚRV v Piešťanoch, lokalita Borovce. Oblasť má kontinentálne podnebie s dlhodobým ročným priemerom zrážok 593 mm, z toho 358 mm počas vegetačného obdobia. Dlhodobý priemer ročnej teploty je 9,2 °C, počas vegetácie 15,5 °C. Nadmorská výška je 167 m n. m. Oblasť patrí do kukurično-jačmenného výrobného typu. Pôda na pokusnom stanovišti je hlinitá černoziem hnedozemná, na spraši s hĺbkou humusového horizontu 400 – 500 mm, so strednou zásobou P a K, s neutrálnou až slabo kyslou pôdnou reakciou. Obsah humusu v orničnom profile je stredný (2,43 %), v podorničných horizontoch nízky (0,87 – 1,84 %).

Zvolený osevný postup čiastočne odráža súčasný podiel pestovateľských plôch obilnín na Slovensku (viac ako 50 %), zastúpenie jednej bôbovitej plodiny a jednej obilniny, ktorá je ošetrovaná ako okopanina – kukurica na zrnó. Veľkosť zberovej plochy pokusnej parcely jednej plodiny je 9 m x 35 m, t.j. 315 m².

V rámci riešenia tejto problematiky sú skúšané štyri technológie obrábania pôdy: konvenčná, minimalizačná, nastielacia a bezorbová technológia.

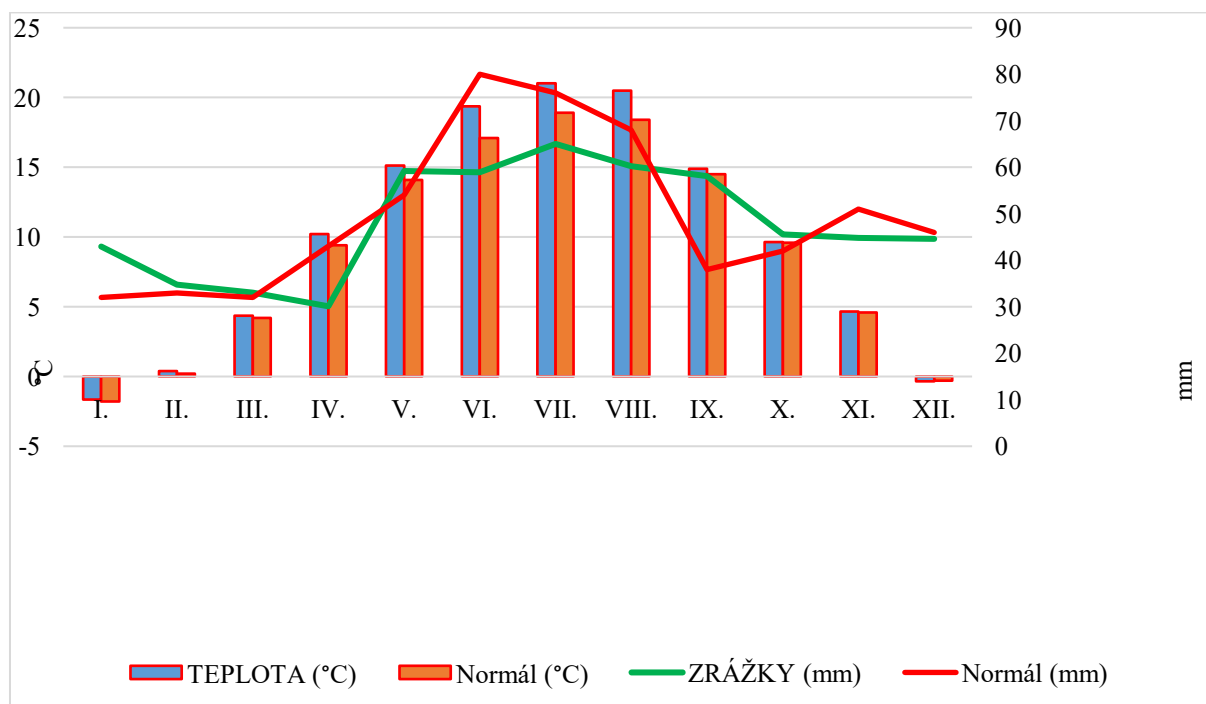
Konvenčná technológia predstavuje spôsob obrábania pôdy založený na orbe. Pri tejto technológii pozberové zvyšky rastlín pokrývajú povrch pôdy v rozsahu od 0 do 15 %, čo predstavuje „klasické“ obrábanie pôdy.

Minimalizačná technológia predstavuje konzervačné obrábanie pôdy s využitím kyprčov (plytká kultivácia) s následnou sejbou, po ktorej býva povrch pôdy pokrytý rastlinnými pozberovými zvyškami na 15 – 30 %.

Pri nastielacej technológii, ktorá je konzervačnou technológiou, sa vykonáva podmiетка dlátovým náradím, ktorým sa pôda nadvihne, premieša, ale neobracia. Cieľom je, aby bola pôda po sejbe pokrytá pozberovými zvyškami predplodiny na viac ako 30 %.

No-till (bezorbová) technológia patrí medzi konzervačné technológie; jej základom je priama sejba, t.j. sejba do neobrobenej pôdy. Po sejbe zostáva povrch pôdy pokrytý rastlinnými zvyškami na viac ako 30 %.

Pri každej hodnotenej technológii obrábania pôdy sme v poľných podmienkach odobrali vzorky pôdy na stanovenie pôdnej štruktúry. Vzorky sme vyhodnocovali z priemernej vrstvy 0,0 – 0,3 m. Po prirodzenom vysušení pôdnych vzoriek atmosférickým vzduchom sme odobrali zo vzorky 250 g, odvážili a podrobili separácii na laboratórnom preosievacom vibračnom prístroji Analysette 3. Koeficient štruktúrnosti pôdy sme stanovili z výsledkov získaných preosievacou analýzou za sucha (tzv. agregátovou analýzou za sucha). Hodnotenie meteorologických ukazovateľov sme robili v pestovateľských rokoch 2006 – 2021, ktoré sa, tak v zrážkach ako aj v teplotách, prejavovali ako kritické pre štruktúrnosť pôdy. Na Obr. 1 je uvedené grafické znázornenie priebehu teplôt vzduchu a zrážok v priemere daných rokov.

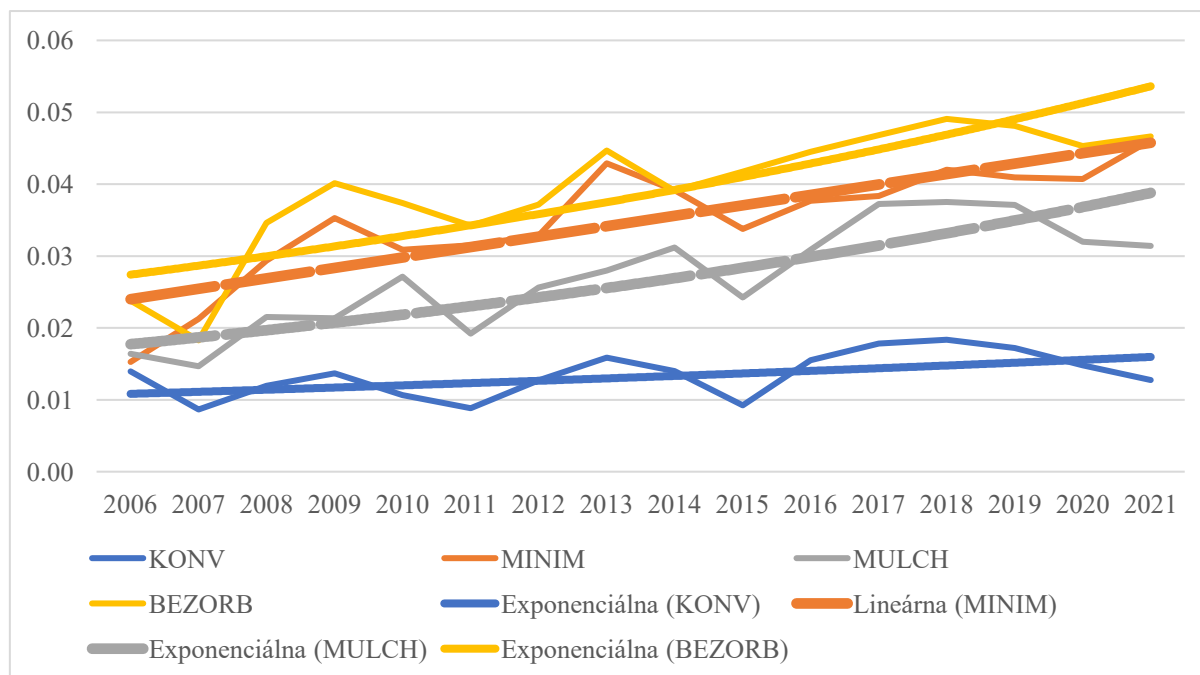


Obr. 1. Teploty (°C) a zrážky (mm), v lokalite Borovce (priemer rokov 2006 – 2021)

Výsledky a diskusia

Koeficient štruktúrnosti pôdy odráža kvalitu pôdneho prostredia a signalizuje riziko možného zhutnenia pôdy. Pre štruktúrne pôdy by jeho hodnota mala byť vyššia ako 1,0.

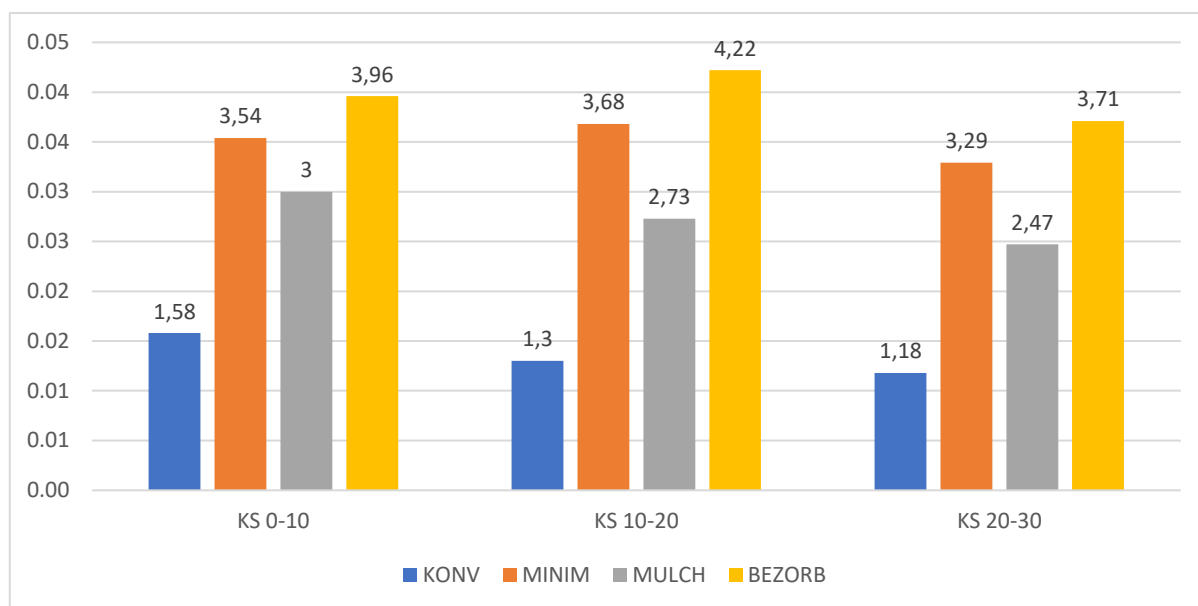
Pri konvenčnom spracovaní pôdy vykazoval koeficient štruktúrnosti (Obr. 2) mierne rastúci trend, avšak tento bol výrazne nižší v porovnaní s ostatnými sledovanými technológiami. Nastielacia technológia viedla k zvýšeniu hodnôt koeficientu štruktúrnosti v porovnaní s konvenčnou technológiou a trend zvyšovania hodnôt bol tiež výraznejší.



Hdd obráb. = 0,3517 ++ Hdd ročník = 0,4195 ++

Obr. 2. Hodnoty koeficientu štruktúrnosti pôdy v závislosti od technológie obrábania pôdy (priemer z profilu pôdy 0 – 30 cm)

V podmienkach minimalizačnej technológie sme zaznamenali vyššie hodnoty koeficientu štruktúrnosti v porovnaní s konvenčnou aj nastielacou technológiou. Trend medzi nastielacou a minimalizačnou technológiou bol v dlhšom časovom horizonte približne rovnaký. Najvyššie hodnoty koeficientu štruktúrnosti sme dosiahli pri bezorbovej technológii, ktorá vykazovala niekoľkonásobne vyššie hodnoty ako konvenčná technológia, a tiež vyššie hodnoty v porovnaní s minimalizačnou a nastielacou technológiou. Podobné výsledky uvádzajú aj Nozdrovický a Abelsová (1998), ktorí zistili, že bezorbová technológia umožňuje dosiahnuť najvyššiu hodnotu koeficientu štruktúrnosti pôdy a najväčší podiel agregátov veľkých 0,25-8,0 mm, čo svedčí o najlepšej štruktúre pôdy. Naše výsledky sú porovnateľné, keďže pri bezorbovej technológii sme dosiahli vyššiu hodnotu koeficientu štruktúrnosti pôdy ako pri konvenčnom obrábaní pôdy (Obr. 3). V dlhodobom časovom horizonte môžeme pozorovať, že rozdiely medzi bezorbovou a minimalizačnou technológiou sa v posledných rokoch zväčšovali v prospech bezorbovej technológie.



Hdd obráb. = 0,4731 ++

Obr. 3. Hodnoty koeficientu štruktúrnosti pôdy v závislosti od technológie obrábania pôdy z jednotlivých vrstiev profilu 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 cm

Vo všetkých sledovaných hĺbkach (Obr. 3) pôdneho profilu sme zaznamenali najnižší koeficient štruktúrnosti pri konvenčnej technológii. Vo všetkých vrstvách nasledovala nastielacia technológia a potom minimalizačná. Vo vrstvách 0 – 10 cm, 10 – 20 cm a 20 – 30 cm mala najvyšší koeficient štruktúrnosti bezorbová technológia. Najvýraznejší rozdiel medzi konvenčnou a bezorbovou technológiou sme zaznamenali vo vrstve 10 – 20 cm a najnižší v povrchovej vrstve 0 – 10 cm. Vplyv plodín na štruktúru pôdy môže ovplyvniť aj spôsob obrábania pôdy, množstvo organických hnojív, počet prejazdov, množstvo koreňovej hmoty a dĺžka dosahu koreňov (Šarapatka et al., 2010). Zpracovanie slamy do pôdy má pozitívny vplyv na pôdnu štruktúru, čo dokazuje aj Ball et al. (1990). Ročník mal štatisticky významný vplyv na koeficient štruktúrnosti. Obrábanie malo štatisticky významný vplyv na koeficient štruktúrnosti. Problematikou koeficientu štruktúrnosti pôdy sa zaoberali aj Žák et al. (2005), ktorí zistili, že koeficient štruktúrnosti pôdy v integrovanom systéme (s využitím bezorbovej technológie) bol vyšší ako v low input systéme (konvenčná technológia obrábania pôdy). V našom pokuse sa tieto výsledky potvrdili, keďže pri bezorbovej technológii boli hodnoty koeficientu štruktúrnosti pôdy výrazne vyššie ako pri konvenčnej technológii. Na nové trendy v oblasti obrábania pôdy upozorňuje aj Křen (2000).

Záver

V rámci pokusu na Výskumnom pracovisku NPPC VÚRV v Piešťanoch, v lokalite Borovce, sme porovnávali koeficient štruktúrnosti v troch poveternostne rozdielnych rokoch pri rôznych spôsoboch obrábania pôdy. Priemerné hodnoty koeficientu štruktúrnosti pôdy boli najvyššie pri no-till technológii. V konzervačných technológiách, najmä pri minimalizačnej a no-till technológii, sme získali vyššie hodnoty koeficientu štruktúrnosti pôdy. Je však dôležité zohľadniť aj vplyv poveternostných podmienok jednotlivých rokov.

Za obdobie rokov 2006 - 2021 možno pozorovať trend, ktorý naznačuje výhody konzervačných technológií, najmä v rokoch s kombináciou vysokých teplôt a výrazným deficitom zrážok.

Z ekonomického hľadiska sú konzervačné technológie významné aj z dôvodu zlepšenia ďalších fyzikálnych a chemických vlastností pôdy, zvýšenia aktivity pôdneho makro a mikro edafónu,

zamedzenia vodnej a veternej erózie, obmedzenia produkcie skleníkových plynov a ďalších vlastností.

Tieto faktory majú aj významný environmentálny prínos, pretože zlepšenie štruktúry pôdy s pozitívnym vplyvom na biochemické procesy v pôde môže viesť k zníženiu spotreby agrochemikálií, najmä priemyselných hnojív, čo sa potvrdilo aj v našom pokuse.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Inovatívne hnojivá s alternatívnymi prírodnými zdrojmi a ich implementácia v agrotechnických postupoch, 313011BWL7, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja“

Literatúra

- Ball, B. C., Bickerton, D. C., Robertson, E. A. G. (1990). Straw incorporation and tillage for winter barley: Soil structural effects. *Soil and Tillage Research*, Volume 15, Issue 4, 1990, Pages 309-327, ISSN 0167-1987, [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90105-M](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90105-M).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016719879090105M>)
- Demo, M., Kollár B., Hraško RAŠKO, J. 1 (1995). Obrábanie pôdy, vydanie prvé, Nitra –VŠP, 1995, 315 s., ISBN 80-7137-255-2.
- Etana, A., Håkansson, I., Zagal, E., Bučas, S. (1999). Effects of tillage depth on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. *Soil Tillage Res.*, vol. 52, 1999, N. 3-4, pp. 129-139. ISSN 0167-1987.
- Fernandes, M.M.H., da Silva, M. F., Ferraudo, A., S., Fernandes, C. (2023). Soil structure under tillage systems with and without cultivation in the off-season, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 342, 2023, 108237, ISSN 0167-8809, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108237>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880922003863>)
- Hao, X., Chang, C., Lindwall, C.W. (2001). Tillage and crop sequence effects on organic carbon and total nitrogen content in an irrigated Alberta soil. *Soil Tillage Res.*, vol. 62, 2001, N. 3-4, pp. 167-169. ISSN 0167-1987.
- Hůla J., Procházková B., Badalíková B., Dryšlová T., Horáček J., Javůrek M., Kovaříček P., Kroulík M., Kumbhála F., Smutný V., Tipl M., Winkler J. (2010) Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí: uplatněná certifikovaná metodika. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010, 60 s., ISBN 978-80-86884-53-0.
- Kay, B. D., Hajabbasi, M. A., Ying, J., Tollenaar, M. (2006). Optimum versus non-limiting water contents for root growth, biomass accumulation, gas exchange and the rate of development of maize (*Zea mays* L.). *Soil Till. Res.*, 88, 2006, s. 42-54.
- Knežević, M., Durkić, M., Knežević, I., Lončarić, Z. (2003). Effects of pre-and post-emergence weed control on weed population and maize yield in different tillage systems. *Plant Soil Environ.*, vol. 49, 2003, N. 5, pp. 223-229. ISSN 1214-1178.
- Kotorová, D., Hnát, A. (2005). Vplyv spracovania fluvizemí na ich fyzikálne vlastností a na úrodu zrna kukurice (Effect of fluvisols tillage on their physical properties and on maize yield). *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 51, 2005, N. 10, pp. 521-527. ISSN 0551-3677.
- Kotorová, D., Šoltysová, B. (2015). Vplyv pôdnych pomocných látok na fyzikálne a chemické vlastnosti pôd. (in Slovak) 1. vyd. Lužianky: NPPC – Výskumný ústav agroekológie Michalovce, 2015. 95 s. ISBN 978-80-971644-4.
- Křen, J. (2000). Poznámky k současným trendům ve zpracování půdy. Súčasný a perspektívne smery v obrábaní pôdy, zborník z vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou, Nitra: SPU, 2000, s. 69-77, ISBN 80-7137-764-3.
- López-Fando, C., Almendros, G. (1995). Interactive effects of tillage and crop rotations on yield and chemical properties of soils in semi-arid central Spain. *Soil Tillage Res.*, vol. 36, 1995, N. 1-2, s. 45-57. ISSN 0167-1987.
- Matula, S. (2003). The influence of tillage treatments on water infiltration. *Plant, Soil Environ.*, vol. 49, 2003, N. 7, pp. 298-306. ISSN 1214-1178.
- Mišťina, T., Kováč, K. (1993). Ochranné obrábanie pôdy, vydanie prvé, Piešťany: VÚRV, 1993, 167 s., ISBN 80-7137-125-4.
- Nozdrovický, L., Abelsová, J. (1998). Vplyv variantov obrábania pôdy na koeficient štruktúrnosti, *Poľnohospodárstvo*, roč. 44, 1998, č. 7, s. 489-502.
- Pires, L. F., Borges, J. A. R., Rosa, J. A., Cooper, M., Heck, R. J., Passoni, S., Roque, W. L. (2017). Soil structure changes induced by tillage systems, *Soil and Tillage Research*, Volume 165: 66-79, ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.010>.

- Stipešević, B., Kladivko, E. J. (2005). Effects of winter wheat cover crop desiccation times on soil moisture, temperature and early maize growth. *Plant Soil Environ.*, vol. 51, 2005, N. 6, pp. 255-261. ISSN 1214-1178.
- Suškevič, M. (1995). Dlouhodobý vliv různého zpracování půdy na výnosy zrna kukuřice a ozimé pšenice. *Rostl. výr.*, vol. 41, 1995, N. 2, pp. 55-58. ISSN 0370-663X.
- Šarapatka, B., Abrahamová, M., Čížková, S., Dotlačil, L., Hluchý, M., Křen, J., Kuras, T., Laštůvka, Z., Lososova, Z., Pokorný, E., Pokorný, J., Pokorný, R., Salasová, A., Tkadlec, E., Tuf, I., Vácha, M., Zámečník, V., Zeidler, M., Žalud, Z. (2010). *Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření*. Olomouc: Bioinstitut, 2010, 440 s. ISBN 978-80-87371-10-7.
- Tebrügge, F., Eichhorn, H. (1992). Die ökologischen und ökonomischen Aspekte von Bodenbearbeitungssystem. Friebe B.: Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungs – system auf das Ökosystem den Boden (Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Giessen) , Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, 1992, s. 7–20.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M. (1982). Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, Volume 33, 1982, Issue 2, p. 141–163.
- Van Ouwerkerk, C. (1992). Soil structure and soil strenght directly lelow the seedbed. Problems in Modern Soil Management (proc. Internat. Conf.) VÚEA Hrušovany u Brna, 1992, p. 172–183.
- Vopravil, J., Khel, T., Vrabcová, T., Novák, P., Novotný, I., Hladík, J., Vašků, Z., Jacko, K., Rožnovský, J., Janeček, M., Vácha, R., Pivcová, J. Kvítek, T., Fučík, P., Čermák, P., Janků, J., Pírková, I., Papaj, V., Banýrová, J. (2010). *Soil and its evaluation in the Czech Republic*. 1. ed. Prague: Research Institute for Soil and Water Conservation, pp. 54, 2009-2011. 2 vol., 148 p., ISBN 978-80-87361-05-4.
- Žák, Š., Kováč, K., Lehocká, Z. (2002). Vplyv konvenčného a bezorbového obrábania pôdy v rôznych systémoch hospodárenia na bilanciu pôdnej organickej hmoty (The influence of conventional and no-till technology on soil organic matter balance in various arable farming systems). *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 48, 2002, N. 9, pp. 472-481. ISSN 0551-3677.
- Žák, Š., Kováč, K., Klimeková, M. (2005). Dynamika zmien koeficientu štruktúrnosti pôdy vplyvom systémov hospodárenia. In: Štvrté pôdoznalecké dni v Slovenskej republike, Zborník referátov z vedeckej konferencie pôdoznalcov SR, Bratislava: Výskumný ústav pôdoznalstva a ochrany pôdy, Čingov, 14 – 16 jún 2005, 425–431 s., ISBN: 80- 89128-18-1.
- Žák, Š., Klimeková, M., Lehocká, Z., Bušo, R. (2006). Vplyv rôznych technológií obrábania na zmeny koeficientu štruktúrnosti. In: Zborník vedeckých prác SCPV – Výskumný ústav rastlinnej výroby Piešťany, 2006, URL: http://old.agroporadenstvo.sk/rv/poda/technol_sprac_pody.pdf
- Žák, Š., Kováč, K., Klimeková, M. (2005). Dynamika zmien koeficientu štruktúrnosti pôdy vplyvom systémov hospodárenia. In Štvrté pôdoznalecké dni na Slovensku 14.–16. júna 2005 Čingov. Bratislava: VÚPOP, 2005, s. 425–431.
- Žembery, J. (2016) Zmeny vlhkosti pôdy a úrody zrna kukurice siatej v závislosti od poveternostných podmienok, obrábania pôdy v interakcii s hnojením. In: Pestovateľské technológie a ich význam pre prax, Zborník zo 7. medzinárodnej vedeckej konferencie, NPPC-VÚRV, 2016, s. 101–106, ISBN 978-80-89417-72-8

Kontaktné adresy autorov:

Ing. Rastislav Bušo, PhD., Ing. Roman Hašana, PhD., Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby Piešťany, Bratislavská cesta 122, 921 68 Piešťany, Slovenská republika, rastislav.buso@nppc.sk, roman.hasana@nppc.sk

POĽNOHOSPODÁRSTVO A OHROZENIA PÔD V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY

AGRICULTURE AND THREATS TO SOILS IN CONDITIONS OF CLIMATIC CHANGE

Jozef Kobza

Abstract: In accordance with European strategy the important soil properties concerning recommended major threats to soil are included in soil monitoring system of Slovakia (contamination, acidification, salinization and sodification, decline in soil organic matter and macro- and microelements, compaction and erosion). The obtained results show significant changes of some indicators of physical degradation of soil, especially erosion and compaction.

Keywords: agriculture, soil monitoring, soil protection, threats to soil, EU initiatives

Úvod

Naše poľnohospodárstvo prechádza v súčasnosti značne zložitým obdobím, kedy musí neustále čeliť trom hlavným obmedzeniam, a to hrozbe klimatickej zmeny, neustálym záberom často kvalitných, vysoko produkčných pôd a postupnej degradácii pôd.

Neustále vrtochy počasia sú odrazom globálnej klimatickej zmeny. Prejavuje sa čoraz častejším výskytom epizód, ako je sucho, požiare, privalové dažde, povodne, voči ktorým je poľnohospodárstvo najviac zraniteľné. Na rozdiel od priemyselnej výroby, ktorá môže prebiehať v uzatvorených halách, poľnohospodárska výroba prebieha v poľných podmienkach vystavená vplyvom meniacej sa klímy.

Teplota v Európe sa v minulom storočí zvýšila o viac ako 1°C, za posledných 130 rokov sa u nás oteplilo o 1,7°C. Často sa uvádza a predpokladá, že do konca tohto storočia sa teplota môže ešte zvýšiť o 2 - 3°C, najnovšie prognózy hovoria až o 3,5 – 4,5°C (Kobza, 2014). Ak by k tomu skutočne došlo, uvedené nepriaznivé javy budú ešte akcelerovať, čo môže mať z globálneho pohľadu nadozrené následky (zvýšené topenie ľadovcov, stúpanie hladiny svetových oceánov, klimatická migrácia ľudí, ale aj zvýšený výskyt rôznych škodcov a chorôb). I keď aj v dávnej minulosti tu dochádzalo k viacerým klimatickým osciláciám a striedaním chladných a teplých období, v súčasnosti tu prístupujú výrazné aktivity človeka, a to nielen na pôde. Už v 5. správe IPCC (2013) sa konštatuje 95 %-ná istota, že človekom spôsobená klimatická zmena má väčší podiel na všetkých zmenách klímy ako zmeny prirodzeného charakteru. To otvára potrebu zodpovednej diskusie o možných racio-ekonomických sektoroch, ako je poľnohospodárstvo.

I keď na tomto mieste sa nechceme zaoberať procesmi transformácie skleníkových plynov na zmenu klímy, chceme však poukázať na jej možný dopad na ďalší vývoj našich pôd a na možný rozvoj degradačných procesov na pôdach.

Materiál a metódy

V príspevku sme vychádzali z najnovších výsledkov permanentného systému monitorovania pôd na Slovensku, ktorý zahŕňa 318 monitorovacích lokalít na poľnohospodárskych pôdach (Kobza *et al.* 2024). Boli sledované a hodnotené základné indikátory vlastností pôd, ktoré sa vzťahujú ku konkrétnym ohrozeniam pôdy.

Monitorované indikátory podľa degradačných procesov pôd:

Acidifikácia pôd: pH/H₂O, pH/KCl, pH/CaCl₂, KVK (kationová výmenná kapacita), výmenné

katióny (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), aktívny Al (len ak $\text{pH/KCl} < 6,0$).

Salinizácia a sodifikácia pôd: elektrická vodivosť (EC), obsah výmenného Na v sorpčnom komplexe pôdy (ESP) sodíkový adsorpčný pomer (SAR), $\text{pH/H}_2\text{O}$, výmenné katióny a anióny (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-).

Kontaminácia pôd: Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, Cu, As, Co (rozklad lúčavkou kráľovskou), Hg (celkový obsah – analyzátor DMA-1 evo)

Kvantitatívne a kvalitatívne zloženie pôdnej organickej hmoty: POC, N_t , $\text{C}_{\text{HK}}/\text{C}_{\text{FK}}$, Q^4_6

Obsah prístupných makroživín: P, K, Mg (Mehlich III.);

Obsah prístupných mikroživín: Cu, Zn, Mn (DTPA);

Kompakcia pôdy: objemová hmotnosť, pórovitosť, maximálna kapilárna kapacita, zrnitosť (USDA).

Erózia pôdy: ^{137}Cs , pH/KCl , Cox, P, K, zrnitosť (USDA).

Analýzy boli vykonané na pracovisku laboratórnych činností pri NPPC - VÚPOP v Bratislave podľa Jednotných pracovných postupov rozborov pôd (Kobza *et al.* 2011). Dosiahnuté výsledky boli spracované a vyhodnotené podľa zaužívaných štatistických postupov.

Výsledky a diskusia

Erózia pôdy

Treba mať na pamäti, že erózia pôdy je ireverzibilný – nevratný proces, pri ktorom dochádza k trvalému poškodeniu pôd a výraznému poklesu úrodnosti. Dochádza k trvalej strate vrchnej kultúrnej vrstvy, na povrch sa dostávajú spodné, menej úrodné vrstvy najmä pri nesprávnom obhospodarovaní a častejšieho výskytu prívalových dažďov vplyvom globálnej klimatickej zmeny. Taktiež dochádza k výraznej strate pôdnej organickej hmoty, ako aj k zhoršovaniu fyzikálnych parametrov pôdy. Potenciálnu eróziu evidujeme takmer na 52,5 % aktuálnej výmery poľnohospodárskych pôd (pri strate $> 4\text{t/ha/rok}$) (Kobza *et al.* 2024). Vhodnou pomôckou pre užívateľov pôdy pri riešení erózne senzitívneho územia je interaktívny erózný model, ktorý je umiestnený na internetovom portáli www.podnemapy.sk. Model umožňuje prístup k relevantným informáciám týkajúcich sa predikcie intenzity erózie pôdy a jej plošnej distribúcie a poskytuje možnosť výberu vhodného spôsobu pôdoochranného manažmentu obhospodarovania pôdy v eróznej krajine realizáciou odporúčaných protieróznych opatrení a postupov. Spôsob ochrany spočíva v protieróznej agrotechnike, protieróznych osevných postupoch, ako aj v protieróznom usporiadaní pôdneho fondu. S eróziou pôdy úzko súvisí aj zhutnenie /kompakcia pôdy.

Kompakcia pôdy

Zhutnenie znižuje infiltráciu zrážkovej vody, čo má za následok nielen zvýšenie povrchového odtoku a eróziu pôdy, ale najmä progresívnu tendenciu negatívnej bilancie vody v pôde. Efektívne bude preto meniť hĺbku orby, ale aj podrývanie ornice a hĺbkové kyprenie najmä na textúrne diferencovaných pôdach (pôdy s výskytom ílovitého slabo priepustného až nepriepustného podorničného horizontu), (Obr. 1).

Na takýchto pôdach najmä v období výdatnejších zrážok dochádza k slabej infiltrácii zrážkovej vody do hlbších častí pôdneho profilu, a preto najmä v terénnych depresiách dochádza často k povrchovému zamokreniu pôd (Obr. 1). Práve podrývanie podornice, resp. hĺbkové kyprenie by pomohlo v takomto prípade k lepšiemu vsakovaniu zrážkovej vody do hlbších častí pôdneho profilu, zároveň by tieto opatrenia umožnili lepšiu penetráciu koreňového systému pestovaných plodín do menej priepustnej podornice. Vhodné je aj zaraďovanie hlboko koreniacich rastlín do osevného postupu (ďatelina, lucerna). V súčasnosti do osobitného svetla sa dostáva aj minimalizačné obrábanie pôdy. V snahe znižovania nákladov sa toto opatrenie dosť preferuje, aj keď ho nemožno odporúčať na všetky pôdy. Viacerí odborníci (Ďud'ák, 2022, Heczko, J., 2018, Filip a kol., 2019) už v súčasnosti hovoria aj o negatívnych aspektoch minimalizačných technológií. Patrí k nim vyššia objemová hmotnosť a nižšia pórovitosť pôdy, čo môže mať

najmä pri ťažších pôdach nepriaznivý vplyv na pôdny režim s následným dopadom na formovanie úrod. Vzhľadom na absenciu vplyvu orby i ďalšej kultivácie hrozí tiež vyššie nebezpečenstvo výskytu hlavne trvácich burín. Významne potom narastá potreba účinných neselektívnych herbicídov aplikovaných v mimoporastovom období, čo môže zvyšovať náklady týchto pestovateľských technológií. K ďalším negatívam patrí tiež zvýšený nárast prezimujúcich chorôb a škodcov a zvýšený nárast semien burín v pôde. Tiež pri minimalizačných technológiách je nižšia mikrobiologická aktivita a pomalšia mineralizácia pôdnej organickej hmoty. Môže tiež dochádzať k zníženiu obsahu pre rastliny prístupných živín, ktoré je potrebné dopĺňať minerálnymi hnojivami. Na minimalizáciu nie sú vhodné pôdy v horskej a zemiakárskej výrobnnej oblasti (Kováč & Jakubová, 2015).



Obr. 1. Textúrne diferencované pôdy (Zvolenská kotlina), foto J. Kobza

Čoraz vypuklejší je aj problém vody. Aj keď sa zdá, že jej máme dostatok, a človek u nás zatiaľ netrpí nedostatkom pitnej vody, v súčasnosti je vo svete množstvo krajín, kde každá kvapka vody má cenu zlata. Čoraz častejšie nás trápí najmä problém sucha. Meteorológovia označili aktuálny stav sucha už za alarmujúci. Nedostatok zrážok sa prejavuje najmä v poslednom období, periódy sucha sú čoraz častejšie, čo platí aj v súčasnosti, kedy sa do jarného obdobia dostáva málo vlhky zo zimného obdobia (zo snehu) a zároveň je aj nedostatok zrážok na jar a v lete. Najhorší vývoj zrážok bol evidovaný na krajnom západe Slovenska. Na meteorologické sucho nadväzuje aj pôdne sucho, ktoré sa odzrkadľuje vo vlhkostnom režime pôdy. Ako upozorňujú meteorológovia, pôdna vlhkosť je takmer na celom území Slovenska nižšia ako dlhodobý priemer za obdobie rokov 1961 – 2000. Naliehavým problémom v poľnohospodárskej výrobe sa tu stáva nedostatok vody a potreba zavlažovania. V minulosti sme mali pod závlahou vyše 300-tisíc hektárov poľnohospodárskej pôdy, v súčasnosti máme funkčné závlahy len na ploche asi 50-tisíc hektárov poľnohospodárskej pôdy. Odráža sa to vo výnosoch poľnohospodárskych plodín, ktoré v súčasnosti pri jednotlivých plodinách značne kolíšu, a najvyššie výnosy sa dosahujú pod závlahami. V krajinách aridného a semiaridného pásma je systém zavlažovania, budovania vodných nádrží a zavlažovacích kanálov na pomerne vysokej úrovni. Samozrejme nie sú to len tieto krajiny, ktoré často označujeme ako rozvojové, ale aj vyspelé štáty, kde systém zavlažovania permanentne funguje, a to nielen v teplých klimatických oblastiach. Videl som napr. vo Švajčiarsku permanentne fungujúce závlahy na vysokohorských lúkach a pasienkoch, kde je predsa len celkový úhrn zrážok oveľa vyšší ako v oblastiach aridného a semiaridného pásma (Obr. 2).



Obr. 2. Závlahy vysokohorských trávnych porastov v okolí Zermattu (Švajčiarsko)
foto J. Kobza

Určitou rezervou pri nedostatku vody v pôde, je jej správne obhospodarovanie. Prestali sme dodržiavať oševné postupy, striedať plytko koreniace plodiny s hlboko koreniacimi plodinami, ktoré si vedú svojím koreňovým systémom vytiahnuť vlahu aj z hlbších častí pôdneho profilu, „zabúdame“ často na podryvanie podornice, príp. aj hĺbkové kyprenie do hĺbky 50 cm, čo je samozrejme energeticky náročný úkon a premieta sa do zvýšených nákladov. Preferuje sa často z uvedených dôvodov aj plytšia orba do hĺbky 15-20 cm. V minulosti, kde to hĺbka a vlastnosti pôdy dovoľovali, sa hlboká orba uskutočňovala až do hĺbky 30 cm. Taktiež chýba nám dostatok kvalitného organického hnojiva (maštalný hnoj), pretože po roku 1990 sme výrazne zdecimovali živočíšnu výrobu. Práve dostatok organickej hmoty v pôde okrem iného, zlepšuje aj vlhkosťnú bilanciu pôdy.

Pôdna organická hmota

Ako je známe, významným faktorom úrodnosti pôd je obsah pôdneho humusu. I keď jeho obsah je do určitej miery limitovaný genézou pôdy, človek svojou činnosťou môže jeho obsah zvýšiť, ale aj znížiť, napr. nedodávaním organických hnojív, ktoré nám po redukcii živočíšnej výroby po roku 1990 výrazne chýbajú, ale aj eróziou pôdy. Nad'alej aktuálnym problémom je preto zvýšenie obsahu pôdneho humusu aplikáciou kvalitného maštalného hnoja (aspoň 1-ročného dobre vyzretého hnoja), príp. certifikovaným kompostom, zeleným hnojením, zarad'ovaním plodín do oševného postupu, ktoré zanechávajú veľa pozberových zvyškov, ich zapracovanie do pôdy, nie spaľovanie a pod.). Na základe nami dosiahnutých výsledkov z monitoringu pôd SR, najvyšší obsah pôdneho organického uhlíka (POC) majú černozy a čierne (1,53 - 2,57 %), najnižší obsah POC sa nachádza na regozemiach, predovšetkým na kremítych viatych pieskoch Záhoria (POC < 1 %) – Kobza *et al.* 2024. Najväčšími zásobami organického uhlíka (OC) disponujú rašeliny, ktoré zaberajú len 3 % svetovej terestriálnej plochy, ale obsahujú až 30 % OC. I keď rašeliny zaberajú na Slovensku len malú plochu (3057 ha) (Barančíková *et al.* 2018), z hľadiska ekologických funkcií majú nezastupiteľnú úlohu. Bolo zistené, že antropogénne vplyvy môžu mať negatívny, ale aj pozitívny účinok na ekosystém rašelinísk, ale

v súčasnosti má nezanedbateľný význam aj prebiehajúca klimatická zmena, predovšetkým zvýšenie teploty, ktorá môže zvyšovať mineralizačné procesy v rašeliniskách.

Obsah makro- a mikroživín v pôdach

Nadalej pokračuje úbytok prístupných živín najmä na orných pôdach, čo poukazuje na deficit hnojenia. Od roku 1993 (začiatok monitorovania pôd na Slovensku) zisťujeme priemerný úbytok prístupného fosforu a draslíka v poľnohospodárskych, najmä orných pôdach v priemere o 10-30 %, čo je prejavom nízkych dávok aplikovaných hnojív (pred rokom 1990 bola priemerná dávka aplikovaných živín 220-230 kg. č. ž. NPK na 1 ha, v súčasnosti je to priemerne 100 kg. č. ž. NPK na 1 ha). Obsah prijateľného horčíka je stále dobrý až vysoký (s výnimkou veľmi kyslých pôd, ako sú podzoly a rankre podzolové), pohybuje sa v rozpätí 200 – 600 mg.kg⁻¹, čo ukazuje na prirodzene dobrú prirodzenú zásobenosť našich pôd týmto prvkom, pretože ani v minulosti ani v súčasnosti sa horčík do pôdy nedodával (s výnimkou vápenato-horečnatých hmôt, napr. dolomitických vápencov za účelom vápnenia kyslých pôd) (Kobza *et al.* 2024).

Čo sa týka obsahu mikroživín (Cu, Zn, Mn), tento je v súčasnosti prevažne stredný, aj keď v poslednom období zaznamenávame ich mierny pokles. Prípadné lokálne deficity prejavované určitými karenčnými poruchami poľných plodín je možné napraviť formou foliárneho postreku príslušnou živinou, ako ekonomicky najprijateľnejší spôsob. Avšak pri zakladaní špeciálnych kultúr (ovocné sady, vinice) je potrebné prípadné deficity v obsahu jednotlivých mikroživín odstrániť aplikáciou príslušného hnojiva do pôdy na hodnotu stredného obsahu (Kobza & Gáborík 2008).

Kontaminácia pôd

Je výsledkom intenzity pôsobenia zdrojov kontaminácie. Môže ísť o antropogénne alebo geogénne zdroje, príp. i zmiešané. Vysoký obsah rizikových prvkov nemusí ešte spôsobovať zmeny v morfológii pôdneho profilu (dajú sa zistiť len analyticky), avšak v bezprostrednom dosahu zdrojov kontaminácie (priemyselné areály, skládky, odpady, smetiská) môže dôjsť k výraznejším zmenám aj v morfológických vlastnostiach pôd. V prevažnej väčšine však fenomény kontaminácie nie sú viditeľné voľným okom, ale je ich potrebné zistiť laboratórne.

Na základe doterajších pozorovaní sme v poslednom období zaznamenali na kontaminovaných lokalitách pozitívny trend vo vývoji celkového obsahu As, Cd, Ni, Cu a Zn, naopak negatívny trend v prípade celového obsahu Co a Pb (Kobza *et al.* 2024). V porovnaní so začiatkom monitorovania pôd na Slovensku (od roku 1993), najnovšie zistené hodnoty koncentrácií sledovaných rizikových prvkov v poľnohospodárskych pôdach boli štatisticky nevýznamné. To znamená, že pôdy, ktoré boli kontaminované už v minulosti, sú stále kontaminované aj v súčasnosti, a preto je potrebné ich aj v budúcnosti neustále monitorovať (Kobza *et al.* 2024). Ich celková výmera nie je veľká (menej ako 1 % výmery poľnohospodárskych pôd Slovenska), nemali by sa využívať na poľnohospodársku výrobu. Využitie takýchto kontaminovaných pôd je vhodnejšie na pestovanie napr. rýchlorastúcich energetických drevín (napr. vŕba, topol, paulownia a pod.).

Zábery pôd

Ďalším aktuálnym ohrozením poľnohospodárskej výroby je neustály záber našich často najkvalitnejších, najúrodnejších pôd. Podľa štatistickej ročenky SR máme na Slovensku 2 370 201 hektárov poľnohospodárskej pôdy a 1 403 004 hektárov ornej pôdy (údaje sú k 1.1. 2024). Od roku 2000 do roku 2021 sa výmera ornej pôdy na Slovensku znížila o 202 572 hektárov, čo predstavuje v prepočte 9 646 hektárov za rok a 26,4 hektárov za deň! Pre lepšiu predstavu, za deň sa tak stratí plocha takmer 36 štandardných futbalových ihrísk (Rataj, 2025). Tento trend je však žiaľ, celosvetový. Ak by takýto trend mal naďalej pokračovať, tak by sme pomerne v krátkom časovom horizonte prišli o najúrodnejšie orné pôdy, čo je vážnym

mementom. Následne by už nebolo čo chrániť, ani zúrodňovať. Prišli by sme tak o dôležitú, nenahraditeľnú a hlavne neobnoviteľnú zložku životného prostredia s vážnym ohrozením života ľudí, živočíchov, rastlín a pod. Zvyšuje sa tak nepriepustný povrch pôdy pokrytý asfaltom, betónom (parkoviská, manipulačné plochy, cesty, zastavané plochy a pod.) – tzv. „soil sealing“, ktorý efekt otepľovania ešte zvyšuje.

Je nesporné, že naše poľnohospodárstvo sa musí boriť so zložitými podmienkami. Určitou pomerne výraznou vzpruhou sú európske dotácie, pretože bez finančnej podpory by to bolo komplikovanejšie. I keď dotačná politika deformuje európsky trh i tradičné postupy, ktoré malo slovenské poľnohospodárstvo dobre prepracované, bez nich sa náš poľnohospodár ťažko zaobíde. Na druhej strane sa však nemožno spoliehať len na európske peniaze, ale musíme zvýšiť aj náš vlastný finančný príspevok pre poľnohospodárstvo, čo by mala byť úloha štátu.

V minulosti boli zavedené odvody na trvalé, resp. dočasné zábery pôd, ktoré slúžili pre Štátny fond na zúrodňovanie pôd. Viacerí vedeckí a výskumní pracovníci sme boli garantmi v jednotlivých okresoch pre zúrodňovanie pôd, ako aj pre výživu rastlín a vypracovávanie plánov hnojenia. Bolo to priame využitie výsledkov vedy a výskumu v praxi, čo po roku 1990 zaniklo.

Obdobie po roku 1990 je charakterizované postupnou konverziou priemyselnej výroby, znižovania emisií, taktiež sa výrazne znížili dávky priemyselných hnojív i vápenatých hmôt, v dôsledku čoho dochádza k postupnému zakysľovaniu kyslých pôd, ktoré sa v minulosti vápnili, narušila sa koncepcia štruktúry osevu, zvýšili sa plochy monokultúr a pod. Tieto skutočnosti sa odrážajú pri sledovaní a hodnotení aktuálneho stavu a vývoja vlastností pôd. Zároveň dávame do pozornosti novú publikáciu – Monitoring pôd SR, kde sa detailne venujeme aktuálnemu stavu a vývoju našich pôd spolu aj s návrhom regulačných opatrení na zmiernenie, resp. elimináciu ich nepriaznivého stavu (Kobza *et al.* 2024).

Dňom 1. mája 2004 – vstupom do spoločenstva krajín EÚ, sme sa stali súčasťou Európskej pôdnej politiky. Jej úsilím je zmobilizovať a akcelerovať všetky európske výskumné a vedecké kapacity zaoberajúce sa pôdou, jej postavením a úlohou a funkciami v životnom prostredí s dôrazom na jej ochranu v snahe zachovať ju v udržateľnom stave aj pre budúce generácie.

Z najnovších materiálov Európskej komisie treba uviesť tzv. Corrigendum pod SWD (2021) 323 final. Ide o stratégiu EÚ pre pôdu do roku 2030 – Využitie prínosov zdravej pôdy pre ľudí, potraviny, prírodu a klímu. Táto nová vízia pre pôdu je zakotvená v stratégii EÚ v oblasti biologickej rozmanitosti do roku 2030 (COM/2020/380) a stratégii pre adaptáciu zmeny klímy (COM/2021/82). Táto pôdna stratégia významne prispeje k viacerým cieľom Zelenej dohody (Green Deal) a cieľom ktoré jej predchádzajú.

Strednodobé ciele do roku 2030

- bojovať proti dezertifikácii, obnovovať degradovanú pôdu vrátane pôdy postihnutej dezertifikáciou, suchom a záplavami a usilovať o dosiahnutie sveta s neutrálnou degradáciou pôdy (cieľ udržateľného rozvoja);
- obnoviť významné oblasti degradovaných ekosystémov a ekosystémov bohatých na uhlík, vrátane pôd;
- dosiahnuť v odvetví využívania pôdy, zmien vo využívaní pôdy a lesníctva (LULUCF – Land Use, Land Use Change and Forestry) v EÚ čistého ročného pohltienia skleníkových plynov vo výške 310 mil. ton ekvivalentu CO₂;
- do roku 2027 dosiahnuť dobrý ekologický a chemický stav povrchových vôd a dobrý a kvantitatívny stav podzemných vôd;
- do roku 2030 znížiť straty živín aspoň o 50 %, celkové používanie a riziko chemických pesticídov o 50 % (Stratégia EÚ „od poľnohospodárstva k spotrebiteľovi“ COM (2020) 381);
- dosiahnuť výrazný pokrok pri sanácii kontaminovaných lokalít.

Dlhodobé ciele do roku 2050

- do roku 2050 budú všetky pôdne ekosystémy EU v zdravom stave, a tak odolnejšie, čo si v tejto dekáde vyžaduje veľmi rozhodné zmeny;
- do tejto doby sa ochrana, udržateľné využívanie a obnova pôdy stanú normou. Kľúčové je, že zdravá pôda bude prispievať k riešeniu našich veľkých výziev, ktorými sú dosiahnutie klimatickej neutrality a odolnosť voči zmene klímy, rozvoj čistého a obehového (bio) hospodárstva, zvrátenie straty biologickej rozmanitosti, ochrana ľudského zdravia, zastavenie dezertifikácie a zvrátenie degradácie pôdy;
- dosiahnuť nulový čistý záber pôdy (Plán pre Európu účinnejšie využívajúce zdroje – SOM/2011/0571) a 7. akčný program EU pre životné prostredie, rozhodnutie č. 1386/2013/EU;
- znečistenie pôdy by malo byť znížené na úroveň, ktorá už nie je považovaná za škodlivú pre ľudské zdravie a prírodné ekosystémy a ktoré rešpektujú hranice, s ktorými sa naša planéta môže vyrovnávať, a tým sa vytvára prostredie bez toxických látok (Cesta k zdravej planéte pre všetkých, akčný plán EU: V ústrety nulovému znečisteniu ovzdušia, vôd a pôdy – COM(2021)400);
- dosiahnuť klimaticky neutrálnu Európu a ako prvý krok sa snažiť o dosiahnutie klimatickej neutrality v odvetví pôdy v EU do roku 2035 (Návrh revízie nariadenia LULUCF, COM (2021)554);
- vytvoriť v EU do roku 2050 klimaticky odolnú spoločnosť, ktorá bude plne prispôbená nevyhnutným dopadom zmeny klímy.

Monitoring pôd SR ako výkonný orgán úzko spolupracuje s viacerými inštitúciami EÚ pri riešení aktuálnych problémov ochrany pôdy a tvorbe výstupov a koncepcií.

Monitoring pôd SR v kontexte s iniciatívami EÚ

Po vstupe SR do EÚ (1.5.2004) pracovisko aktívne participuje na tvorbe a zdokonaľovaní európskeho informačného systému o pôdach, najmä v oblasti monitoringu pôd (aj prostredníctvom Ministerstva životného prostredia – Slovenskej agentúry životného prostredia a Európskej Environmentálnej Agentúry - EEA) a súčasne sa spoluriešiteľsky podieľa na vytváraní a sprístupňovaní vybraných súborov priestorových informácií o pôde (tiež vo vzťahu k JRC – Európske centrum pre pôdu). Ide o participáciu pri tvorbe údajov pre potreby ochrany pôdy a území v prostredí geografického informačného systému (GIS). Z ďalších iniciatív treba spomenúť aktivity so SAŽP a vydanie publikácie Globálne megatrendy v životnom prostredí (Považan *et al.* 2023), kde je zahrnutá aj pôda, najmä problém jej znečisťovania. Publikácia vznikla na základe iniciatív EEA (Európska environmentálna agentúra) so sídlom v Kodani. Počas dlhodobého riešenia monitoringu pôd na Slovensku sme sa v minulosti zapojili aj do riešenia medzinárodného projektu ENVASSO (Environmental Assessment of Soil for Monitoring), (Morvan *et al.* 2007). V súčasnom období ide o harmonizáciu národných monitoringov pôdy s LUCAS-om (Land Use and Land Cover Survey), ktorý je v podstate európskym centrálnym riadeným monitoringom pôdy a pôdnej pokrývky pri zohľadnení EUSO (Európske observatórium pre pôdu), kde jedným z dôležitých aktivít je práve vytvorenie harmonizovaného rámca pre monitorovanie pôdy v Európe. Taktiež treba spomenúť spoluprácu s JRC (Joint Research Centre) so sídlom v Ispre (Taliansko) a najmä s EEA v Kodani (Dánsko) pri spracovaní viacerých výstupov z monitoringu pôd SR, ako napr. spoluúčasť na príprave materiálu Soil monitoring in Europe, projekt wiki, práca v EK v súvislosti s monitoringom pôdy a najmä jej kontamináciou. Taktiež možno spomenúť spoluprácu na projekte ISLANDR (Information-Based Strategies for Land Remediation) v rámci Horizon Europe, a to v oblasti difúznej kontaminácie pôd najmä formou dotazníkov. V neposlednom rade možno spomenúť aj spoluprácu v rámci IMPEL-u (European Union Network for the Implementation and

Enforcement of Environmental Law) – implementácia environmentálnej legislatívy EU v rámci medzinárodnej spolupráce. Z najnovších aktivít možno spomenúť účasť na projekte EJP SOIL_D6.5 Guidelines for accounting and monitoring agricultural soil carbon, fertility and degradation changes at different scales (Andrenalli *et al.* 2024). Zaväzujúcim materiálom tiež bude Smernica Európskeho parlamentu a Rady o monitorovaní a odolnosti pôdy (Smernica o monitorovaní pôdy) (EK, 2023).

Záver

Na základe nami doteraz zistených poznatkov najvýraznejšie zmeny sme zistili pri zhoršovaní fyzikálneho stavu pôd, najmä erózie pôd (často orba po spádnici a zvýšené nebezpečie prívalových dažďov, ktoré sú v dôsledku klimatickej zmeny čoraz častejšie) najmä na intenzívne obhospodarovateľných poľnohospodárskych pôdach, tiež výrazný úbytok prístupných živín (hlavne fosforu a draslíka) najmä na orných pôdach. V poslednej dobe zisťujeme určitú stabilizáciu pôdnej organickej hmoty na niektorých lokalitách a pôdach zrejme vplyvom úbytku orných pôd a ich zatrávňovaní, ako aj dotačnej politiky štátu v poslednom období. Pri kontaminácii pôd sme od začiatku monitorovania pôd zatiaľ nezistili štatisticky preukazné zmeny, čo však znamená, že lokality ktoré boli už v minulosti kontaminované si tento nepriaznivý stav udržiavajú aj v súčasnosti.

Jednou z dôležitých iniciatív Európskej stratégie monitoringu pôd je stimulácia národných stratégií ochrany pôdy a ich hodnotenia. Snahou EK je priblíženie takého monitorovacieho procesu, ktorý by bol nápomocný pre riadenie všetkých aktivít na pôde vrátane ochrany pôdy a jej funkcií transparentným spôsobom vo všetkých krajinách EÚ. V súlade s koncepciou Európskej stratégie, v monitorovacom systéme pôd Slovenska je zahrnuté sledovanie dôležitých vlastností pôd podľa konkrétnych ohrození (kontaminácia, acidifikácia, salinizácia a sodifikácia, úbytok organickej hmoty a makro- a mikroživín, kompakcia a erózia). Monitoring pôd tak má osobitné postavenie pri stratégii ochrany, ako aj ďalšieho využívania pôdy. Táto koncepcia bola plne chápaná a aj uplatnená v európskej stratégii pôd, osobitne pre výkon monitoringu pôd v EÚ.

Literatúra

- Andrenalli, M.C., Armolaitis, K., Aponte, C., Arrouays, D., Assennato, F., Bakacsi, Z., Barbetti, R., Basile, A., Bevivino, A., Bispo, A., Blombäck, K., Borůvka, L., Buttafuoco, G., Cagnarini, C., Calzolari, C., Callewaert, S., Cockx, K., Cousin, I., D'Avino, L., Deproost, P., Faber, J., Fantappiè, M., Feiza, V., Feizienė, D., Froger, C., Hessel, R., Jacomini, C., Kadžiulienė, Z., Karcauskiene, D., Klimkiewicz-Pawlas, A., Kobza, J., Koganti, T., Lacoste, M., Lozano-Fondón, C., Lumini, E., Madenoglu, S., Marinosci, I., Mocali, S., Molnár, S., Munafò, M., Murugan, R., Napoli, R., Oorts, K., Pásztor, L., Pellegrini, S., Piccini, C., Poeplau, C., Riitano, N., Sagova-Mareckova, M., Salomez, J., Stenberg, B., Swerts, M., Tagliaferri, E., Takács, K., Trinchera, A., Ungaro, F., Vaudour, E., Vignozzi, N., Vinci, I., Wetterlind, J. (2024). EJP SOIL Towards climate – smart sustainable management of agricultural soils D 6.5 Guidelines for accounting and monitoring agricultural soil carbon, fertility and degradation changes at different scale. EJP Project COFUND, INRAE Orléans, France, 236 p. www.ejpsoil.eu
- Barančíková, G., Halas, J., Fazekašová, D., Litavec, T., Kobza, J. (2018). Aktuálny stav vybraných rašelinísk Slovenska. NPPC – VÚPOP Bratislava, 107 s. ISBN 978-80-8163-025-5.
- COM (2020) 380 final, EU Biodiversity Strategy for 2030.
- COM (2020) 381 Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally – friendly food system.
- COM (2021) 82 EU - Communication Forging a climate-resilient Europe - the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change.
- COM (2021). 400 final: EU Action Plan: 'Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil. https://ec.europa.eu/environment/pdf/zero-pollution-action-plan/communication_en.pdf
- COM(2021) 554 final: Proposal for a regulation amending Regulations (EU) 2018/841 as regards the scope, simplifying the compliance rules, setting out the targets of the Member States for 2030 and committing to the collective achievement of climate neutrality by 2035 in the LULUCF sector, and (EU) 2018/1999 as regards improvement in monitoring, reporting, tracking of progress and review.
- Ďuďák, J. (2022). Minimalizačné a pôdoochranné technológie obrábania pôdy. Agromagazín 2022, s. 30-31.
- EEA/JRC/DG ENV NRC Soil, 2020. Development of the European Soil Conditions Assessment 2020/2021. Version 3.7, 19 August 2020, 6p.

EK (Európska komisia), (2023). Smernica Európskeho parlamentu a Rady o monitorovaní a odolnosti pôdy (Smernica o monitorovaní pôdy) COM (2023) 4/6 final, 2023/0232 (COD).

Filip, M., Kopecký, M., Zoubek, T., Bernas, J., Konvalina, P., Bartoš, P. (2019). Súčasnosc' a budúcnosť technológií obrábania pôdy. Naše pole 23.12.2019.

Heczko, J. (2018). Technológie obrábania pôdy a ich vplyv na organickú hmotu. Naše pole 12/2018, s. 30-31.

Kobza, J., Gáborík, Š. (2008). Súčasný stav a vývoj obsahu makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. VÚPOP Bratislava, 57 s. ISBN 978-80-89128-47-1.

Kobza, J., Barančíková, G., Bezák, P., Bezáková, Z., Dodok, R., Grečo, V., Hrivňáková, K., Chlpík, J., Lištjak, M., Makovníková, J., Mališ, J., Píš, V., Schlosserová, J., Slávik, O., Styk, J., Širáň, M. (2011). Jednotné pracovné postupy rozborov pôd. VÚPOP Bratislava, 136 s. ISBN 978-80-89128-89-1.

Kobza, J. (2014). Klimatická zmena – zmierňujúce a adaptačné opatrenia v sektore pôdohospodárstva. In: Zborník č. 74 referátov a diskusných príspevkov z vedeckej rozpravy 43. Valného zhromaždenia členov Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied, konaného 3. decembra 2013 v Nitre. Nitra 2014, s. 5-7. ISBN 978-80-89162-51-2.

Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. (2024). Monitoring pôd SR. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu (2018-2022). NPPC-VUPOP Bratislava, 253 s. ISBN 978-80-8163-050-7.

Kováč, L., Jakubová, J. (2015). Možnosti využívania minimalizácie v podmienkach Slovenska. www.agroporadenstvo.sk

Morvan, X., Arrouays, D., Saby, N., Le Bas, Ch., Jones, B., Bellamy, P., Uveges, J. B., Camilleri, S., Kobza, J., Kolev, N. (2007). ENVASSO (Environmental Assessment of Soil for Monitoring), project contract No. 022713. D.3 Inventory and Monitoring report. INRAE Orleáns, France, 124 p.

Považan, R., Blaško, R., Lipták, B., Filčák, R., Kobza, J., Lieskovská, Z., Jurík, L., Makovníková, J. (2023). Globálne megatrendy v životnom prostredí. Aktualizácia environmentálnych globálnych megatrendov a ich implikácie pre Slovensko. SAŽP Banská Bystrica, Odbor výskumu a medzinárodnej spolupráce, 130 s. ISBN 978-80-8213-120-1.

Rataj, V. (2025). Kto? S kým? O čom? Pre koho? RNO 5.2.2025, s. 4-5.

SWD (2021). 323 final. EU Soil Strategy for 2030. Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate.

Kontaktná adresa autora

prof. Ing. Jozef Kobza, CSc., NPPC – Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, RP Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, e-mail: jozef.kobza@nppc.sk

SIMULÁCIA ZÁSOB PÔDNEHO ORGANICKÉHO UHLÍKA ONLINE NÁSTROJOM MODELTOOLBOX

SIMULATION OF SOIL ORGANIC CARBON STOCK USING THE ONLINE TOOL MODELTOOLBOX

Štefan Koco, Gabriela Barančíková, Ján Halas, Jozef Kobza

Abstract: Soil organic carbon (SOC) is among key soil components having essential impact on soil fertility, biomass production and agricultural production. To fully exploit the SOC potential for soil fertility and to understand the processes of its sequestration in mitigating greenhouse gases it is recommended to combine the direct measurement of SOC stock changes and the application of mathematical models. ModelToolBox, developed within the CarboSeq project, is a software tool designed to simulate soil organic carbon (SOC) changes. RothC is among the key models implemented by ModelToolBox. Slovakia participated in the RothC testing using two spatial approaches: grid-based (10 km grid) approach and point-based (soil monitoring sites) approach. However, utilizing the measured data sources for model input during the 2000 to 2020 observation period did not confirm the accuracy of the modelling outputs when validated against actual measured values. The problem is the high degree of the available input data generalization at the national level. The next step will be testing the model for large-scale mapping (especially the farm scale), which is ultimately the main purpose of this tool. At the farm scale much more detailed and representative input data are available than at national scale and it is expected that the model will provide better results.

Keywords: soil organic carbon, ModelToolBox, modelling, RothC

Úvod

Napriek pomerne nízkemu obsahu, predovšetkým na intenzívne využívaných poľnohospodárskych pôdach, je pôdna organická hmota (POH) kľúčovým komponentom pre tvorbu biomasy, fyzikálnu štruktúru pôdy, zadržiavanie vody v pôde a ovplyvňuje tiež reguláciu klímy, nakoľko pôda môže byť zdrojom alebo úložiskom uhlíka. POH ovplyvňuje všetky chemické, biologické a fyzikálne procesy, ktoré v pôde prebiehajú a predstavuje kľúčový komponent pôdnej úrodnosti (Srivasta *et al.* 2016). Pôdny organický uhlík (POC), ako základná zložka POH, je rozhodujúcim indikátorom zdravia a kvality pôdy (Lal 2016) a významnú úlohu má pri regulácii ekosystémových služieb pôdy (Kopittke *et al.* 2022). Obsah organického uhlíka v pôde je jedným z hlavných deskriptorov, ktorým sa posudzujú aspekty pôdnej degradácie, nakoľko strata POC, ako jeden z kľúčových degradačných procesov, je uvedená v Návrhu smernice Európskeho parlamentu a Rady o monitorovaní pôdy a odolnosti, tzv. Zákon o monitorovaní pôdy (Proposal EP 2023). Sekvestrácia POC v pôde okrem zníženia emisií CO₂, poskytuje aj mnoho ďalších benefitov (IPCC 2021), nakoľko zvyšuje úrodnosť pôdy a jej produktivitu, biodiverzitu, zlepšuje zadržiavanie vody v pôde, znižuje eróziu, zhutňovanie, ale aj odtok vody z pôdneho prostredia, a tým znižuje znečistenie vôd (Paustian *et al.* 2016, Smith 2012). Z uvedeného dôvodu sa v posledných rokoch objavilo mnoho prác (Amelung *et al.* 2020, Kopittke *et al.* 2022) a medzinárodných iniciatív (Iniciatíva 4p1000 Francaviglia *et al.* 2019, RECSOIL FAO 2021), ktoré vyzývajú na urýchlenú implementáciu sekvestračných techník POC aj pri riešení klimatickej zmeny a potravinovej bezpečnosti. Aby sa naplno využil potenciál sekvestrácie POC pri odstránení skleníkových plynov, je nevyhnutné využitie kombinácie klasického priameho merania zmien v zásobách POC, ale aj aplikácia

matematických modelov (Smith *et al.* 2020). Veľmi užitočným zdrojom informácií o zmenách v zásobách POC sú dlhotrvajúce monitorovacie systémy. Monitoring POC nám umožňuje sledovať zmeny vo vývoji zásob POC v minulosti. V súčasnosti v dôsledku prebiehajúcich intenzívnych zmien v hospodárení na pôde a tiež akcelerujúcej klimatickej zmene dochádza aj k zmenám v zásobách POC. Praktický spôsob ako získať údaje o zmenách stavu zásob POC v priestore a čase, pre správne rozhodnutia o hospodárení na poľnohospodárskych pôdach, je použiť postup založený na simulačných modeloch (Smith *et al.* 2005, 2007, van Wesemael *et al.* 2010, Campbell & Paustian, 2015, Smith *et al.* 2020, Dechow *et al.* 2019, etc.). Jedným z najviac využívaných modelov je RothC model. V rokoch 2021-2024 NPPC-VÚPOP bol jedným z partnerov vedeckého programu EJP-SOIL, v rámci ktorého sa podieľalo na riešení projektu CarboSeq, ktorého hlavným cieľom bolo odhadnúť potenciál sekvestrácie POC v poľnohospodárskych pôdach Európy. V rámci projektu CarboSeq bol vyvinutý a testovaný nástroj ModelToolBox, ktorý umožňuje harmonizované a efektívne simulácie v oblasti modelovania. Medzi kľúčové implementované modely patrí RothC model, pre jeho relevantnosť v podmienkach Európy. Každá krajina z konzorcia CarboSeq pripravila 20-ročné simulácie modelovania s použitím klimatických údajov z rokov 2000-2020 (Seidel *et al.* 2025). U tomto príspevku uvádzame priebeh a výsledky modelovania zmien v zásobách POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska s využitím nástroja ModelToolBox.

Materiál a metódy

ModelToolBox (<https://csopra.pages-forge.inrae.fr/csopralibs/carboSeqHandout.html>) je softvérový nástroj vyvinutý na simuláciu zmien pôdneho organického uhlíka. Jeho hlavným cieľom je poskytnúť platformu pre modelovanie dynamiky POC s rôznymi úrovňami zložitosti pre široké spektrum používateľov. Nástroj je navrhnutý tak, aby podporoval ako pokročilých používateľov (výskumníkov vyžadujúcich špecifické konfigurácie modelov), tak aj základných používateľov (tých, ktorí nie sú oboznámení s modelovaním POC). Príkladom druhého typu použitia sú národné simulácie v rámci projektu CarboSeq. Tento nástroj integruje viacero modelov a štandardizuje toky údajov o pôde a manažmente plodín. Medzi kľúčové implementované modely patrí RothC a niektoré jeho varianty, vybrané pre ich vhodnosť v európskych podmienkach. Testovanie modelu na národných úrovniach vykonávali jednotliví partneri projektu CarboSeq s cieľom integrovať do modelovania národné vstupné údaje a validovať výsledky modelovania na národných inventarizačných údajoch o zásobách POC. Klimatické údaje model odvodzuje priamo, na základe zemepisných súradníc simulačných lokalít, z globálneho modelu meteorologických dát AgERA5 v rozlíšení 10 x 10 km (Parisse *et al.* 2023). Štruktúra modelu si tak vyžadovala od národných partnerov dodať dva sady údajov reprezentujúcich pôdne vlastnosti a manažment osevného postupu.

Údaje reprezentujúce pôdne vlastnosti vstupujúce do modelu predstavujú obsah ílu a počiatočnú zásobu POC. Údaje o vstupoch uhlíka boli vypočítané z reprezentujúceho osevného postupu na základe týchto údajov: pestovaná plodina, dátum zasiatia a zberu, implementácia medziplodiny, množstvo závlah, úroda plodiny, druh a množstvo externých organických hnojív, implementácia biouhľia, množstvo odstránených pozberových zvyškov a množstvo dodatočných vstupov uhlíka pri aplikácii agrolesníckeho systému hospodárenia na pôde.

V podmienkach Slovenskej republiky prebehlo testovanie modelu dvoma prístupmi z hľadiska priestorového záberu. Prvý prístup predstavuje prípravu vstupných údajov a modelovanie zásob POC v priestorovom rámci 10 km EEA gridu (gridový prístup), zatiaľ čo druhý prístup (bodový prístup) predstavuje lokálnu bodovú úroveň reprezentovanú lokalitami Čiastkového monitorovacieho systému – pôda (ČSM-P). Jednotlivým prístupom zodpovedali aj zdroje a príprava vstupných údajov.

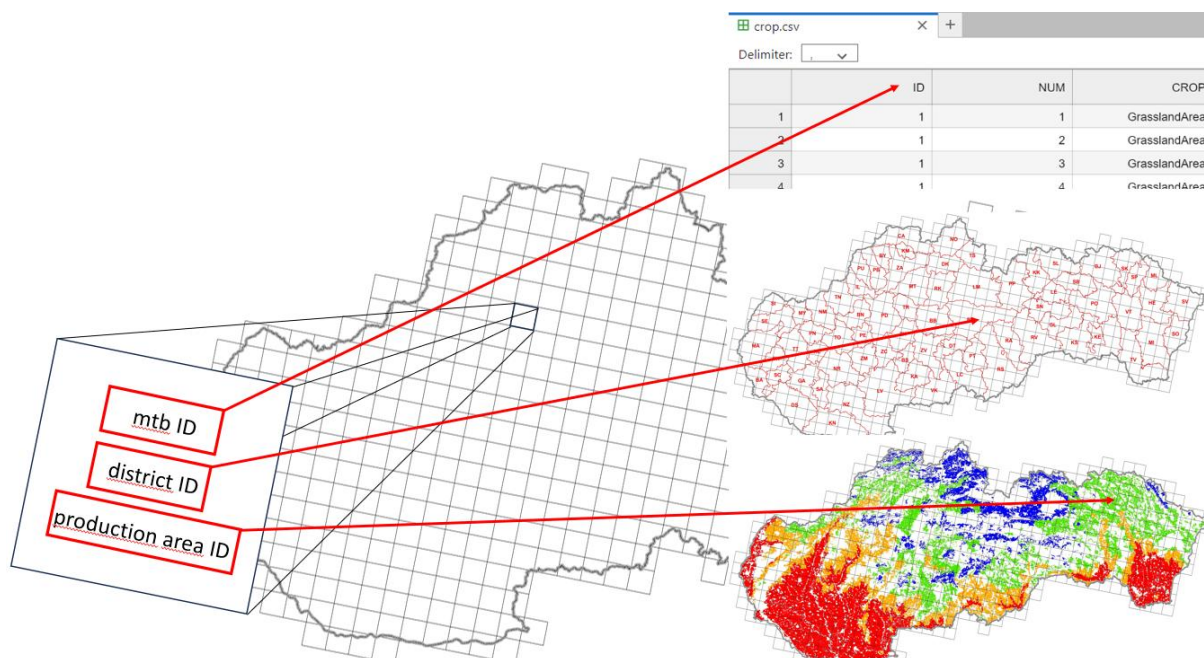
Modelovanie bolo vykonané v prostredí JupyterHub, open-source platformy pre zdieľaný prístup k projektom založeným na kolaboratívnom programovaní, v tomto prípade v programovacom jazyku Python. Úlohou národných partnerov bolo do tohto prostredia nahráť dva Comma-Separated Values (CSV) súbory v predpísanej štruktúre, ktoré obsahovali požadované vstupné údaje a následne spustiť a vyhodnotiť samotné modelovanie zásob POC. Predpísané obdobie simulácie boli roky 2000 až 2020.

Výsledky a diskusia

Modelovanie zásob POC v priestorovom rámci 10 km EEA gridu – gridový prístup

Samotná užívateľská príručka pre prácu s ModelToolBox (<https://csopra.pages-forge.inrae.fr/csopralibs/carboSeqHandout.html>) odporúča ako priestorovú modelovaciu jednotku grid s rozlíšením 10 x 10 km. Ako referenčný rámec pre tento prístup bol využitý grid Európskej environmentálnej agentúry (<https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/3c362237-daa4-45e2-8c16-aaadfb1a003b>). Územie Slovenskej republiky je pokryté 567 gridmi tohto referenčného rámca. Požadované vstupné údaje si vyžadovali použiť viaceré nekonzistentné dátové zdroje. Z tohto dôvodu bola každá simulačná jednotka identifikovaná tromi základnými identifikátormi (obr. 1):

- **mtb ID** – identifikátor simulačnej jednotky pre nástroj ModelToolBox
- **district ID** – identifikátor príslušnosti simulačnej jednotky k administratívnej jednotke na úrovni okresu. V prípade, že cez simulačnú jednotku prechádzala administratívna hranica okresu, simulačná jednotka bola priradená k okresu, ktorý pokrýval väčšiu časť jej plochy. Okresná príslušnosť simulačnej jednotky sa použila pre identifikáciu úrovne úrody pre hodnotené plodiny.
- **production area ID** - identifikátor príslušnosti simulačnej jednotky k výrobným oblastiam (Mrakič, 1957). Táto príslušnosť bola použitá pri stanovení dátumu siatia a zberu jednotlivých plodín.



Obr. 1. Atribútová identifikácia simulačných jednotiek pre harmonizáciu vstupných údajov z jednotlivých dátových zdrojov

Údaje o osevnom postupe si primárne vyžadovali stanoviť plodinu, ktorá bola v danej simulačnej jednotke a v danom roku pestovaná. Ako zdroj údajov pre stanovenie tohto kľúčového parametra boli použité databázy LPIS (Land Parcel Identification System, t.j. digitálny register presnej identifikácie a správy poľnohospodárskych pozemkov pre účely pridelenia a kontroly poľnohospodárskych dotácií v rámci Spoločnej poľnohospodárskej politiky (SPP) EÚ) a Hraníc užívania GSAA (Geopriestorová žiadosť o podporu, digitálna priestorová identifikácia pozemkov pestovania jednotlivých plodín, ktorú musia poľnohospodári na Slovensku používať na podávanie žiadostí o priame platby a iné podpory z fondov Spoločnej poľnohospodárskej politiky (SPP) Európskej únie.

Systém LPIS obsahuje deklarácie pestovania plodín v rámci jednotlivých blokov, avšak bez presnej priestorovej identifikácie v rámci bloku. Údaje z LPIS sa pre stanovenie pestovaných plodín použili pre obdobie rokov 2000 až 2017. Keďže prvá verzia LPIS bola pre územie Slovenska vytvorená až v roku 2004, pre roky 2000 až 2003 sa retrospektívne použili údaje z roku 2004. Od roku 2018 sa na Slovensku naplno začal využívať systém GSAA, ktorý ma oproti systému LPIS výhodu v tom, že jednotlivé plochy pestovania sú digitálne zakresľované a tak v tomto prípade máme presnú priestorovú informáciu o pestovaných plodinách. Údaje GSAA sa použili pre stanovenie pestovaných plodín v jednotlivých simulačných jednotkách v rokoch 2018 až 2020. ModelToolBox umožňuje priradiť jednej simulačnej jednotke v rámci jedného roka iba jednu plodinu. Z tohto dôvodu bola pre každú simulačnú jednotku stanovená plodina s najväčším priestorovým pokrytím v danom roku a v následných analýzach, ako aj v samotnom modelovaní sme ďalej pracovali už iba s touto plodinou. V nadväznosti na identifikáciu modelovanej plodiny bol stanovený dátum jej zasiatia a zberu podľa príslušnosti simulačnej jednotky v rámci výrobných poľnohospodárskych oblastí. Rovnakým spôsobom, na základe expertného odhadu, bolo stanovené aj percento pozberových zvyškov, ktoré boli z pozemku odvezené, resp. ktoré zostali na poli. Úroda plodiny v danom roku bola odvodená z priemernej okresnej štatistiky podľa príslušnosti simulačnej jednotky k danému okresu.

ModelToolBox berie do úvahy aj externé zdroje POC. Primárne ide o vstupy z organických hnojív. Pre potreby testovania sa využili údaje priestorového modelu organického hnojenia na poľnohospodárskych pôdach Slovenska (Tarasovičová *et al.* 2011) a ich priestorová transformácia do gridu 10 x 10 km. Ďalšie externé vstupy v podobe použitia medziplodín, biouhľia či dodatočných vstupov z agrolesníctva nie sú na národnej úrovni dostupné a majú skôr význam pre použitie na lokálnej úrovni. V rámci testovania sa tieto vstupy neaplikovali. Rovnako ako aj množstvo vody zo závlah.

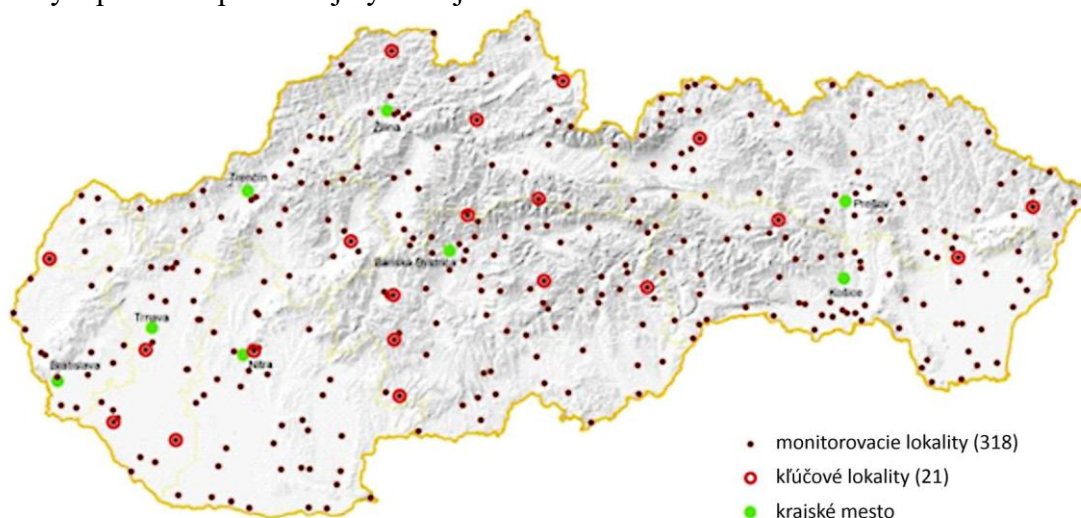
Z pohľadu pôdných vlastností sa počiatočná hodnota zásoby POC odvodila z Čiastkového monitorovacieho systému – pôda pre rok 2002. Prostredníctvom zonálnej štatistiky sa priemerná hodnota POC pre každú simulačnú jednotku stanovila z priestorového modelu POC vytvoreného na základe hybných síl vplývajúcich na stav zásoby POC v podmienkach poľnohospodárskej krajiny Slovenska (Skalský *et al.* 2024). Rovnakým spôsobom bola pre každú simulačnú jednotku stanovená hodnota ílovej frakcie na podklade priestorového modelu ílu v ornici poľnohospodárskych pôd Slovenska (Balkovič *et al.* 2010), ktorý bol vytvorený z údajov Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd Slovenskej republiky.

Modelovanie zásob POC na lokalitách Čiastkového monitorovacieho systému - pôda

Druhý prístup predstavuje prípravu vstupných údajov a modelovanie na lokalitách Čiastkového monitorovacieho systému – pôda (Kobza *et al.* 2024). Databáza ČMS-P obsahuje údaje o 318 monitorovacích plochách v poľnohospodárskej krajine reprezentujúcich pôdnu pokrývku Slovenska (obr. 2). V systéme monitorovania pôd je sledovaných 85 ukazovateľov, okrem iných aj hodnoty koncentrácie POC a percento ílovej frakcie. Databáza taktiež obsahuje informáciu o pestovanej plodine v čase odberu vzoriek (pre modelovacie obdobie to bolo

v rokoch 2002, 2007, 2013 a 2018). Zúženie priestorového rámca na bodové lokality umožnilo zvýšiť presnosť a kvalitu vstupných údajov.

Rovnako ako v gridovom prístupe bola každá lokalita ČMS-P identifikovaná tromi identifikátormi pre príslušnosť v rámci modelovania v ModelToolBox, okresu Slovenskej republiky a poľnohospodárskej výrobnjej oblasti SR.

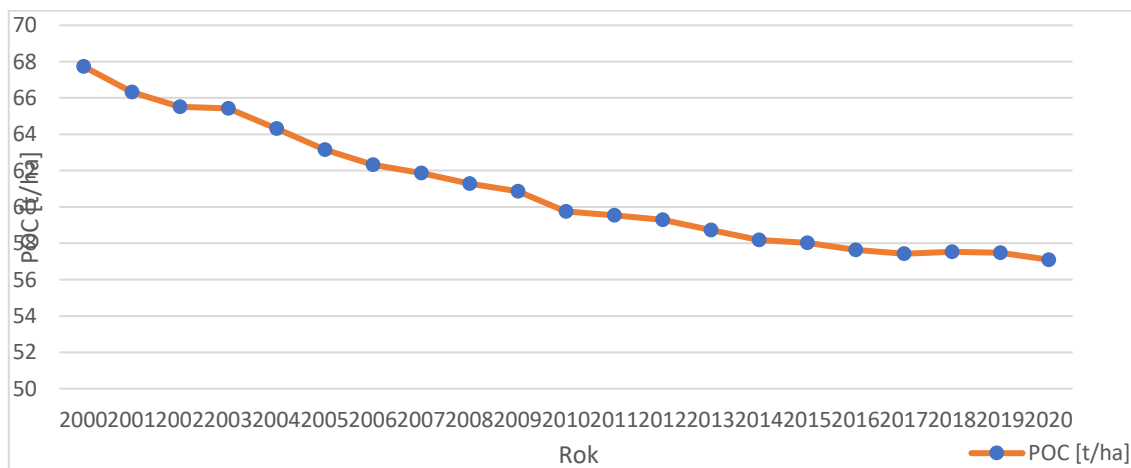


Obr. 2. Monitorovacia sieť ČMS-P

Najdôležitejší parameter na výpočet vstupu uhlíka do pôdy je pestovaná plodina, ktorá pre odberové roky pre odberové roky, bola získaná priamo z databázy ČMS-P. Roky 2019 a 2020 boli stanovené na základe priestorového prieniku lokalít ČMS-P a hraníc užívania GSAA. Pre ostatné roky údaje o pestovanej plodine boli odvodené z priestorového prieniku lokalít ČMS-P a LPIS a stanovenia pestovanej plodiny na základe deklarácie farmárov. Ostatné vstupné údaje pre oševný postup boli odvodené rovnako, ako v prípade gridového prístupu. Údaje o pôdnych vlastnostiach (percento ílovej frakcie, zásoba POC) boli prebraté priamo z databázy ČMS-P, rovnako ako aj geografické súradnice jednotlivých lokalít.

Vývoj zásob POC a ich validácia

Modelovanie prostredníctvom 10 km priestorových simulačných jednotiek ukázalo celkový pokles v zásobách POC a to v rozsahu väčšom ako 10 t/ha (obr. 3). Predstavuje to výrazný pokles, ktorý sa nezhoduje s trendom vyplývajúcim z priebežného monitoringu parametra zásob POC prostredníctvom ČMS-P, ktorý v teritóriu Slovenskej republiky predstavuje relevantnú databázu nameraných údajov vývoja zásob POC.

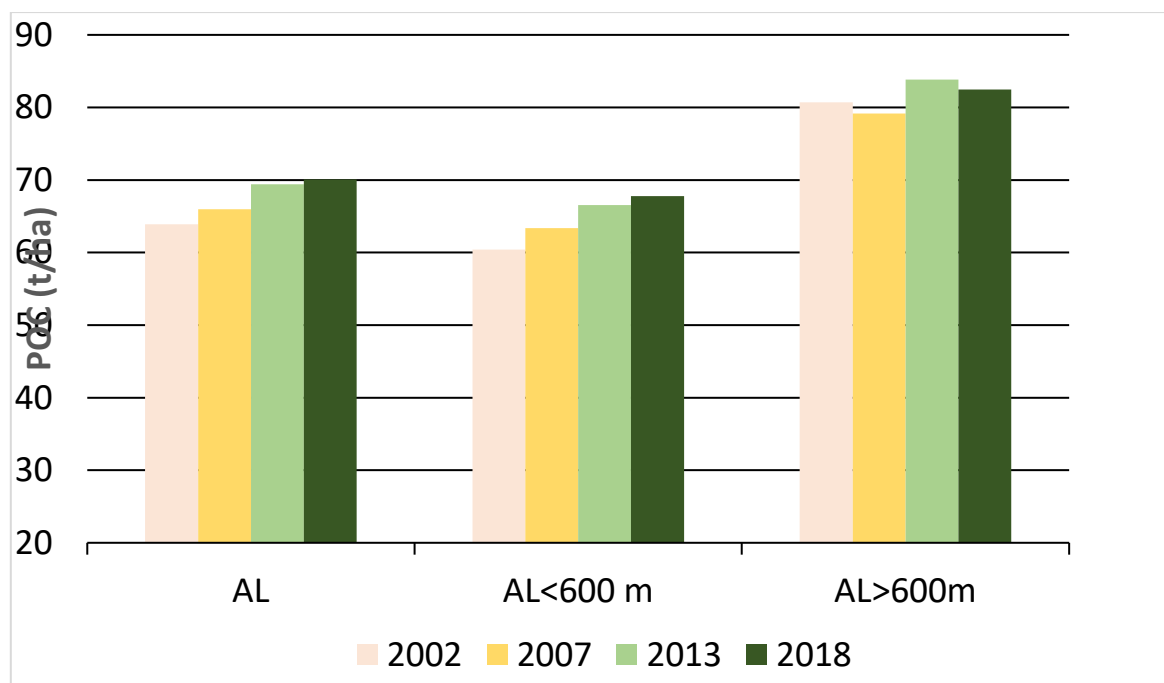


Obr. 3. Celkový vývoj zásob POC (t/ha) – gridový prístup

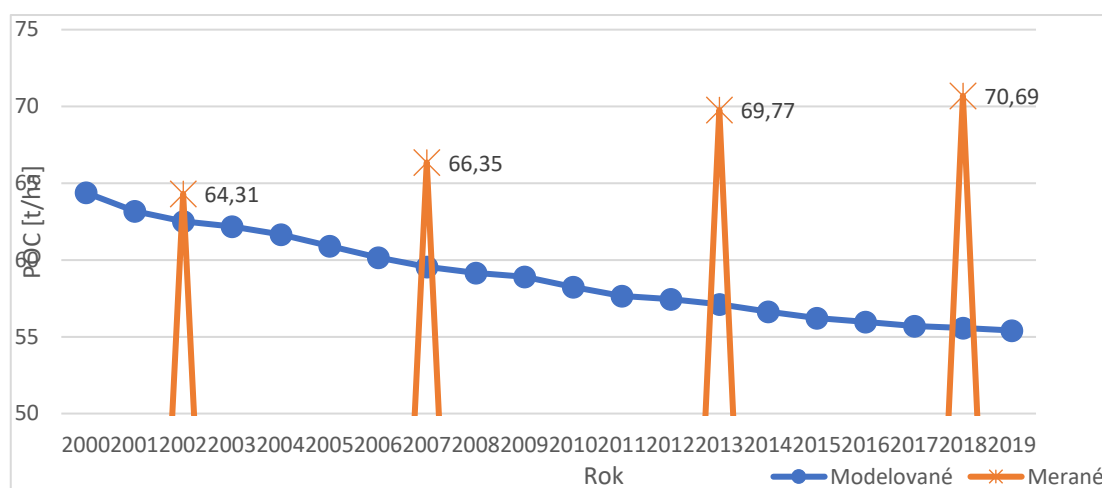
Ako môžeme vidieť na obr. 4, v modelovom období došlo na poľnohospodárskych pôdach, aj keď nie nejako výraznému, ale predsa len nárastu v zásobách POC. ModelToolBox tak pri snahe čo najvernejšie zachytiť faktory vplývajúce na zásobu POC nedokázal pri aktuálnom nastavení správne zachytiť trend jeho vývoja v podmienkach Slovenskej republiky.

Práve nesprávne zachytený vývoj v zásobách POC prostredníctvom gridového prístupu viedol k zmene paradigmy modelovacieho prístupu na bodový s využitím lokalít ČMS-P. Zákonite, presnejšie stanovenie vstupov viedlo k domnienke o reálnejšom stanovení vývoja zásob POC prostredníctvom modelovania. Ako však ukazuje obr. 5, ani v tomto prípade nedokázal model správne vyhodnotiť vývoj v zásobách POC, resp. dokonca vývoj vyhodnotil opačne ako ukazujú merané údaje. Pokles o takmer 9 t/ha sa rovnako nezhoduje s reálnym monitorovaným stavom v zásobách POC v priestore poľnohospodárskych pôd Slovenska.

Prezentované výsledky v podobe nerealistického poklesu neboli v rámci testovacej fázy projektu CarboSeq ojedinelé. Z desiatich krajín, ktoré sa na testovaní modelu zúčastnili, osem krajín (vrátane Slovenska) realizovalo testovanie na reálnych dátach a každá z nich deklarovala nesúlad modelovaných hodnôt s meranými údajmi v rámci národných monitoringov. Rovnako ako Slovensko, napr. Estónsko alebo Švédsko reportovali straty v zásobách POC oproti meraným hodnotám z národných monitoringov. Naopak, Nemecko zase odpočítavalo nereálne nárasty v zásobách POC (Seidel *et al.* 2025). To zdôrazňuje výzvy na kvalitu vstupných údajov, ale aj podrobnosť niektorých požadovaných údajov, najmä na externé vstupy POC (biouhlie, agrolesníctvo, medziplodiny), zvlášť pri modelovaní skutočných trendov vo vývoji zásob POC. Na druhej strane, sedem krajín realizovalo modelovanie podľa teoretických sekvestračných scenárov a výsledky ukazujú použiteľnosť modelu pri odhade potenciálu sekvestrácie POC (Seidel *et al.* 2025).



Obr. 4. Celkový vývoj zásob POC (t/ha) v jednotlivých monitorovacích rokoch ČMS-P v rámci modelovacieho obdobia (Barančíková *et al.* 2023)



Obr. 5. Celkový vývoj zásob POC (t/ha) – bodový prístup

Záver

Modelovanie predstavuje praktický spôsob ako získať údaje o zmenách stavu zásob POC v priestore a čase pre správne rozhodnutia o hospodárení na poľnohospodárskych pôdach. Vývoj zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska je pomerne dobre otestovaný vo viacerých štúdiách, v ktorých bol využitý predikčný model RothC. Tento model je aj hlavnou zložkou v modelovacom nástroji ModelToolBox, ktorý bol vyvíjaný v rámci medzinárodného projektu CarboSeq. Slovenská republika sa v rámci konzorcia EJP Soil podieľala na testovaní modelu na národnej úrovni. Aplikovali sa dva prístupy modelovania z pohľadu použitého priestorového rámca – gridový (10 km EAA grid) a bodový (lokality ČMS-P). Použitie čo najreálnejších zdrojov pri príprave vstupných údajov pre modelovanie v sledovanom období rokov 2000 až 2020 však nepreukázalo správnosť výstupov modelovania pri validácii výsledkov s reálne nameranými hodnotami. Hlavnou príčinou rozdielov medzi modelovanými a nameranými hodnotami POC je náročnosť modelu na vstupné údaje a ich kvalitu, ako aj nízka úroveň možnosti ich detailnejšej úpravy. Snaha o zjednodušenie prípravy vstupov formou definovania plodiny vylučuje prispôbenie vstupov uhlíka v konkrétnych mikropodmienkách. Rovnako pomerne široké zameranie na zapracovanie externých vstupov uhlíka kladie vysoké nároky pri príprave a nastavení vstupných údajov na vyšších mapovacích úrovniach. Napriek tomu však na základe dobrých výsledkov viacerých zahraničných partnerov, môžeme konštatovať, že model ako nástroj je vhodný na hodnotenie potenciálu sekvestrácie POC podľa rôznych scenárov manažmentu na poľnohospodárskych pôdach, resp. použitie pri analýze vo vývoji zásob POC v detailnejších mierkach. To vytvára priestor na ďalšie testovanie tohto robustného nástroja na úrovni poľnohospodárskeho podniku, pri čom bude možné lepšie využitie dostupných údajov. Kombináciou detailných a presných údajov o výnosoch pestovaných plodín, ich vegetačnom vývoji, použitých agrotechnických postupov a aplikovaných externých vstupov POC do pôdy, získame dostatočne kvalitnú bázu vstupných údajov, ktoré potvrdia využiteľnosť nástroja ModelToolBox aj pre validáciu reálneho vývoja zásob POC na poľnohospodárskych pôdach.

Podakovanie

Táto práca bola podporená v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „Údajová a vedomostná podpora pre systémy rozhodovania a strategického plánovania v oblasti adaptácie poľnohospodárskej krajiny na klimatické zmeny a minimalizáciu degradácie poľnohospodárskych pôd“ (kód ITMS2014+ 313011W580), spolufinancovaného zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja, ako aj v rámci riešenia projektu „Smerom k inteligentnému a udržateľnému manažmentu poľnohospodárskych pôd v oblasti klímy (EJP-SOIL, grant agreement ID:

862695), financovaného z programu Európskej únie pre výskum a inovácie Horizont 2020. Táto práca vznikla taktiež za finančnej podpory rezortného projektu „Monitoring pôd SR – Tvorba a hodnotenie poznatkov o aktuálnom stave a vývoji pôdneho pokryvu v podmienkach klimatickej zmeny“ č. 1092/2022/MPRVSR-930 (Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR).

Literatúra

- Amelung, W., Bossio, D., de Vries, W., Kogel-Kabner, I., Lehmann, J., Amundson, R., Bol., R., Collins, C., Lal, R., Leifeld, J., Minasny, B., Paustian, K., Rumpel, C., Sanderman, J., van Groenigen, J.W., Mooney, S., van Wesemael, B., Wander, M., Chabbi, A. (2020). Towards a global-scale soil climate mitigation strategy. *Nature Communication*, vol. 11, pp. 5427, DOI <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18887-7>
- Balkovič, J., Skalský, R., Nováková, M. (2010). Priestorový model distribúcie piesku a ílu v ornici poľnohospodárskych pôd Slovenska. *Vedecké práce*, vol. 32, pp. 5-13, ISBN: 978-80-89128-82-2.
- Barančíková, G., Koco, Š., Makovníková, J., Halas, J., Skalský, R., Kobza J. (2023). Development of soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. In: Šarapatka, Bořivoj – Bednár, Marek – Netopil, Patrik (eds.). *Adaptation strategies for soil and water conservation in a changing world*. Proceedings The 5th WASWAC World Conference. Palacký University Olomouc, s. 66-67. ISBN 978 – 80 – 244- 6318-36, https://pedologie.czu.cz/dokumenty/Proceedings_Sbornik.pdf
- Campbell, E.E., Paustian, K. (2015). Current developments in soil organic matter modeling and the expansion of model applications: a review. In: *Environmental Research Letters*, vol.10, ISSN: 17489326, doi: 10.1088/1748-9326/10/12/123004.
- Dechow, R., Franko, U., Kätterer, T., Kolbe, H. (2019). Evaluation of the RothC model as a prognostic tool for the prediction of SOC trends in response to management practices on arable land. *Geoderma*, vol. 337: 463-478
- Francaviglia, R., Di Bene, C., Farina, R., Salvati, L., Vicente-Vicente, J.L. (2019). Assessing “4 per 1000” Soil Organic Carbon Storage Rates under Mediterranean Climate: A Comprehensive Data Analysis. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. vol. 24: 795–818, doi:10.1007/s11027-018-9832-x.
- IPCC (2021). Annex VII: Glossary. In J. B. R. Matthews, V. Möller, R. van Diemen, J.S. Fuglestedt, V. Masson-Delmotte, C. Méndez, S. Semenov, & A. Reisinger (Eds.), In *climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 2215– 2256). Cambridge University Press
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. (2024). *Monitoring pôd Slovenskej republiky. Výsledky Čiastkového monitorovacieho systému – Pôda za obdobie rokov 2018-2022* (6. cyklus), Bratislava, 253 pp. ISBN 978-80-8163-050-7
- Kopittke, P.M., Berhe, A.A., Cavagnaro, T.R., Chen, D., Chen, Q.-L., Dobarco, M.R., Dijkstra, F.A., Fielnd, J., Grundy, M.J., He, J.Z., Hoyle, F.C., Kogel-Knabner, I., Lam, S.K., Marschner, P., Martinez, C., McBratney, A.B., McDonald-Madden, E., Menzies, N.W., Mosley, L.M., Mueller, C.W., Murphy, D.V., Nielson, U.N., O'Donnell, A.G., Pendall, E., Pett-Ringe, J., Rumpel, C., Young, I.M., Minasny, B. (2022). Ensuring planetary survival: the centrality of organic carbon in balancing the multifunctional nature of soils. In: *Critical reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 52(3): 4308-432 <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.2024484>.
- Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*. doi: 10.1002/fes3.96
- Mrakič, J. (1957). *Prehľadná mapa výrobných typov – Slovensko*. Bratislava: Výskumný ústav poľnohospodárskej ekonomiky SAV.
- Parisse B., Alilla, R., De Natale, F. (2023). *EJPSOIL CarboSeq agrometeorological datasets* (1.1) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8399180>
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P., 2016. Climate-smart soils. *Nature*, vol. 532, p. 49-57. doi: 10.1038/nature17174.
- Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law)*, 2023. COM/2023/416 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52023PC0416>
- RECSOIL: Recarbonization of Global Agricultural Soils*, 2021. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/areas-of-work/recsoil/recsoil-home/en/>
- Seidel, F., Spiegel, H., Budai, A., Hardy, B., Sierra, C., Buckley, C., Plaza, C., Piccini, Ch., Di Bene, C., Mondini, C., Rasse, D., Seitz, D., Diaz-Pines, E., Herzog, F., Levavasseur, F., Schneider, F., Bellocchi, G., Ruysschaert, G., Criscuoli, I., Lesschen, J.P., Leifeld, J., Holland, J., Alvaro-Fuentes, J., Keiblinger, K., Klumpp, K., Elsgaard, L., Cecillon, L., Martin, M., Diacono, M., Suhadolc, M., Bolinder, M., Ogunpaimo, O., Panagea, I., Farina, R., Vanino, S., Weldon, S., Kätterer, T., Viaud, V., Don, A. (2025). *Final Report of the CarboSeq project*. EJP-SOIL, 84 s., DOI:10.5281/zenodo.14631501
- Skalský, R., Barančíková, G., Makovníková, J., Halas, J., Kobza, J. (2024). Regional topsoil organic carbon content in the agricultural soils of Slovakia and its drivers, as revealed by the most recent national soil monitoring data. In: *Environmental Challenges*, vol. 14, pp. 1-12, ISSN: 2667-0100. DOI: 10.1016/j.envc.2023.100816

Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M.M., Zaehle, S., Hiederer, R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Rounsevell, M., Reginster, I., Ewert, F. (2005). Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990-2080. *Global Change Biology*, vol.11, online ISSN: 1365-2486, pp. 2141-2152.

Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M., Gottschalk, P., Romanenkov, V.A., Ševcova, L.K., Sirotenko, O.D., Rukhovič, D.I., Koroleva, P.V., Romanenko, I.A., Lisovoj, N.V. (2007). Projected changes in the organic carbon stocks of cropland mineral soils of European Russia and the Ukraine 1990-2070. *Global Change Biology*, vol. 3: 342–356, online ISSN: 1365-2486.

Smith, P. (2012). Soils and climate change. *Sustainability*, vol. 4, ISSN: 2071-1050, p. 539-544.

Smith, P., Soussana, J.F., Angers, D., Schipper, I., Chenu, C., Rasse, D.P., Batjes, N.H., van Egmond, F., McNeill, S., Kuhnert, M., Arias/Navaro, C., Olesen, J.E., Chirinda, N., Fornara, D., Wollenberg, E., Alvaro-Fuentes, J., Sanz-Cobena, A., Klumpp, K. (2020). How to measure, report and verify soil carbon change to realise the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, vol. 26: 219–241, online ISSN: 1365-2486.

Srivasta, P., Singh, R., Triparhi, S., Singh, H., Singh Raghubansahi, A. (2016). Soil carbon dynamic and climate change: current agro-environmental perspectives and future dimensions. In: *Energy, Ecology and Environment*, DOI 10.1007/s40974-016-0024-9

Tarasovičová, Z., Skalský, R., Nováková, M. (2011). Priestorový model organického hnojenia na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. *Vedecké práce*, vol. 33: 194–202, ISBN: 978-80-89128-91-4.

van Wesemael, B., Paustian, K., Meersmans, J., Goidts, E., Barančíková, G., Easter, M. (2010). Agricultural management explains historic changes in regional soil carbon stocks. *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 107, p. 14926- 14930, ISSN: 1091-6490.

Kontaktná adresa autorov:

doc. Ing. Štefan Koco, PhD. ¹Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko Prešov, Raymanova 1, 080 01 Prešov; e-mail: stefan.koco@nppc.sk. ²Prešovská univerzita v Prešove, Fakulta humanitných a prírodných vied, 17. novembra 1, 080 01 Prešov;

doc. RNDr. Gabriela Barančíková, CSc. ¹Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko Prešov, Raymanova 1, 080 01 Prešov; e-mail: gabriela.barancikova@nppc.sk, ²Prešovská univerzita v Prešove, Fakulta humanitných a prírodných vied, 17. novembra 1, 080 01 Prešov;

Ing. Ján Halas, PhD. Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko Prešov, Raymanova 1, 080 01 Prešov; e-mail: jan.halas@nppc.sk

prof. Ing. Jozef Kobza, CSc. Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, e-mail: jozef.kobza@nppc.sk

VPLYV ZMENY DRUHU POZEMKU NA HODNOTU EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽIEB

LAND USE CHANGES AND THEIR IMPACT ON THE VALUE OF ECOSYSTEM SERVICES

Jarmila Makovníková

Abstract: The quantification and assessment of ecosystem services (ESS) is one of the driving forces of the sustainable development of human activities in the context of natural resources. The aim of this paper is to evaluate the impact of changes in land type on the non-monetary and monetary value of ecosystem services using a matrix valuation system. Land use changes most significantly affects the potential of provisioning and regulating ecosystem services.

Keywords: ecosystem services, matrix approach, non-monetary assessment, land use changes

Úvod

Koncept ekosystémových služieb je mimoriadne cenný pri rozhodovaní o rozdelení zdrojov, ktoré poskytuje príroda. Súvisí to s hľadaním alternatív, ktoré môžu byť zamerané na dosahovanie rôznych priorít, akými sú peňažná a nepeňažná hodnota, kvalita života alebo ochrana prírody pre jej vnútorné hodnoty. Analyzovať a hodnotiť ekosystémové služby znamená porozumieť vzájomnej závislosti a kompromisom medzi výrobou a životným prostredím. Každý ekosystém je stále a v každých podmienkach multifunkčný, čo sa týka procesov, ktoré v ňom prebiehajú, ako aj funkcií a služieb. Ekosystémy, ktoré poskytujú služby, sú označované ako prírodný kapitál (Costanza, 2008), čím dochádza k prepojeniu hospodárstva s jeho ekologickými rozmermi. Ekosystémové služby sú zo svojej podstaty určené vzájomnou interakciou medzi ekologickými a sociálnymi systémami, pretože len tie ekosystémové procesy a funkcie, ktoré prispievajú k naplneniu ľudských potrieb, sú definované ako ekosystémové služby (Birkhofer *et al.*, 2015). Potenciál ES predstavuje hypoteticky maximálny výnos vybraných ES (Burkhard *et al.*, 2014), ktorý môžu prírodné zdroje (ekosystémy) poskytovať. Ekosystémový prístup je v súčasnosti nevyhnutnou stratégiou pre integrované riadenie území, manažment vodných zdrojov a bioty, pretože ide o prístup, ktorý podporuje zachovanie a udržateľné využívanie ekosystémov (Millennium Ecosystem Assessment – MEA, 2005).

V rámci prírodného kapitálu sú za najpodstatnejšie pre ľudský blahobyt považované ekosystémy poskytujúce širokú škálu ekosystémových služieb (Gómez-Baggethun *et al.*, 2016). Riadenie a zásahy ľudí môžu významne zmeniť fungovanie ekosystémov, a tým poskytovanie be-nefitov ekosystémových služieb a je dôležité, aby ľudia uplatňovali znalosť vzťahov medzi jednotlivými službami s cieľom podporiť synergiu medzi týmito službami v rámci multifunkčného využívania krajiny (Bodnaruk *et al.*, 2017). Na rozdiel od systémov využívania pôdy, ktoré sú maximalizované smerom k ponuke jednej alebo niekoľkých služieb ekosystému, multifunkčné územia sa vyznačujú vysokou rozmanitosťou a hojnosťou rôznych služieb v rámci tej istej priestorovej jednotky (Stürck & Verburg, 2017). Environmentálne ukazovatele, ako sú ukazovatele multifunkčnosti, vo všeobecnosti zohrávajú dôležitú úlohu aj pri hodnotení environmentálnych podmienok a zmien, ako aj pri stanovovaní environmentálnych cieľov. Zmeny využívania pôdy a manažmentu sú jednou z hlavných príčin biofyzikálnych zmien agroekosystémov, predovšetkým prostredníctvom intenzifikácie a homogenizácie. Keďže štrukturálna heterogenita ekosystémov krajiny koreluje s jej multifunkčnosťou, zjednodušenie štruktúry v dôsledku intenzifikácie môže viesť k zníženiu hodnoty ekosystémových služieb. Ľudské aktivity zasahujú do fungovania a prirodzenej

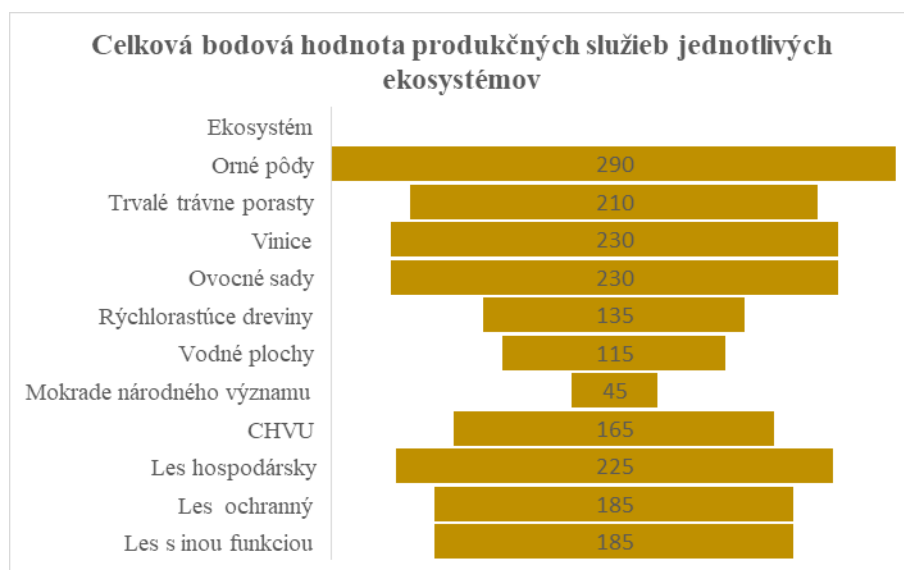
podoby ekosystémov. Môžu mať pozitívne, neutral-ne ako aj negatívne prejavy, čo sa odrazí aj na samotnej hodnote ekosystémových služieb. Zmysluplné zásahy najmä v degradovaných územiach napomáhajú k ozdraveniu ekosystému ako takého, čo sa následne odrazí aj vo zvyšovaní hodnôt jednotlivých ekosystémových služieb. Hodnota ES krajiny môže byť ovplyvnená aj prístupom k prírodným zdrojom a ich kontrolou rôznymi užívateľmi pôdy (Pacheco & Sanches Fernandes, 2016). Ekosystémové účty umožňujú sledovať stav ekosystémových aktív v priebehu času, a tak indikovať zmenu ich stavu. To môže pomôcť tvorcom verejných politík rozlíšiť ekosystémové aktíva a služby vykazujúce najvýznamnejšie zmeny a identifikovať politické priority. V rámci poľnohospodársky využívaných pôd SR k najvýraznejším zmenám dochádza vo výmere orných pôd a výmere trávnych porastov. Dlhodobopretrvávajúci trend úbytku výmery ornej pôdy a prírastku výmery trávnych porastov. K úbytku výmery ornej pôdy dochádza v dôsledku tlakov na pôdu, predovšetkým sealingu (zastavaniu ornej pôdy), degradácii ornej pôdy ako aj spustnutiu ornej pôdy a jej následnému zatrávneniu alebo zarasteniu a presunu do výmery lesných porastov (Makovníková *et al.*, 2017, Izakovičová, 2022). Premena poľnohospodárskej pôdy na stavebné pozemky pre rôzne investičné zámery reprezentuje aktivity s významným negatívnym ekologickým či environmentálnym dopadom. K záberom poľnohospodársky využívaných pôd dochádza aj napriek zákonom o ochrane pôdy. Ústava SR hovorí, že „poľnohospodárska a lesná pôda ako neobnoviteľné prírodné zdroje požívajú osobitnú ochranu zo strany štátu a spoločnosti“. Preto je potrebné väčšie úsilie o reálne uplatňovanie ochrany pôdy v praxi. Cieľom príspevku je zhodnotiť vplyv zmeny druhu pozemku na nemonetárnu a monetárnu hodnotu ekosystémových služieb pri využití matrix systému hodnotenia.

Materiál a metódy

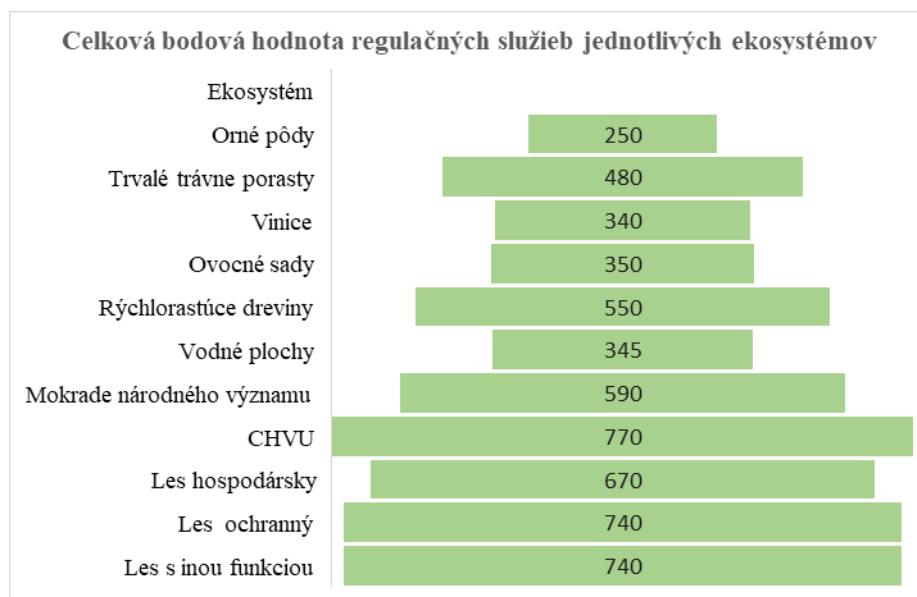
Maticový systém hodnotenia participatívnym expertným bodovaním poskytuje rýchle a ľahko použiteľné hodnotenia ekosystémových služieb (Burkhard *et al.*, 2009, Burkhard *et al.*, 2014, Jacobs *et al.*, 2015, Makovníková *et al.*, 2017). Matica potenciálu ekosystémových služieb je v podstate vyhľadávacia tabuľka, ktorá spája typy krajiny pokrývky s ekosystémom a jeho potenciálom poskytovať ekosystémové služby. Maticový prístup s expertným odhadom sú nákladovo efektívne, pretože poskytujú rýchle hodnotenie pre veľký počet ekosystémových služieb (Jacobs & Burkhard, 2017). Maticová metóda ponúka vysoko flexibilný spôsob hodnotenia a mapovania ekosystémových služieb na základe rôznych zdrojov údajov a metód a vo všetkých druhoch nastavenia študijných oblastí od miestnej po regionálnu a národnú úroveň. V skupine produkčných ekosystémových služieb sme hodnotili sedem služieb (produkcia plodín, biomasa na energetické účely, pastva a chov dobytka, produkcia dreva, lov zveriny a produkcia krmiva pre dobytok a zver), uvedených na obrázku 1. V skupine regulačných ekosystémových služieb sme hodnotili reguláciu lokálnej a globálnej klímy, reguláciu kvality ovzdušia, reguláciu vody/ochranu pred záplavami, reguláciu vodnej erózie, reguláciu živín, reguláciu rizikových látok, opelenie a ochranu biodiverzity (obr. 2), v skupine kultúrnych ekosystémových služieb rekreáciu a turizmus, krajinný ráz a estetiku, prírodné a kultúrne dedičstvo, poznatkovú základňu a regionálny význam pre daný región (obr. 3).

Na základe metódy prenosu hodnôt (Liu *et al.*, 2010, Wilson & Hoehn, 2006, Černecký *et al.*, 2020) je možné priradiť uvedeným bodovým hodnotám peňažnú hodnotu, cenu/ekonomickú hodnotu (1 bod = 40,7 EURO, Frélichová *et al.*, 2014).

Obr. 1. Celková bodová hodnota produkčných ekosystémových služieb



Obr. 2. Celková bodová hodnota regulačných ekosystémových služieb

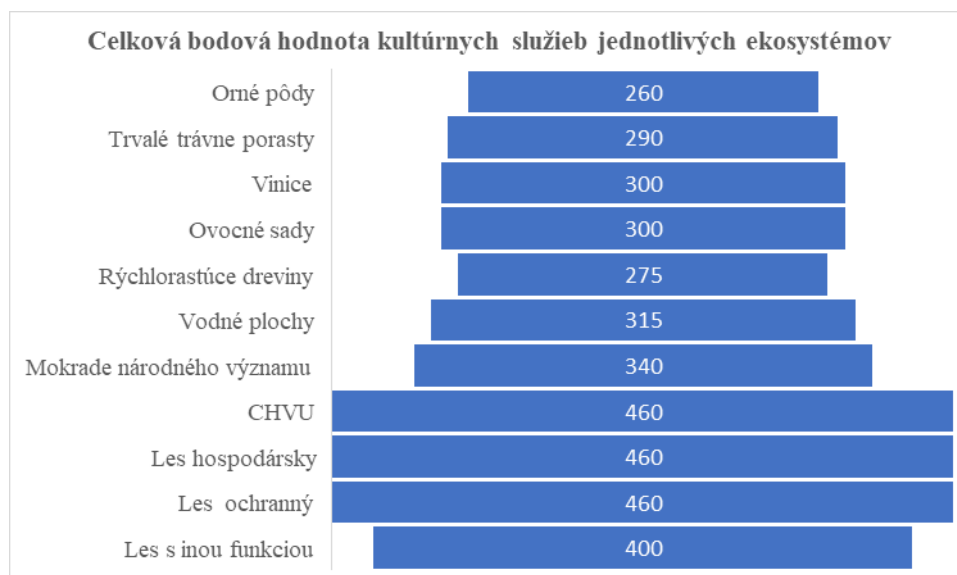


Výsledky a diskusia

Zmena využívania územia (zmena druhu pozemku) najvýraznejšie ovplyvňuje potenciál produkčných a regulačných služieb ekosystémov (Tab. 1). Pozitívne, pri konverzii orných pôd na trávne porasty, alebo negatívne, pri rozoraní trávnych porastov. V minulosti bola poľnohospodárska výroba tesnejšie prepojená s prirodzenými cyklami a funkciami v ekosystémoch (živinový cyklus, opeľovanie, prirodzená regulácia škodcov), ktoré sú v súčasnosti nahradené používaním agrochemikálií, hnojív, pesticídov, strojov (Frélichová & Fanta, 2015). V súčasnosti intenzívna poľnohospodárska výroba negatívne ovplyvňuje predovšetkým poskytovanie regulačných ekosystémových služieb (Metzger *et al.*, 2008). Optimalizácia poľnohospodárskych ekosystémov pre maximálnu produkciu si často vyžaduje zjednodušenie ich štruktúry (veľké plochy na obrábanie), čo má za následok celý reťazec negatívnych účinkov, na biodiverzitu, prirodzenú reguláciu škodcov, na akumuláciu vody,

sekvestraciu uhlíka (Flynn *et al.*, 2009, Frank *et al.*, 2012). Najvyššiu hodnotu potenciálu prírodných zdrojov na poskytovanie všetkých ekosystémových služieb majú lesné ekosystémy, po ktorých nasledujú chránené územia, vodné plochy a mokrade národného významu. Naproti tomu trvalé trávne porasty, ovocné sady a vinice majú priemernú kapacitu na poskytovanie ekosystémových služieb, ekosystém orných pôd má nízku kapacitu.

Obr. 3. Celková bodová hodnota kultúrnych ekosystémových služieb



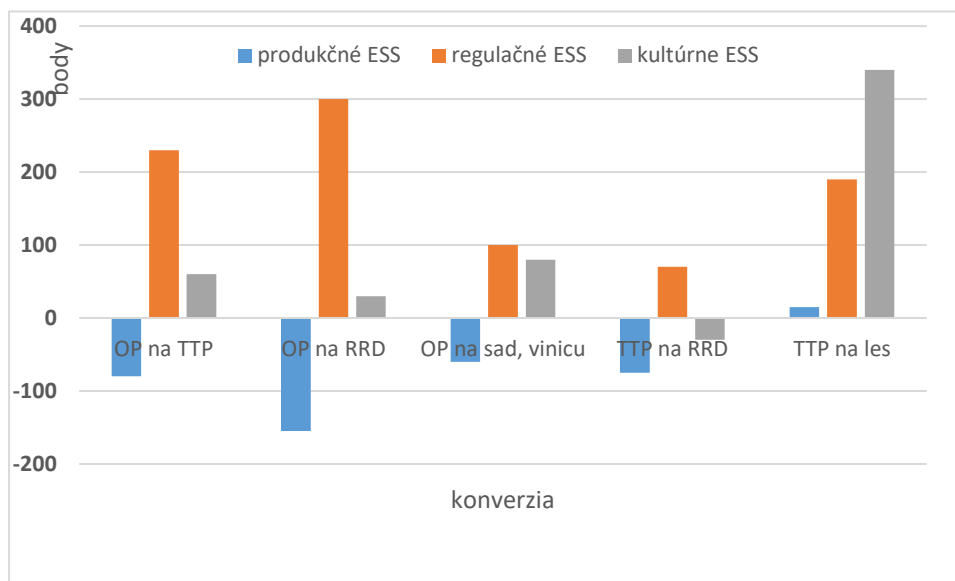
Ekosystémy orných pôd majú svoj nezastupiteľný význam predovšetkým v skupine produkčných ekosystémových služieb. K najväčšiemu úbytku hodnoty ESS v tejto skupine síce dochádza pri zmene využívania OP na RRD, avšak matica hodnotenia ESS nerozlišuje kvalitu OP. Využívanie menej kvalitných OP ako aj kontaminovaných OP na pestovanie RRD má svoj význam v sektore energetiky (Porvaz *et al.*, 2009). Pestovanie RRD na poľnohospodárskej pôde (Dominati *et al.*, 2010) prispieva k zníženiu skleníkových plynov sekvestraciou uhlíka, čím pozitívne ovplyvňuje regulačnú ekosystémovú službu regulácie klímy, filtráciu polutantov, reguláciu vodného režimu, zachovanie biodiverzity a zabraňuje spustnutiu menej produkčných pôd (Burkhard *et al.*, 2012). Zmena hodnoty pri konverzii OP na RRD v skupine regulačných ESS je preto pozitívna. Pri konverzii TTP na RRD sa znižuje hodnota takých služieb, ako sú pastva dobytky, chov dobytky a produkcia krmovín. Produkcia voľne chovaného domáceho dobytky je viazaná predovšetkým na trávne ekosystémy. Túto službu zásadne neovplyvňujú kosené trávne porasty (Kanianska *et al.*, 2016). Kosenie je aj jedným z dôležitých udržiavacích opatrení na zachovanie vzácnych ekosystémov SR (Černecký *et al.* 2020). Služba pastva a chov dobytky je priamo prepojená na produkciu krmovín. Pozitívnu zmenu hodnoty ESS ukazuje zalesňovanie napr. Menej produktívnych TTP. Negatívom tejto zmeny je však úbytok poľnohospodársky využívannej pôdy. Les je najvyššie organizovanou a najzložitejšou fytoocenózou (Vološčuk *et al.* 2011). Nadmerná produkcia dreva alebo iných trhových statkov však môže spoločnosti spôsobiť aj negatívne externality, t. j. náklady napríklad vo forme straty biodiverzity, redukovanej kvality a kvantity vody alebo vysokých emisií uhlíka (Báliková *et al.* 2021). Regulácia klímy má svoju globálnu, ale aj lokálnu úroveň. Predovšetkým prirodzené lesné ekosystémy a ekosystémy mokradí udržiavajú vhodné atmosferické podmienky pre život na Zemi a regulujú klímu na celosvetovej úrovni (Maes *et al.*, 2014, Nedkov *et al.*, 2018). S nastupujúcou klimatickou zmenou, ktorá prináša so sebou aj väčšie riziko extrémneho počasia vrátane náhlych povodní, nadobúda čoraz väčší význam aj regulácia vody v krajine. Predovšetkým v oblastiach s vysokým sklonom reliéfu a absenciou drevinovej vegetácie hrozí riziko záplav. Na zabezpečenie regulácie povodní sú významné predovšetkým lesné

ekosystémy a mokrade s vodozadržnou funkciou). Lesy a trvalé trávnaté porasty v krajine (remízky, líniové porasty drevín) sú pre transformáciu zrážok a odtokový režim kľúčovými prvkami. Najvyššiu kapacitu na zabezpečenie regulačnej služby podpora biodiverzity majú horské a podhorské oblasti spolu s trávnyimi porastami, pretože ich významná časť je aj súčasťou siete chránených území. Vyššia biodiverzita podporuje fungovanie ekosystému a prispieva k udržaniu ekologickej stability. Lesy majú najväčšie bodové hodnoty aj vo vzťahu k skúmaným kategóriám kultúrnych ekosystémových služieb, akými sú rekreácia a turizmus, estetické hodnoty, regionálny význam, prírodné dedičstvo, poznatková základňa a kultúrne dedičstvo. Na hodnotu prírodného kapitálu Európskej únie, predovšetkým pri poskytovaní regulačných a kultúrnych služieb (Černecký et al., 2020), majú významný vplyv chránené územia, predovšetkým pri poskytovaní regulačných a kultúrnych služieb. Celkové zmeny hodnoty troch skupín ekosystémových služieb pri zmene využívania pôdy (nemonetárne) (body/ha/rok) sú uvedené v tabuľke 1 a na obrázku 4.

Tab. 1. Zmeny hodnoty jednotlivých ekosystémových služieb pri zmene využívania pôdy (nemonetárne hodnotenie) (body/ha/rok)

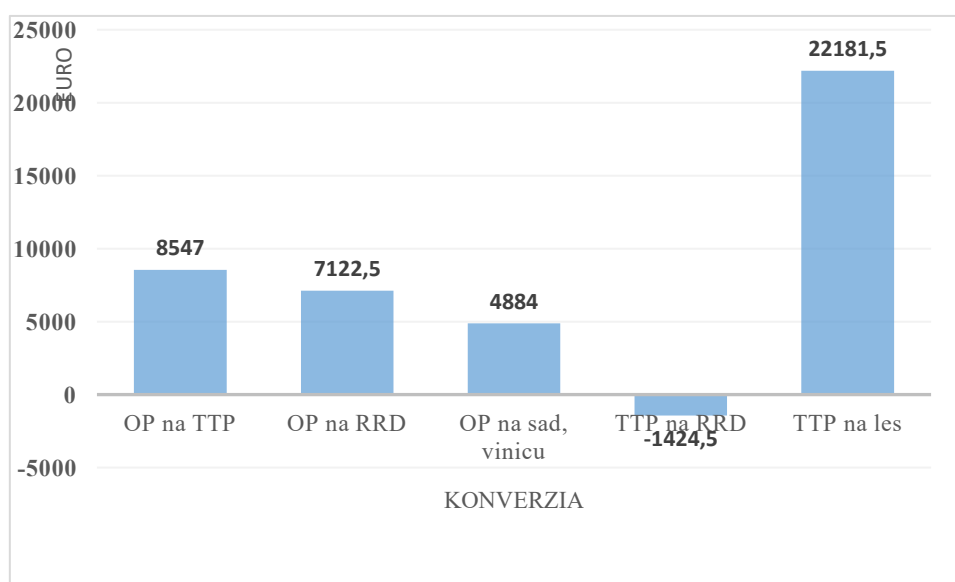
Konverzia	Orná pôda na TTP	Orná pôda na RRD	Orná pôda na vinicu, sad	TTP na RRD	TTP na les
Produkčné ekosystémové služby					
Produkcia plodín, vlákna	-80	-85	-10	-5	-5
Biomasa na energetické účely	-40	0	-80	40	-40
Pastva dobytky, chov	85	0	35	-85	-80
Produkcia dreva	0	0	35	0	85
Lov zveriny	0	10	40	10	80
Produkcia krmiva	-45	-80	-80	-35	-25
Regulačné ekosystémové služby					
Lokálna klíma	0	0	-10	0	50
Globálna klíma	50	50	10	0	20
Regulácia kvality ovzdušia	0	0	10	0	70
Regulácia vody/ochrana pred záplavami	10	40	-10	30	30
Regulácia vodnej erózie	60	60	0	0	0
Regulácia živín	-10	40	10	50	50
Regulácia rizikových látok	50	40	20	-10	-10
Opeľovanie	50	60	50	10	-10
Ochrana biodiverzity	20	10	20	-10	-10
Kultúrne ekosystémové služby					
Rekreácia a turizmus	0	10	10	10	40
Estetické hodnoty	0	0	0	0	30
Poznatková základňa	0	20	20	20	30
Kultúrne dedičstvo	0	-15	0	-15	20
Regionálny význam	0	0	0	0	30
Prírodné dedičstvo	30	0	10	-30	20

Obr. 4. Zmeny hodnoty skupín ekosystémových služieb pri zmene využívania pôdy (nemonetárne) (body/ha/rok)



Nakoľko je možné hodnotu ekosystémových služieb vyjadriť rôznymi metódami (monetárne, nemonetárne), peňažné vyjadrenie (Makovníková *et al.*, 2022, Kološta *et al.*, 2023) predstavuje dôležitý nástroj na zvýšenie povedomia o význame ekosystémov a biodiverzity v rámci formulovania verejných politík. Zmeny celkovej hodnoty ekosystémových služieb pri zmene využívania pôdy (monetárne hodnoty) (EURO/ha/rok) sú uvedené na Obr. 5.

Obr. 5. Zmeny celkovej hodnoty ekosystémových služieb pri zmene využívania pôdy (monetárne hodnoty) (EURO/ha/rok)



Podľa definície udržateľnej intenzifikácie aj EU požaduje, aby sa pri opatreniach na zvýšenie produkcie poľnohospodársky využívaných pôd kládol dôraz na zachovanie zdravia a multifunkčnosti pôdy a tým aj na udržateľnosť potenciálu agroekosystému poskytovať všetky ekosystémové služby (Garnett & Godfray, 2012). Pre optimalizáciu hodnoty ESS

poľnohospodársky využívaných pôd je dôležité udržiavať výmeru produkčných aj menej produkčných OP, udržiavať výmeru TTP vzhľadom na ich produkčné a regulačné služby; využiť potenciál poľnohospodársky využívaných pôd s nízkou hodnotou produkčného potenciálu na pestovanie RRD; na pôdach ohrozených eróziou aplikovať účinnú protieróznú ochranu pôdy, postavenú na relevantných informáciách o intenzite vodnej erózie a jej plošnom rozšírení. podporovať ekologické spôsoby obhospodarovania pôdy, regeneratívne poľnohospodárstvo, ktoré výz-namne zvyšuje potenciál produkčných aj regulačných ES; zlepšiť možnosti využitia kultúrnych ES v regióne.

Záver

Koncept ekosystémových služieb je cenný nástroj na komunikáciu výhod, ktoré príroda poskytuje ľuďom. Praktické využitie maticového modelu na hodnotenie ekosystémových služieb sa môže použiť ako podklad ucelenejšieho prehľadu týkajúceho sa hodnoty a ceny ekosystémových služieb. Rastúci počet štúdií, ktoré využívajú maticový prístup hodnotenia ekosystémových služieb, potvrdzuje jeho úspešnosť, vhodnosť, flexibilitu a užitočnosť pri tvorbe podkladov pre riadiace orgány, pri procesoch plánovania, rozhodovania, regionálnej politiky, ako aj jeho schopnosť zvyšovať povedomie o ekosystémových službách.

PodĎakovanie

Táto práca sa uskutočnila v rámci projektu „Smerom k inteligentnému a udržateľnému manažmentu poľnohospodárskych pôd v oblasti klímyEJP-SOIL, grant agreement ID: 862695) financovaného z programu Európskej únie pre výskum a inovácie Horizont 2020 a projektu APVV-18-0035.

Literatúra

- Báliková, K., Dobšínská, Z., Balážová, E., Valent, P., Šálka, J. (2021). Forest land tax reductions – An effective payment for forest ecosystem services in Slovakia. *Central European Forestry Journal*, vol. 67: 167–176.
- Birghofer, K., Diehl, E., Andersson, J., Ekroos, J., Fröh-Müller, A., Machnikowski, F., Mader, V.L., Nilsson, L., Sasaki, K., Rundlöf, M., Wolters, V., Smith, H.G. (2015). Ecosystem services—current challenges and opportunities for ecological research. *Front. Ecol. Evol.*, 12, January 2015 <http://dx.doi.org/10.3389/fevo.2014.00087>.
- Birkhofer, K., Wolters, V. (2012). The global relationship between climate, net primary production and the diet of spiders. *Glob. Ecol. Biogeography*. vol. 21: 100–108. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00654x.
- Bodnaruk, E.W., Kroll, C.N., Yang, Y., Hirabayashi, S., Nowak, D.J., Endreny, T.A. (2017). Where to plant urban trees? A spatially explicit methodology to explore ecosystem service tradeoffs. *Landscape Urban Plann.* Vol. 157: 457–467.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., Windhorst, W. (2009). Landscapes ‘Capacities to Provide Ecosystem Services – a Concept for Land-Cover Based Assessments’. *Landscape Online*, vol. 15: 1–22.
- Burkhard, B., Kandziora, M.S., Müller, F. (2014). Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification. *Official Journal of the International Association for Landscape Ecology – Regional Chapter Germany* (IALE-D). Available at <http://www.landscapeonline.de/103097lo201434>.
- Burkhard, B., Maes, J. (eds.) (2017). *Mapping Ecosystem Services*. Sofia: Pensoft Publishers. 374 pp.
- Costanza, R. (2008). Ecosystem services: multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*, vol. 141: 350–352.
- Černecký, J., Gajdoš, P., Ďuricová, V., Špulerová, J., Černecká, E., Švajda, J., Andráš, P., Ulrych, L., Rybanič, R., Považan, R. (2020). *Hodnota ekosystémov a ich služieb na Slovensku*. Banská Bystrica: ŠOP SR.
- Dominati, E., Patterson, M., Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, vol. 69: 1858–1868.
- European Commission (2021). EU Soil Strategy 2030, COM (2021) 699 final [https://ec.europa.eu/environment/publications/eu-soil-strategy-2030_en\(2021\)](https://ec.europa.eu/environment/publications/eu-soil-strategy-2030_en(2021)).
- Flynn, D.F.B., Gogol-Prokurat, M., Nogeire, T., Molinari, N., Trautman Richers, B., Lin, B.B., Nicholas, S., Mayfield, M.M., and Declerc, F. (2009). Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa. *Ecology Letters*, vol. 12: 22–33.
- Frank, S., Fürst, C., Koschke, L., Makeschin, F. (2012). A contribution towards a transfer of the ecosystem service concept to landscape planning using landscape metrics. *Ecological Indicators*, vol. 21: 30–38.

- Frélichová, J., Vačkář, D., Pártl, A., Loučková, B., Harmáčková, Z., Lorencová, E. (2014). Integrated assessment of ecosystem services in the Czech Republic. *Ecosystem Services*, vol. 8: 110–117.
- Frélichová, J., Fanta, J. (2015). Ecosystem service availability in view of long-term land use changes: a regional case study in the Czech Republic. *Ecosystem Health and Sustainability*, vol. 1: 1–15.
- Garnett, T., Godfray, H. (2012). Sustainable intensification in agriculture: Navigating a course through competing food system priorities. Oxford: Food Climate Research Network and the Oxford Martin Programme on the Future of Food.
- Gómez-Baggeth, E., & Groot, R. (2010). Natural capital and ecosystem services: The ecological foundation of human society. [Prírodný kapitál a ekosystémové služby: Ekologický základ ľudskej spoločnosti]. International Journal of Web Based Communities - IJWBC. DOI 10.1039/9781849731058-00105
- Izakovičová, Z. (2022). Zmeny poľnohospodárskej krajiny Slovenska. Dostupné na internete: <https://www.agroporadenstvo.sk/rastlinna-vyroba-rastlinna-vyroba?article=2592>
- Jacobs, S., Burkhard, B., Daele, T.V., Staes, J., Schneiders, A. (2015). 'The Matrix Reloaded': A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecological Modelling*, vol. 295: 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.024>.
- Jacobs, S., Burkhard, B. (2017). Applying expert knowledge for ecosystem services quantification. In: Burkhard B, Maes J (Eds) *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.
- Kanianska, R., Jaduňová, J., Makovníková, J., Kizeková, M., Tomaškin, J. (2016). *Ekosystémové služby*. Belianum. Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2016, 244 s., ISBN 978-80-557-1129-4.
- Kološta, S., Makovníková, J., Flaška, F., Pálka, B. (2023). *Peňažné a nepeňažné hodnotenie ekosystémových služieb vo vybraných regiónoch Slovenska*. Vysoká škola evropských a regionálnych štúdií České Budějovice, EF UMB, NPPC-VÚPOP, 109 p.
- Liu, S., Costanza, R., Farber, S., Troy, A. (2010). Valuing ecosystem services: theory, practice and the need for transdisciplinary synthesis. *Annals of the New York Academy of Sciences* vol. 1185: 54–78.
- Makovníková, J., Pálka, B., Širáň, M., Kanianska, R., Kizeková, M. (2017). *Potenciál agro-ekosystémových služieb orných pôd*. Banská Bystrica: NPPC – VÚPOP, 110 s. ISBN 978-80-8163-021-7.
- Makovníková, J., Kološta, S., Flaška, F., Pálka, B., Širáň, M. (2022). *Potenciál ekosystémových služieb prírodného kapitálu ako nástroj hodnotenia sociálno-ekonomického potenciálu územia*. Banská Bystrica: NPPC – VÚPOP, Ekonomická fakulta UMB. 131 s. ISBN 978-80-8163-042-2.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet: Summary for Decision Makers. *The Millennium Ecosystem Assessment Series*, vol. 5, Island Press, Washington DC.
- Müller, F., Bicking, S., Ahrendt, K., Kinh Bac, D., Blindow, I., Fürst, C., Haase, P., Kruse, M., Kruse, T., Ma, L., Perennes, M., Ruljevic, I., Schernewski, G., Schimming, C., Schneiders, A., Schubert, H., Schumacher, J., Tappeiner, U., Wangai, P., Windhorst, W., Zeleny, J. (2020). Assessing Ecosystem Service Potentials to Evaluate Terrestrial, Coastal and Marine Ecosystem Types in Northern Germany – an Expert-Based Matrix Approach. *Ecological Indicators*, 112, 106116. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106116.
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Murphy, P., Paracchini, M.L., Barredo, J.I., Grizzetti, B., Cardoso, A., Somma, F., Petersen, J.E., et al. (2014). Mapping and Assessment of Ecosystems and Their Services: Indicators for Ecosystem Assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020; Technical Report (2014-080); Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2014; ISBN 978-92-79-36161-6.
- Nedkov, S., Borisova, B., Koulov, B., Zhiyanski, M., Bratanova-Doncheva, S., Nikolova, M., Kroumova, J. (2018). Towards integrated mapping and assessment of ecosystems and their services in Bulgaria: The Central Balkan case study. *One Ecosystem* 3: e25428. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e25428>
- Pacheco, F.A.L., Sanches Fernandes, L.F. (2016). Environmental land use conflicts in catchments: a major cause of amplified nitrate in river water. *Sci. Total Environ.* 548–549, 173–188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.155>
- Porvaz, P., Naščáková, J., Kotorová, D. and Kováč, L. (2009). Poľné plodiny ako zdroj biomasy na energetické využitie v podmienkach Slovenska. *Inovatívne technológie pre efektívne využitie biomasy v energetike*, s. 66–75. ISBN 978-80-225-2962-4.
- Stürck, J., Verburg, P.H. (2017). Multifunctionality at what scale? A landscape multifunctionality assessment for the European Union under conditions of land use change. *Landsc. Ecol.* 32, pp. 481–500.
- Vološčuk, I., Tomaškin, J., Bačkor, P. (2011). *Ekológia suchozemského prostredia*. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Fakulta prírodných vied, 366 s.
- Wilson, M.A., Hoehn, J.P. (2006). Valuing Environmental Goods and Services Using Benefit Transfer: The State-of-the art and Science. *Ecological Economics*. Vol. 60: 335–342.

Kontaktné osoby:

RNDr. Jarmila Makovníková, CSc., Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy / Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, e-mail: jarmila.makovnikova@nppc.sk

VÝPOČET AKTUALIZOVANÝCH HODNÔT R-FAKTORA (FAKTORA ERÓZNEJ ÚČINNOSTI DAŽĎA) PRE ÚZEMIE SLOVENSKA

CALCULATION OF UPDATED R-FACTOR VALUES (RAINFALL EROSIVITY FACTOR) FOR THE TERRITORY OF SLOVAKIA

Boris Pálka, Ján Styk (†)

Abstract: The updated version of USLE erosion prediction model is still an indispensable tool to evaluate the water erosion for the needs of soil conservation due to its simplicity and relative availability of input parameters. The primary objective of this study was to improve the data on R-factor for the territory of Slovakia. This involved updating the values of rainfall erosivity factor (R-factor) for individual automatic meteorological stations based on one-minute rainfall totals. In 2005 the digital layer of R-factor was created for USLE model presented on Soil Portal of VÚPOP. The previous digital layer of R-factor was based on values calculated by Malíšek (1990, 1992). However, these values are not representative as the medium-term and long-term temporal rainfall dynamics. The new calculation of R-factor was done using a rainfall database of 85 automatic rainfall stations provided by Slovak Hydrometeorological Institute. The resulting updated mean annual R-factor values ranging from 33,55 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (Malacky) to 160,91 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (Runina, Snina district) were used to generate a new digital layer of rain factor spatial distribution for the whole territory of Slovakia. This digital layer will be an essential input component for the USLE erosion prediction model. It will significantly improve the soil erosion rate estimates generated by USLE model in Slovakia and this will contribute to improving the background information used for supporting soil erosion assessment and soil conservation programmes.

Keywords: R-factor (rain erosive factor), USLE, water soil erosion, energy of rain

Úvod

Erózia pôdy je v súčasnosti jedným z najdôležitejších environmentálnych problémov s priamym dopadom na poľnohospodárstvo a životné prostredie. Intenzita procesov erózie a akumulácie spôsobených vodou sa urýchljuje, ak sa v oblastiach náchylných na eróziu uplatňuje nevhodné obhospodarovanie poľnohospodárskej pôdy.

V súčasnej dobe v podmienkach strednej Európy prevláda pôdna erózia, ktorá je spôsobená intenzívnou zrážkovou činnosťou (vodná erózia pôdy), nakoľko krátkodobé silné dažde sú oveľa škodlivejšie ako dlhotrvajúce plošné zrážky (Onderka *et al.* 2012).

Pre zhodnotenie plošnej distribúcie vodnej erózie a intenzity vplyvu erózo-akumulačných procesov vodnej erózie na poľnohospodársku pôdu SR využívame aktualizovanú verziu erózneho predikčného modelu. Jeho základná štruktúra je postavená na univerzálnej rovnici straty pôdy USLE (Wischmeier & Smith 1978), ktorá zohľadňuje vplyv hlavných erózných faktorov na vznik a priebeh vodnej erózie (erózna účinnosť dažďa, erodovateľnosť pôdy, dĺžka svahu, sklon svahu, ochranný vplyv rastlinného pokryvu, spôsob obhospodarovania).

Výpovedná hodnota modelových výstupov závisí od kvality a precíznosti vstupných vrstiev do modelu. Vstupná vrstva faktora erózneho účinnosti dažďa – R faktora je nevyhnutnou súčasťou štruktúry erózneho predikčného modelu. Aktualizáciou a detailizáciou tejto vrstvy dosiahneme väčšiu presnosť a výpovednosť výstupov z pohľadu intenzity vplyvu a priestorovej distribúcie vodnej erózie na poľnohospodárskej pôde (potenciálne a aktuálne ohrozenie pôd vodnou eróziou).

Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Na Slovensku sa na hodnotenie protieróznej ochrany pôdy tradične využíva model USLE a hoci bolo v posledných desaťročiach zavedených mnoho nových modelov, USLE je v poľnohospodárskej praxi stále preferovaný pre svoju jednoduchosť a dostupnosť vstupných údajov. Tento model v sebe zahŕňa niekoľko vstupných faktorov. Jedným z nich je R faktor alebo faktor eróznej účinnosti dažďa.

Od roku 2005 sa používa vrstva R-faktora (Styk & Pálka 2005) s hodnotami vypočítanými Malíškom (1990, 1992). Interval vypočítaných hodnôt R-faktora sa pohybuje od 5,46 do 37,87 MJ.ha⁻¹.cm.hod⁻¹.

Na základe týchto hodnôt R-faktora bola vyvinutá on-line aplikácia s podrobnými mapami vodnej erózie a faktorov erózie USLE. Ide o interaktívnu aplikáciu na webovej stránke Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy (VÚPOP), ktorá je prístupná širokej verejnosti. Stabilné faktory erózie (R, K, S a L) sú uvedené ako štandardné hodnoty, zatiaľ čo dynamický faktor (C) a faktor (P) si môže vybrať užívateľ, aby poľnohospodári videli, ako by sa zmenila erózia, ak by zmenili plodiny alebo protierózne opatrenia.

Slovenskí výskumníci sa zapojili do európskej spolupráce pri hodnotení erózie pomocou USLE. Údaje o R-faktore a potenciálnej eróznej strate pôdy boli poskytnuté pre vývoj máp erózie pôdy na európskej úrovni (Panagos *et al.* 2015).

V poslednom období (od poslednej aktualizácie USLE v roku 2009) rástli obavy o reprezentatívnosť údajov o R-faktore. Hodnoty vypočítané Malíškom predstavujú obdobie rokov 1971-1990, ktoré je už trochu zastarané, najmä ak vezmeme do úvahy strednodobú a dlhodobú časovú dynamiku zrážok. Za posledných 35 rokov sa dažďové zrážky a ich priestorové rozloženie určite zmenili a ak vezmeme do úvahy, že USLE sa používa najmä na poskytnutie podpory pre praktickú realizáciu ochrany pôdy, je zrejma potreba pravidelnej aktualizácie údajov R-faktora. V roku 2020 bola vo VÚPOP vytvorená úplne nová vrstva hodnôt R-faktora s využitím zrážkových údajov zo Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ). Dáta boli poskytnuté kvôli generovaniu digitálnej vrstvy možného rozloženia vodnej erózie na poľnohospodárskych pôdach pre Správu o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov v Slovenskej republike (Cibulka *et al.* 2020).

Primárnym cieľom tejto štúdie bola aktualizácia hodnôt faktora erozivity zrážok (R-faktor) pre jednotlivé automatické meteorologické stanice na základe jednodominútových úhrnov zrážok a jeho implementácia do modelu USLE.

Energia dažďa a jej intenzita v špecifických miestnych pôdnych, klimatických a geomorfologických podmienkach má významný vplyv na vznik a priebeh vodnej erózie. Faktor erozivity zrážok je definovaný ako súčin celkovej energie dažďa a jeho maximálnej 30-minútovej intenzity (Wischmeier & Smith 1978). Poznanie miestnych hodnôt dažďového faktora je nevyhnutné pre posúdenie hrozby vodnej erózie poľnohospodárskej pôdy.

Hornatý reliéf Slovenska významne ovplyvňuje miestnu klimatickú variabilitu, ktorá je ovplyvnená aj rôznymi spôsobmi prúdenia vzduchu. Slovensko je rozdelené na 17 klimatických oblastí nachádzajúcich sa v teplých, mierne teplých a chladných oblastiach Slovenska (Lapin *et al.* 2002). Úhrny zrážok sa zvyšujú so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou, v priemere asi 50-60 mm na každých 100 metrov nadmorskej výšky. Najväčšie množstvo zrážok (40 % z celkového ročného množstva) spadne v lete (jún až august), 25 % na jar, 20 % na jeseň a zvyšných 15 % v zime (Onderka & Pecho 2019). Priemerné ročné úhrny zrážok na území Slovenska sa pohybujú od 500 mm v Podunajskej nížine (najsuchšia oblasť Slovenska) do 2 000 mm vo Vysokých Tatrách (Faško & Šťastný 2002).

Nedávne klimatické zmeny sa prejavujú zmenenou schopnosťou atmosféry zadržiavať väčšie objemy vodnej pary, ktorá exponenciálne rastie v dôsledku zvyšujúcej sa teploty vzduchu a je hlavnou príčinou zvyšujúcej sa frekvencie a intenzity extrémnych zrážok. V posledných troch

desaťročiach bol zaznamenaný nárast extrémnych zrážok. Krátkodobá intenzita zrážok (15-30 min) je často vyššia ako schopnosť pôdy efektívne absorbovať objem vody, ktorý počas tejto doby spadne vo forme zrážok. Takéto prívalové zrážky v našich klimatických podmienkach sa najčastejšie vyskytujú počas vegetačného obdobia od apríla do októbra (Alena 1986).

Onderka *et al.* (2019) hodnotil trend výskytu erozívnych dažďov v období od roku 1961 do roku 2009 na šiestich vybraných lokalitách. Z ich záverov vyplynulo, že erozívne dažde sa na monitorovaných územiach vyskytovali v priemere 2,55 až 4,71-krát ročne. Výskyt všetkých zrážok (vrátane neerozívnych udalostí) v teplej časti roka (apríl – október) sa zvýšil v priemere o 16 %, zo 44 udalostí v roku 1962 na 51 udalostí v roku 2009.

Riziko vodnej erózie môže nastať, ak sa vytvorí povrchový odtok. Nie každá zrážková udalosť má potenciál erózie pôdy. Zrážky s vysokou intenzitou (tzv. prívalové dažde), počas ktorých dochádza k tvorbe povrchového odtoku, sú nevyhnutné na iniciáciu vodnej erózie. Dažde s nízkou intenzitou, pri ktorých prevládajú malé kvapky s nízkou kinetickou energiou, takmer nikdy nespôsobujú eróziu. Tvorba povrchového odtoku začína na základe rozdielu medzi intenzitou dažďa a jeho infiltráciou do pôdneho profilu (Fulajtár & Janský 2001). Iba určitá časť dažďa (tzv. epizóda efektívneho dažďa) je hlavnou príčinou tvorby povrchového odtoku a erózne procesy nasledujú, ak odtok mobilizuje oddelené častice pôdy (Alena 1986). Rôzni autori majú podobný názor na limitné hodnoty prahovej intenzity a množstva zrážok, keď sa začína tvorba povrchového odtoku a začínajú procesy vodnej erózie.

Materiál a metódy

Pracovalo sa so súborom informácií, ktorý poskytol SHMU v roku 2020. Konkrétne ide o databázu minútových úhrnov zrážok za obdobie 10 a viac rokov z 98 automatických hydrometeorologických staníc a hodinové úhrny zrážok z 85 manuálnych zrážkomerných staníc rozmiestnených po celom Slovensku. Cieľom bolo získať dáta z dlhšieho časového obdobia (dátové časové rady minimálne 15-30 rokov), ale nebolo to možné, pretože k dispozícii boli len dáta z automatických hydrometeorologických staníc, ktoré sa začali prevádzkovať až v poslednom desaťročí.

Na identifikáciu erozívnych efektívnych dažďov s cieľom vypočítať hodnoty R faktora bola použitá metóda definovaná Wischmeierom a Smithom (1978).

Jednotlivé dažde musia byť od seba oddelené časovým intervalom najmenej 6 hodín a viac. Ak táto podmienka neplatí, považuje sa to za jeden nepretržitý dážď. Prahová hodnota úhrnu zrážok musí byť 12,5 mm a viac, intenzita zrážok aspoň v jednom zrážkovom úseku musí byť viac ako 24 mm. hodina⁻¹ (alebo 6,00 mm za 15 min, alebo 0,40 mm za 1 min). Na výpočet hodnôt R-faktora sa použili iba tieto erózne účinné dažde.

Keď sa porovnali úhrny zrážok zaznamenané na automatických dažďových staniciach s úhrnmi zrážok zaznamenanými na manuálnych dažďových staniciach, boli zistené značné nesúlady. Niektoré automatické dažďové stanice zaznamenali úhrny zrážok, aj keď neboli pozorované žiadne zrážky, čo potvrdilo aj SHMU. Z tohto pohľadu bolo prvým nevyhnutným krokom urobiť výber skutočných zrážok zo všetkých získaných údajov. Na tento účel sa použili 1-hodinové údaje z 85 manuálnych staníc. Porovnali sa úhrny zrážok automatických a manuálnych dažďových staníc. Automatické stanice, ktoré nemali pre porovnanie údaje z manuálnych staníc sa z ďalšieho spracovania vylúčili. Z pôvodného počtu 98 automatických staníc sa po výbere spracovali údaje len z 85 automatických hydrometeorologických staníc.

V súlade s metódou Wischmeier & Smith (1978) bolo potrebné vyselektovať erózne efektívne dažde. Vypočítala sa hodnota R-faktora pre každý erozívny efektívny dážď, ktorý bol zaznamenaný v rámci jednotlivých automatických dažďových staníc počas celého sledovaného obdobia. Celkový súčet všetkých vypočítaných hodnôt R-faktora pre erozívne dažde za časové obdobie jedného roka vyjadruje ročnú hodnotu dažďového faktora pre jednotlivú automatickú

dažďovú stanicu. Priemerná dlhodobá ročná hodnota R-faktora je celkový súčet všetkých jeho ročných hodnôt za sledované obdobie vydelený počtom monitorovaných rokov.

Táto metóda sa javí ako najvhodnejšia pre špecifické pôdno-klimatické a geomorfologické podmienky Slovenska. Rovnakú metódu na výpočet hodnôt faktora dažďa použili vo svojich štúdiách aj Malíšek (1990, 1992), Janeček *et al.* (2012), Manderková *et al.* (2012), Antal *et al.* (2015) a Onderka & Pecho (2019).

R-faktor pre špecifický erozívny účinný dažď je definovaný jeho celkovou kinetickou energiou a maximálnou 30-minútovou intenzitou zrážok:

$$R = E_{\text{tot}} \cdot I_{30}/100$$

kde:

R – faktor erozivity zrážok [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$]

E_{tot} – celková kinetická energia dažďa [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$]

I₃₀ – maximálna 30-minútová intenzita dažďa [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$]

Celková kinetická energia erozívneho dažďa je súčtom všetkých kinetických energií jednotlivých segmentov dažďa:

$$E_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n E_i \quad [\text{J} \cdot \text{m}^{-2}]$$

E_{tot} – celková kinetická energia dažďa [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$]

E_i – kinetická energia i-tého dažďového segmentu

n – počet dažďových segmentov

Kinetická energia i-tého dažďového segmentu:

$$E_i = (206 + 87 \log I_s) \cdot H_s \quad .$$

E_i – kinetická energia i-tého dažďového segmentu [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$]

I_s – intenzita i-tého segmentu dažďa [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$]

H_s – celková výška i-tého dažďového segmentu [cm]

I₃₀ – maximálna 30-minútová intenzita dažďa

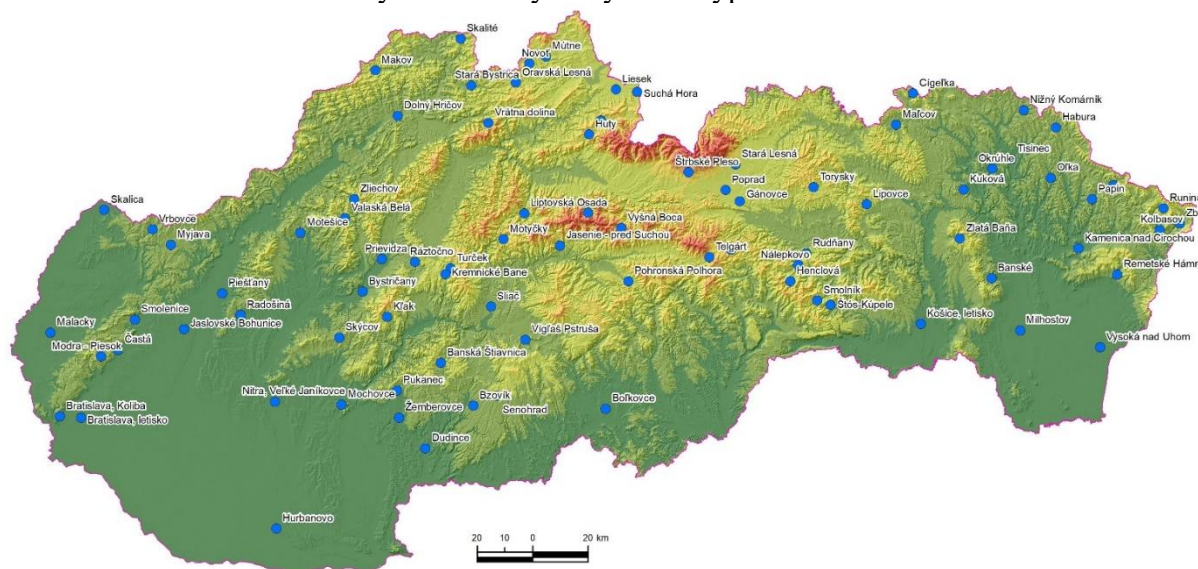
Erozívne dažde neboli rozdelené na jednotlivé dažďové segmenty, pretože sa pracovalo s minútovými zrážkovými záznamami. Kinetická energia jednotlivých dažďov sa vypočítala pomocou intenzity jednominútových intervalov dažďa. Celkové množstvo kinetickej energie za celý študovaný dažď sa získa sčítaním kinetických energií týchto jednominútových dažďových intervalov. Aby sa zistila maximálna 30-minútová intenzita, postupovalo sa podľa metódy Manderkovej *et al.* (2012). Vypočítali sa súčty intenzít dosiahnutých vo všetkých možných intervaloch dažďa počnúc intervalom 1 min - 31 min a pokračujúc intervalom 2 min - 32 min, 3 min - 33 min atď., až do konca zrážok. Potom sa vybral interval s najväčšou maximálnou 30-minútovou intenzitou a túto hodnotu sa použila na výpočet hodnôt R-faktora. Vypočítala sa priemerná ročná hodnota R faktora pre každá dažďovú stanicu a priemerná hodnota R faktora za celé sledované obdobie. Tento spôsob výpočtu hodnôt R-faktora je presnejší ako ich výpočet z tradičných ombrografických záznamov v grafickej podobe, pretože je eliminovaná nepresnosť vznikajúca pri vytváraní dažďových segmentov.

Výsledky a diskusia

Doplnenie a harmonizácia databázy všetkých údajov o minútových zrážkach z automatických hydrometeorologických staníc rozmiestnených po celom Slovensku bola prvým krokom k vyriešeniu problému aktualizácie hodnôt zrážkového faktora. Počiatočná databáza minútových úhrnov zrážok predstavovala obrovské množstvo údajov získaných zo všetkých automatických staníc (takmer 490 miliónov záznamov) počas obdobia od ich uvedenia do prevádzky (približne 10 rokov a viac).

Pri spracovaní informácií z databázy sa zistilo, že značný počet automatických staníc zaznamenáva úhrny zrážok aj vtedy, keď neboli pozorované žiadne zrážky. Pre elimináciu týchto nepresností SHMU poskytol údaje o hodinových súčtoch z manuálnych dažďových hydrometeorologických staníc. Chybné záznamy boli z databázy odstránené a niektoré automatické stanice úplne vylúčené z ďalších výpočtov. Pôvodný dataset 98 automatických staníc bol zredukovaný na 85 staníc (obr. 1) a konečný počet záznamov bol znížený na 439 miliónov (Tab. 1).

Obr. 1. Rozloženie 85 dažďových staníc vybraných na výpočet R-faktora

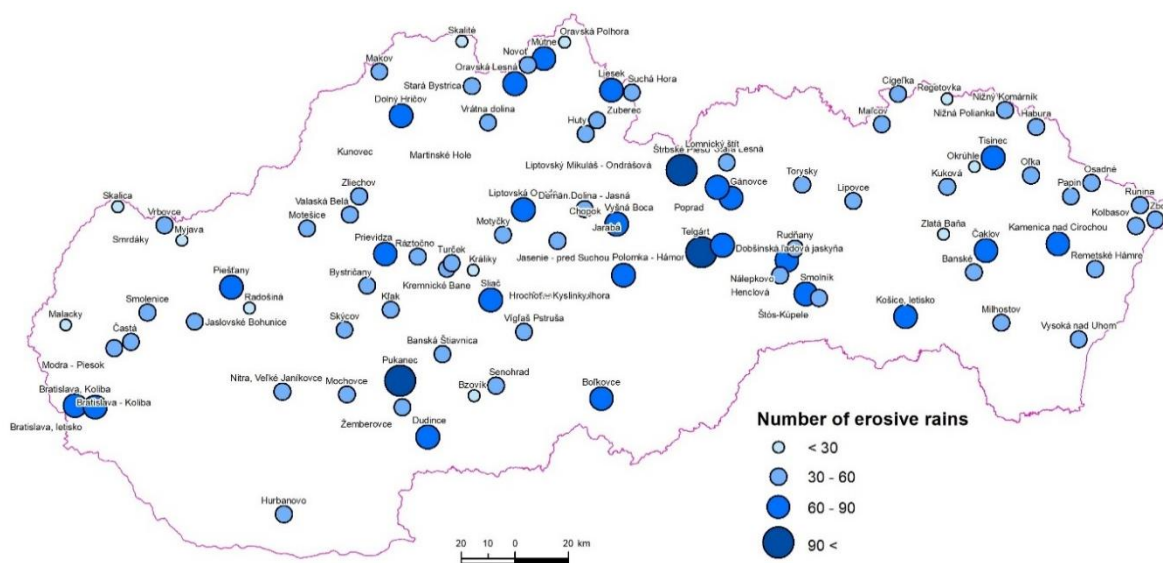


Efektívne dažďové zrážky boli definované v súlade s metodikou Wischmeier & Smith (1978) výberom získaných vstupných údajov 1-minútových ročných úhrnov zrážok (nielen zrážok vo vegetačnom období). Zrážky boli klasifikované ako erózne účinné, keď boli splnené kritériá uvedené v metodike.

Výskyt erozívnych efektívnych dažďov naznačuje určitú koreláciu s geomorfológiou a nadmorskou výškou. Vyšší výskyt erozívnych účinných dažďov sme zaznamenali v horských a podhorských oblastiach bohatých na zrážky a naopak ich výskyt bol nižší v suchších oblastiach v nížinách (obr. 2). Súhrnná štatistika efektívneho rozloženia zrážok je uvedená v Tab. 1.

Maximálna 30-minútová intenzita zrážok (I_{30}) bola definovaná v súlade s metódou navrhnutou Manderkovou *et al.* (2012). Získali sme súbor hodnôt pre jednotlivé automatické dažďové stanice. Tieto hodnoty boli zadané do rovnice na výpočet R-faktora. Hodnoty celkovej kinetickej energie erozívnych zrážok (E_{tot}) boli vy kalkulovali spočítaním všetkých kinetických energií jednotlivých zrážok nameraných na konkrétnej dažďovej stanici.

Obr. 2. Počty definovaných erózných účinných dažďov (za sledované obdobie) v rámci jednotlivých automatických zrážkových meracích staníc SHMU



Prehľad priemerných hodnôt R-faktora pre jednotlivé hydrometeorologické stanice je uvedený v Tab. 1

Tab. 1. Aktualizované hodnoty R-faktora pre automatické hydrometeorologické stanice SHMÚ

Číslo	Názov automatickej meteorologickej stanice	Počet minút záznamov	Počet sledovaných rokov	Počet erozívnych dažďov	Maximálny súčet pre jeden dážď (mm)	Znamenať Hodnota R-faktora (MJ.ha ⁻¹ .cm.h ⁻¹)
1	Bratislava – Koliba	6 298 638	11	61	61,63	91,94
2	Bratislava – letisko	6 105 330	11	61	71,90	87,87
3	Jaslovské Bohunice	5 073 654	9	45	82,21	78,33
4	Piešťany	5 833 348	11	75	64,70	89,06
5	Dolný Hričov	6 167 040	11	82	110,60	106,67
6	Nitra – Veľké Janíkovce	6 270 481	11	49	67,90	49,82
7	Mochovce	6 233 186	7	52	82,81	99,12
8	Hurbanovo	6 288 032	11	59	106,10	67,52
9	Prievidza	6 235 696	11	73	58,84	67,59
10	Dudince	6 233 404	11	78	65,40	93,29
11	Sliach	5 035 985	9	62	72,00	99,55
12	Liesek	6 235 325	11	86	69,32	107,64
13	Boľkovce	6 261 656	10	67	76,42	109,18
14	Štrbské Pleso	6 189 557	11	122	115,10	135,05
15	Poprad	6 304 157	11	61	57,51	63,14
16	Telgárt	5 007 784	9	93	79,00	123,03
17	Gánovce	6 287 106	11	84	84,80	123,90
18	Košice – letisko	6 274 765	11	73	70,60	90,62
19	Tišinec	6 259 154	11	72	54,53	84,56
20	Milhostov	6 294 799	11	56	42,60	52,42
21	Kamenica nad Čirochou	6 257 787	11	89	64,30	105,33
22	Stará Lesná	5 250 254	8	31	54,62	56,33
23	Skalica	5 768 538	10	25	52,96	53,44
24	Myjava	4 313 496	8	25	54,40	59,27
25	Vrbovce	5 667 790	11	33	44,90	53,02
26	Malacky	4 266 362	7	15	46,56	33,55
27	Modra – Piesok	4 778 844	10	43	90,55	86,63

Číslo	Názov automatickej meteorologickej stanice	Počet minút záznamov	Počet sledovaných rokov	Počet erozívnych dažďov	Maximálny súčet pre jeden dážď (mm)	Znamenať Hodnota R-faktora (MJ.ha ⁻¹ .cm.h ⁻¹)
28	Smolenice	5 131 803	10	41	40,64	70,58
29	Častá	5 817 079	11	35	57,40	68,83
30	Vyšná Boca	5 525 484	11	64	72,39	106,94
31	Demänovská dolina – Jasná	3 980 287	9	45	69,87	63,97
32	Huty	5 387 935	9	46	63,66	71,45
33	Liptovská Osada	5 205 240	11	64	59,52	85,90
34	Oravská Lesná	5 439 104	11	83	97,79	87,26
35	Novoť	4 138 035	9	38	66,71	46,11
36	Mútne	4 713 801	9	80	91,71	129,29
37	Suchá Hora	5 710 137	11	44	49,24	53,87
38	Zuberec	5 041 823	11	51	55,25	81,86
39	Turček	5 069 143	11	41	46,89	66,58
40	Vrátna dolina	3 954 732	10	58	131,59	105,93
41	Makov	4 872 447	11	43	53,16	49,21
42	Skalité	3 709 758	7	27	56,72	56,64
43	Stará Bystrica	5 878 791	11	46	94,00	73,61
44	Ráztočno	4 344 940	10	40	49,63	65,72
45	Bystričany	5 547 927	11	56	51,45	88,75
46	Valaská Belá	5 107 576	11	42	52,67	57,22
47	Zliechov	3 344 465	8	31	41,53	52,72
48	Motešice	5 341 785	11	40	40,80	50,28
49	Radošiná	4 721 372	10	26	75,59	63,64
50	Skýcov	5 863 407	11	48	39,72	68,70
51	Pohronská Polhora	5 286 673	11	64	99,00	128,77
52	Jasenie - pred Suchou	5 480 150	10	60	38,61	79,91
53	Motyčky	4 923 332	11	59	44,67	95,44
54	Vígľaš Pstruša	4 305 364	9	35	56,97	53,48
55	Kremnické Bane	3 575 792	7	43	64,48	113,65
56	Kľak	4 341 717	8	50	110,74	99,82
57	Pukanec	5 721 106	10	92	105,66	124,16
58	Žembovice	5 240 720	9	43	94,91	90,96
59	Bzovík	4 531 816	9	29	50,18	60,51
60	Senohrad	5 431 611	11	47	46,49	80,27
61	Banská Štiavnica	5 536 247	11	56	59,79	84,65
62	Habura	4 953 573	11	44	61,59	79,40
63	Osadné	3 806 222	8	31	39,34	64,94
64	Papin	5 507 829	11	45	89,44	59,88
65	Runina	4 946 180	10	57	104,61	160,91
66	Kolbasov	5 499 309	11	57	38,65	84,15
67	Zboj	5 192 971	10	40	88,70	76,56
68	Vysoká nad Uhom	4 225 499	7	43	38,69	52,66
69	Remetské Hámre	5 492 887	11	50	146,97	112,06
70	Nížný Komárnik	5 210 830	11	54	62,36	93,84
71	Oľka	4 226 831	10	34	37,20	46,16
72	Maľcov	5 637 924	11	36	53,78	42,77
73	Cígelfka	5 502 567	10	40	52,34	60,12
74	Kuková	3 613 082	8	34	55,70	83,94
75	Okrúhle	3 930 909	9	30	52,64	52,81
76	Banské	5 542 450	11	35	51,71	40,73
77	Štós-Kúpele	4 567 843	11	57	50,48	97,41
78	Rudňany	4 398 344	10	45	78,20	140,49
79	Dobšinská ľadová jaskyňa	5 552 370	11	77	72,58	148,08
80	Nálepkovo	4 437 889	10	61	127,53	104,69
81	Henclová	3 382 157	7	40	46,70	103,40
82	Smolník	5 212 897	11	84	74,54	144,96

Číslo	Názov automatickej meteorologickej stanice	Počet minút záznamov	Počet sledovaných rokov	Počet erozívnych dažďov	Maximálny súčet pre jeden dážď (mm)	Znamenať Hodnota R-faktora (MJ.ha ⁻¹ .cm.h ⁻¹)
83	Lipovce	4 877 211	10	40	85,23	63,00
84	Torysky	5 225 497	11	45	65,29	90,57
85	Zlatá Baňa	2 559 431	9	30	86,97	75,46
Spolu		438 916 469				
Priemer = 88,26, Minimum = 33,55, Maximum = 160,91, Medián = 80,27, Št. odchýlka = 27,52						

Aktualizované dlhodobé priemerné ročné hodnoty R-faktora sa pohybujú od 33,55 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ na stanici Malacky na juhozápadnom Slovensku do 160,91 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ na stanici Runina (okres Snina) na severovýchode Slovenska. Priemerná hodnota R-faktora je 88,26 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ a mediánová hodnota je 80,27 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (Tab. 1). Hodnoty R-faktora kolíšu v širokom rozmedzí na celom území Slovenska, avšak v horských oblastiach so značným množstvom zrážok vo forme snehu je vypočítaný R-faktor nadhodnotený, pretože v tejto štúdii boli zohľadnené celé množstvá zrážok. Priemerná hodnota R-faktora plochy poľnohospodárskej pôdy Slovenska (podľa registra LPIS) je oveľa nižšia (62,10 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹) a medián hodnoty je 64,00 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹. Je to preto, že najvyššie vyvýšené oblasti s najvyššími úhrnmi zrážok a najvyšším podielom vysoko energetických zrážok zaberajú lesy.

Hodnoty R-faktora vypočítané v tejto práci sú v niektorých prípadoch niekoľkonásobne vyššie ako hodnoty (od 5,46 do 37,87 priemer 20,7 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹) publikované v skorších prácach Malíška (1990, 1992).

Janeček *et al.* (2012) vo svojej práci publikovali, že v horských oblastiach Českej republiky, kde je podiel poľnohospodárskej pôdy veľmi nízky, sa hodnoty R-faktora pohybujú v rozmedzí od 60 do 120 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹. Priemerná ročná hodnota zrážkového faktora na ploche poľnohospodárskej pôdy sa pohybuje v rozmedzí 30-45 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹, čo dobre zapadá do našich výsledkov, pretože na Slovensku sa poľnohospodárska pôda nachádza aj vo vyvýšenejších oblastiach, keďže trávnaté porasty sú zastúpené v mnohých horských oblastiach Slovenska, takže sa očakáva, že R-faktor v poľnohospodárskej pôde bude na Slovensku vyšší ako v Českej republike.

Onderka & Pecho (2019) zverejnili podobné hodnoty zrážkového faktora pre 95 zrážkomerných staníc nachádzajúcich sa na území Slovenska. Medián hodnoty R-faktora na celom území Slovenskej republiky je 71,13 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (min – 34,8 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹, max – 138,3 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹). Ich vypočítané hodnoty významne korelujú s našimi hodnotami R-faktora pre jednotlivé automatické SHMU stanice. Priestorové rozloženie R-faktora je prezentované v ich práci.

Podľa štúdie distribúcie R-faktorov v Európskej únii a Švajčiarsku, ktorú vypracovalo Európske centrum údajov o pôde (ESDAC), sa hodnoty R faktora na Slovensku pohybujú v rozmedzí od 33 do 111 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (Panagos *et al.* 2015). Z Globálnej databázy zrážkovej erosivity (GloREDa) (Panagos *et al.* 2017) dosahujú hodnoty R-faktora pre územie Slovenska 40 až 90 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹.

Záver

Digitálna vrstva priestorového rozloženia R-faktora je kľúčovým vstupom pre predikčný model erózie pôdy USLE, ktorý sa doteraz bežne používa ako kľúčový nástroj pre väčšinu aktivít na ochranu pôdy. Preto sa na Slovensku venovala značná pozornosť stanoveniu hodnôt R-faktora. Napriek tomu si tento parameter stále vyžaduje pozornosť z dôvodu niektorých metodologických nedostatkov predchádzajúcich štúdií a tiež zo strednodobej a dlhodobej dynamiky zrážok, ktorá si vyžaduje pravidelné prehodnotenie hodnôt R-faktora. Táto štúdia kľúčovým spôsobom prispela k aktualizácii hodnôt R-faktora.

Aktualizované hodnoty R-faktora boli vypočítané na základe údajov o zrážkach, ktoré poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav. Vypočítané dlhodobé priemerné ročné hodnoty R-faktora sa pohybujú od 33,55 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (Malacky, juhozápadné Slovensko) do 160,91 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (Runina, okres Snina, severovýchodné Slovensko s priemernou hodnotou 88,26 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ a mediánom 80,27 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹. Najvyššie hodnoty sa vyskytujú najmä v horských oblastiach. Pre poľnohospodársku pôdu je priemerná hodnota 62,10 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ a medián je 64,00 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹.

Literatúra

- Alena, F. (1986). Stanovenie straty pôdy erozívnym splachom pre navrhovanie protieróznych opatrení na poľnohospodárskej pôde. Metodická príručka, Štátny ammelioračný úrad, Bratislava, 191 s.
- Antal, J., Maderková, L., Čimo, J., Dragoňová, K. (2015). Analýza výpočtových metód na stanovenie dažďovej erozivity pre Slovenskú republiku. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus*, zv. 14(4): 5–14.
- Cibulka, R., Rajczyk, E., Bujnovský, R., Májovská, A., Luptáková, A., Paľušová, Z., Grófová, R., Gergeľová, Z., Halášová, M., Piš, V., Kališ, M., Gáborík, Š. (2020). Správa o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečisťovaním dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov v Slovenskej republike. MŽP SR (VÚVH, SHMÚ, SAŽP), MPRV SR (VÚPOP, ÚKSÚP), 108 STRÁN.
- Rada Európy (1972). Európska pôdna charta. Dostupné na webovej stránke: <https://rm.coe.int/090000168067e296>.
- Faško, P., Šťastný, P. (2002). Priemerné ročné úhrny zrážok. Mapa, 1:2 000 000. In: Atlas životného prostredia SR Bratislava, Slovenská agentúra životného prostredia, Banská Bystrica, s. 95, ISBN 80-88833-27-2. (v slovenčine).
- Fulajtár, E., Janský, L. (2001). Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana. Výskumný ústav pôdovedy a ochrany pôdy, Bratislava, 310 s. ISBN 80-85361-85-X.
- Janeček, M., Květoň, V., Kubátová, E., Kobzová, D. (2012). Diferenciácia a regionalizácia hodnôt faktorov erosivity zrážok v Českej republike. *Pôdna voda Res.*, zv. 7(1): 1–9, doi: 10.17221/2/2011-SWR.
- Lapin, M., Faško, P., Melo, M., Šťastný, P., Tomlain, J. (2002). Klimatické oblasti (Klimatické oblasti). Mapa, 1:1 000 000. In: Krajinný atlas Slovenskej republiky, Banská Bystrica, s. 95, ISBN 80-88833-27-2.
- Malíšek, A. (1990). Hodnotenie faktora erózneho účinnosti prívalovej zrážky. *Geografický časopis*, zv. 42(4): 410–422.
- Malíšek, A. (1992). Optimálna dĺžka svahu v závislosti na vodnej erózii. In: Zborník Výskumného ústavu pôdoznalcov a ochrany pôdy, 17, Bratislava. 203–220 s. ISBN 80-85361-04-3.
- MPSR, 2004: Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy.
- Onderka, M., Krein, A., Wrede, S., Martínez-Carreras, N., Hoffmann, L. (2012). Dynamika suspendovaných sedimentov poháňaných búrkou v povodí opísaná modelovaním s viacerými premennými. *J. Pôdne sedimenty*, zv. 12: 620–635, doi: 10.1007/s11368-012-0480-6.
- Onderka, M., Pecho, J., Chudoba, V., Morvová, M. (2019). Zvyšuje sa výskyt erozívnych dažďov na Slovensku? *Meteorologický časopis*, zv. 22(1): 3–9, SHMU Bratislava, ISSN 1335-339N.
- Onderka M., Pecho, J. (2019). Aktualizácia faktora erozívnych dažďov na Slovensku s využitím údajov z obdobia 1961 – 2009. *Príspevky do geofyziky a geodézie*, zv. 49(3): 355–371.
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadić, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Begueria, S., Alewell, C. (2015). Erozivita zrážok v Európe. *Veda o celkovom životnom prostredí*, zv. 511: 801–814, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Jae Lim, K., Yang, J.E., Ni, J., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S.H., Hazbavi, Z., Zabihi, M., Larionov, G.A., Krasnov, S.F., Gorobets, A.V., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., Hoyos, N., Naipal, V., Oliveira, P.T.S., Bonilla, C.A., Meddi, M., Nel, W., Al Dashti, H., Boni, M., Diodato, N., Van Oost, K., Nearing, M., Ballabio, C. (2017). Hodnotenie globálnej erozivity zrážok na základe záznamov zrážok s vysokým časovým rozlíšením. *Vedecké správy*, zv. 7(1): 4175 <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>.
- Styk, J., Pálka, B. (2005). Potenciálna ohrozenosť poľnohospodárskych pôd SR vodnou eróziou vyhodnotená využitím empirického modelu USLE. V: Zborník VII. Zhromaždenie Slovenskej spoločnosti pre agrokultúrne, lesnícke, potravinárske a veterinárne vedy SAV, Pôdna sekcia, Bratislava 2005, s. 73–77, ISBN 80-89128-19-X.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978). Predpovedanie strát zrážkovou eróziou – Sprievodca plánovaním ochrany, *Poľnohospodárska príručka* 537, USDA, 1978.

Kontaktná adresa autorov:

RNDr. Boris Pálka, PhD., Ing. Ján Styk, PhD. (†), Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum - Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko, Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, e-mail: boris.palka@nppc.sk

VÝSLEDKY MONITORINGU PÔD NA VYBRANÝCH PLOCHÁCH MONITORINGU LESOV II. ÚROVNE

SOIL MONITORING RESULTS IN SELECTED FOREST MONITORING PLOTS OF LEVEL II

Pavel Pavlenda

Abstract: The results of soil analyses on two permanent monitoring plots (PMP Čifáre, Lomnistá dolina) indicate a relatively favourable soil condition, corresponding to natural conditions (geological substrate, climate, relief, forest vegetation) and in general only smaller changes over 13 years. The soil on PMP Čifáre is recently not strongly affected by degradation processes and soil recovery is evident in terms of acidification and contamination. Soil on PMP Lomnistá dolina still shows some effects of acidification. Soil carbon stocks are high, trend of decreasing stocks in surface organic layer is indicated, but an increase in stocks in organomineral and mineral horizons of soils.

Keywords: forest soil, monitoring system, soil properties, carbon stocks, base saturation

Úvod

Významnou súčasťou súčasnej pedológie je systematický monitoring pôd. Je nevyhnutným predpokladom poznania stavu pôd a vývoja ich vlastností. Vzhľadom na intenzívne aktivity ľudskej spoločnosti, z ktorých mnohé majú významný vplyv na pôdu, je potrebné sledovať a vyhodnocovať najmä indikátory rôznych typov degradácie a pôd a na základe zisteného stavu reagovať určitými vhodnými opatreniami.

Primeraná pozornosť sa samozrejme venuje aj lesným pôdam. Základný systematický monitoring lesných pôd je súčasťou medzinárodného monitoringu lesných ekosystémov ICP Forests a zároveň súčasťou Čiastkového monitorovacieho systému Lesy na národnej úrovni. Kým na začiatku tohto programu (od konca 80. rokov minulého storočia) boli informácie o pôdach vnímané viac-menej ako doplnková charakteristika lesa pre triedenie, stratifikáciu a interpretáciu stavu a vývoja lesných porastov, v rámci demonštračného projektu BioSoil (ako súčasť implementácie schémy Forest Focus podľa Nariadenia (EC) No 2152/2003) sa v rokoch 2006 až 2008 už realizovalo plnohodnotné podrobné vzorkovanie s následným rozsiahlym analytickým zisťovaním pôdných vlastností (do hĺbky 80 cm), podrobným opisom pôdneho profilu a klasifikáciou pôdy, a to harmonizovane vo všetkých krajinách participujúcich na ICP Forests. Týkalo sa to tzv. monitoringu I. úrovne (pravidelná sieť 16 x 16 km, spolu vyše 5000 monitorovacích plôch v Európe, na Slovensku 112), ale aj intenzívneho monitoringu (monitoring II. úrovne, vybrané plochy s typickými lesnými ekosystémami, približne 600 plôch v Európe, z toho na Slovensku 9).

Podľa príslušného manuálu je predpokladaný interval opakovaných zisťovaní 10 rokov. Na rokovaní expertného panelu ICP Forests pre pôdy v roku 2019 bol prezentovaný zámer výraznej väčšiny zúčastnených krajín realizovať ďalšie zisťovanie stavu pôd, a to rámcovo v rokoch 2020 až 2025. Aj na základe takejto iniciatívy sa podarilo presadiť takúto úlohu aj na národnej úrovni v rámci kontraktu medzi MPRV SR a NLC, a to s predpokladanou realizáciou v rokoch 2021 až 2025. Vzorkovanie na plochách intenzívneho monitoringu sa podarilo zabezpečiť v rámci menšieho národného výskumného projektu už od roku 2020.

Materiál a metódy

Pre porovnanie zisteného stavu pôdných vlastností v dvoch časových hladinách s odstupom 13 rokov sme do tohto príspevku vybrali dve plochy vo výrazne rozdielnych prírodných podmienkach. Obidve boli založené v roku 1995, monitoring lesného ekosystému na nich teda prebieha už 30 rokov. Veľkosť monitorovacích plôch je 50 x 50 m.

Prvou je trvalá monitorovacia plocha (TMP) 201 Čifáre, ktorá sa nachádza v geomorfologickej oblasti Podunajská nížina, geomorfologickom celku Podunajská pahorkatina, v nadmorskej výške 225 m. Podľa jednotiek lesnickej typológie ide o 1. vegetačný lesný stupeň (dubový), skupinu lesných typov Carpineto-Quercetum, konkrétne lesný typ 1307 mrvicová hrabová dúbrava na spraši. Pôda tu bola klasifikovaná ako hnedozem luvizemná (obrázok 1). Lesný porast tvorí dub cerový s nepatrnou prímiesou duba zimného a bohatou vrstvou krovín. Druhou plochou je TMP 203 Lomnistá dolina. Tá je lokalizovaná vo Fatransko-tatranskej oblasti, v centrálnej časti geomorfologického celku Nízke Tatry na báze svahu pod Chabencom v nadmorskej výške 1250 m. Podľa jednotiek lesnickej typológie ide o 6. lesný vegetačný stupeň (smrekovo - bukovo – jedľový), skupinu lesných typov Fageto-Aceretum, konkrétne lesný typ 6404 – deväťsilová kamenitá buková javorina. Pôda tu bola klasifikovaná ako umbrizem kambizemná (obrázok 2). Lesný porast tvorí smrek obyčajný. Lesný typ (definujúci potenciálne prirodzené lesné spoločenstvo), ako aj prítomnosť bukového porastu nad TMP jasne indikujú, že nejde o pôvodnú smrečinu, ale umelo založený porast, kde by v prirodzenom zložení mal dominovať buk s primiešaním javora, jaseňa, smreka a prípadne ďalších drevín. Základné zistenia o stave pôd boli realizované už po založení plôch, tu porovnávame zistený stav v rokoch 2007 a 2020.



Obrázok 1. Pôdny profil na TMP 201 Čifáre dolina



Obrázok 2. Pôdny profil na TMP Lomnistá dolina

Vzorky pôdy boli odoberané z pokrývkového humusu pomocou šablóny o známej ploche 25 x 25 cm (aby bolo možné kvantifikovať jeho zásobu i zásobu jednotlivých prvkov na plošnú jednotku) a z pôdy v štyroch definovaných hĺbkach (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-80 cm), na každej ploche vo vykopanej sonde a na ďalších 4 miestach v blízkosti rohov plochy pomocou pôdneho vrtáka, pričom vzorka pre každú odberovú hĺbku a odberovú lokalitu vznikla zmiešaním 4 čiastkových vzoriek. Takýto spôsob odberu umožňuje získať určitú predstavu o priestorovej variabilite.

Sledované parametre pôdy boli stanovené štandardnými metódami: pH potenciometricky, uhlík a dusík elementárnou analýzou, výmenné kationy v 0,1 M chloride bárnatom, pseudototálne obsahy živín i potenciálne rizikových prvkov metódou AES-ICP po rozklade lúčavkou kráľovskou. Podrobný opis metód stanovenia je v manuáli ICP Forests (Cools, de Vos 2020).

Výsledky a diskusia

TMP Čifáre patrí k plochám, ktoré nie sú výrazne ovplyvňované v rámci manažmentu lesa ani externými nepriaznivými faktormi (imisie kyslých zrážok, rizikové prvky, kalamitný rozvrat lesného porastu vetrom alebo biotickými škodlivými činiteľmi), preto sa predpokladal ustálený stav bez signifikantných zmien počas daného obdobia. V poslednom období sa na vegetácii prejavuje v súvislosti s obnovnou ťažbou v tesnej blízkosti plochy zmena mikroklímy, najmä intenzívnejšie osvetlenie povrchu pôdy. Čoraz viditeľnejší je aj vplyv raticovej zveri. Je zjavný pokles pokryvnosti krovinového podrastu a najmä silné poškodzovanie zmladenia drevín odhryzom.

Výsledky však potvrdili určitý vývoj, ktorý zodpovedá všeobecným trendom, zaznamenaným v lesných pôdach Európy vo vzťahu acidifikácii pôd (a následnom zotavení, návrate k prirodzenejšiemu stavu z hľadiska pH a nasýtenia bázami), eutrofizácii pôd a sekvestracii uhlíka v pôdach.

Prehľad hlavných veličín, indikujúcich stav pôd pre posudzovanie vyššie uvedených procesov v lesných pôdach, je v tabuľke 1. Údaje sú pre porovnávané roky a hĺbky, pre jednotlivé veličiny sú tu uvedené aritmetické priemery za príslušnú plochu a smerodajné odchýlky.

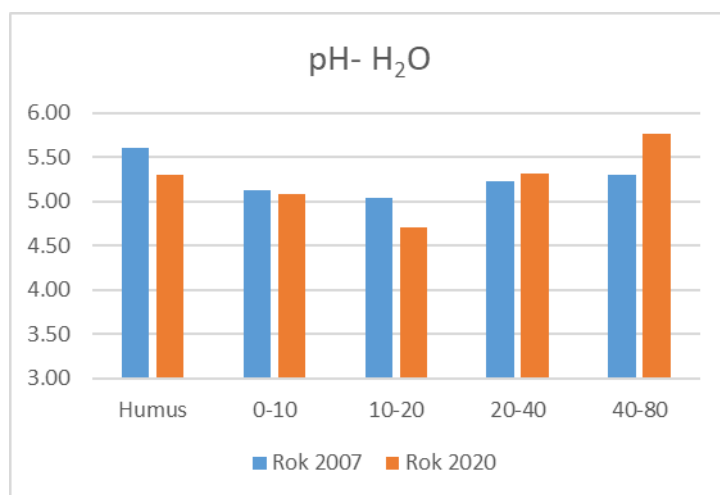
Tabuľka 1. Aritmetické priemery a smerodajné odchýlky pre vybraté monitorované vlastnosti pôd na TMP Čifáre podľa rokov a odberových hĺbok

Rok	Hĺbka	pH		BS (%)		C _{org} (g.kg ⁻¹)		N _t (g.kg ⁻¹)	
		x	s _x	x	s _x	x	s _x	x	s _x
2007	0-10 cm	5,13	0,11	80,9	5,8	30,2	7,2	1,91	0,56
	10-20 cm	5,05	0,19	65,5	16,2	16,1	2,8	1,14	0,25
	20-40 cm	5,23	0,34	77,2	15,3	12,5	0,9	0,80	0,08
	40-80 cm	5,31	0,32	91,1	3,8	6,7	0,9	0,47	0,17
2020	0-10 cm	5,08	0,48	79,4	10,6	35,9	10,3	2,62	0,81
	10-20 cm	4,70	0,27	69,0	18,2	18,2	5,1	1,37	0,38
	20-40 cm	5,31	0,57	87,1	11,2	13,7	3,0	1,11	0,24
	40-80 cm	6,19	0,86	97,9	2,5	9,4	1,5	0,90	0,16

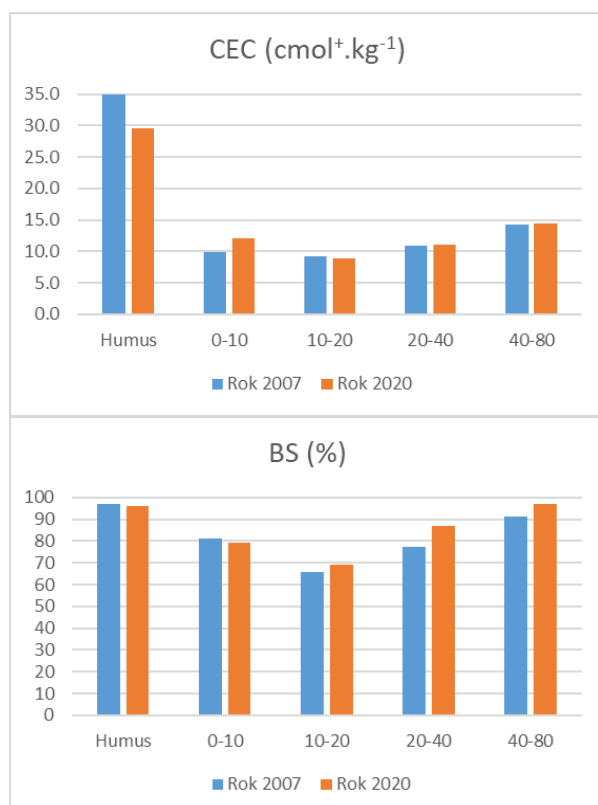
Pôdna reakcia a súvisiace vlastnosti (kationová výmenná kapacita, výmenná acidita, nasýtenie bázami - BS) majú podobný profilový priebeh. Pri povrchu pôdy sú vyššie hodnoty reakcie i nasýtenia, v hĺbke 10-20 cm, ktorá zodpovedá náznakom iluviálneho horizontu, čiastočne ochudobnenému o ílové časti, sú tieto hodnoty o niečo nižšie a potom s hĺbkou hodnoty stúpajú (obrázky 3, 4 a 5). Porovnaním stavu v rokoch 2007 a 2020 je zrejmé, že tento priebeh je zachovaný a rozdiely medzi aritmetickým priemerom pre jednotlivé hĺbky sú minimálne; výrazne vyššia hodnota v roku 2022 v hĺbke 40-80 cm je spôsobená prítomnosťou karbonátov

v spodnej časti profilu, čo následne výrazne zvýšilo pH v jednom z odberových miest a tým aj v priemernej hodnote. Nasýtenie vyjadruje pomer medzi bázičnými kationmi (Ca, Mg, K, Na) a celkovou kationovou kapacitou (bázy + výmenná acidita, resp. suma kyslých výmenných iónov). Hoci v roku 2020 boli v hĺbkach 0-10 cm a 10-20 cm zistené významne vyššie hodnoty výmennej acidity, zároveň tu boli namerané vyššie hodnoty bázičných kationov, a teda nedošlo k poklesu BS, naopak v hĺbkach 20-40 a 40-80 cm boli hodnoty BS vyššie.

V celom pôdnom profile je pôda nasýtená bázami, najvyššia hodnota je v najväčšej hĺbke, pričom vzostup až k hodnote blízkej 100 % v tejto hĺbke súvisí s prítomnosťou karbonátov (ide tu o vplyv rôznej hĺbky vrstvenia pôdotvorného substrátu s výrazne rozdielnymi vlastnosťami).



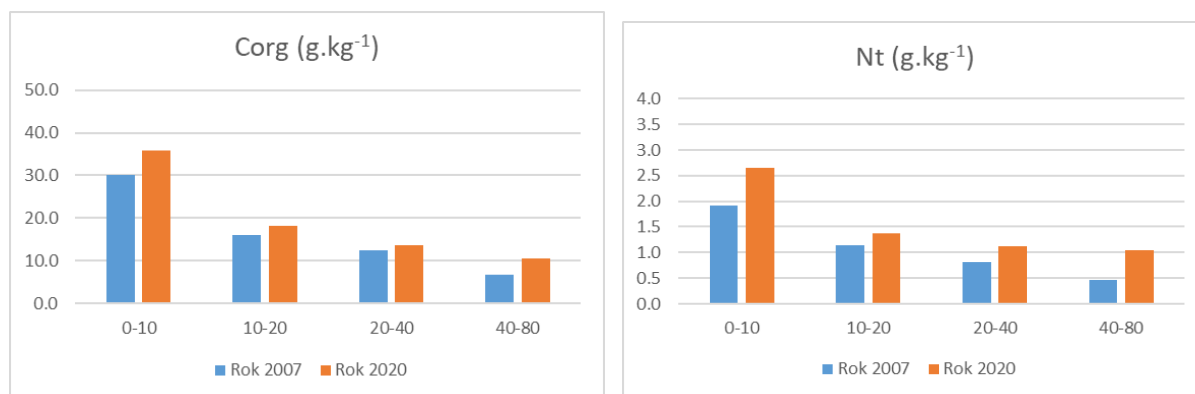
Obr. 3. Porovnanie nameraných hodnôt aktívnej reakcie v rokoch 2007 a 2020 podľa odberových hĺbok na TMP Čifáre



Obr. 4 a 5. Porovnanie nameraných hodnôt kationovej výmennej kapacity (vľavo) a nasýtenia bázami (vpravo) v rokoch 2007 a 2020 podľa odberových hĺbok na TMP Čifáre

Za jednu z kľúčových vlastností pôd v súčasnosti považujeme obsah, kvalitu a celkovú zásobu organického uhlíka. Popri indikácii kvality pôdy a jej úrodnosti má v súčasnosti mimoriadny význam hodnotenie sekvestrácie uhlíka, t.j. záchytu CO₂ z ovzdušia a „uskladňovaním“ uhlíka v biomase i v pôde. Popri samotných nameraných hodnotách koncentrácií organického uhlíka v pôde (tab. 1, obr. 6) sme kalkulovali aj zásoby uhlíka na plošnú jednotku. V pokrývkovom humuse je výpočet možný vďaka odberu pomocou šablóny, v minerálnej pôde sú zásoby počítané na základe zmeranej koncentrácie a objemovej hmotnosti. Keďže pôda na TMP Čifáre neobsahuje pôdny skelet, nevstupuje v tomto prípade do výpočtu a nie je potrebné zásobu prepočítavať, resp. redukovať zásobu a objem skeletu. Vypočítaná zásoba v pokrývkovom humuse bola v roku 2020 2,3 t/ha, kým v roku 2007 to bolo 5,0 t/ha. Vypočítaná celková zásoba v minerálnej pôde do hĺbky 80 cm bola v roku 2020 až 150,7 t/ha, kým v roku 2007 iba 127,5 t/ha.

Ďalšou dôležitou vlastnosťou pôdy je obsah celkového dusíka. Súvisí samozrejme s obsahom organickej hmoty a s úrodnosťou pôdy, zároveň môže indikovať určitú eutrofizáciu pôdy a presýtenie ekosystému dusíkom. Priemerné hodnoty za hodnotené hĺbkové rozsahy a porovnávané roky sú na obrázku 7, údaje vrátane smerodajných odchýlok sú v tabuľke 1. Aktuálne výsledky indikujú vyššie hodnoty dusíka oproti roku 2007, čo však iba čiastočne súvisí s tendenciou vzostupu zásoby organickej pôdnej hmoty, keďže hodnoty C/N vykazujú pokles. Možno teda predpokladať, že na tomto vývoji sa podieľa aj stále zvýšený vstup depozičný vstup anorganického dusíka (v prevažne poľnohospodárskej krajine najmä vo forme amóniového dusíka) a pravdepodobne aj pomerom C/N v listovom opade.

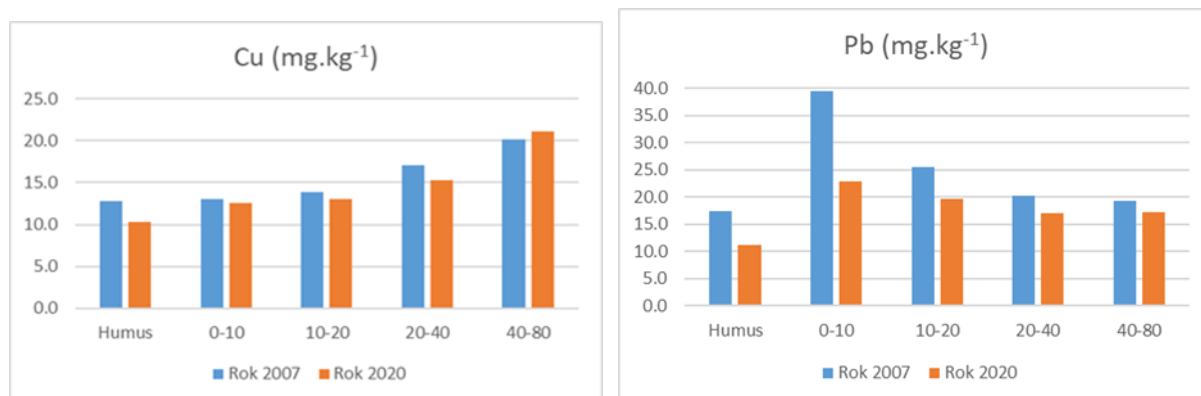


Obr. 6 a 7. Porovnanie nameraných hodnôt obsahu organického uhlíka (vľavo) a celkového dusíka (vpravo) v rokoch 2007 a 2020 podľa odberových hĺbok na TMP Čifáre

Ako príklad stavu a vývoja pôd z hľadiska obsahu potenciálne rizikových prvkov (ťažkých kovov) tu uvádzame výsledky pre olovo a meď. V prípade medi je zrejmé, že zistený obsah s hĺbkou stúpa, a možno ho dať do súvislosti s koncentráciou v mineráloch (geochemicky podmienený stav). V roku 2020 boli zistené len nepatrné rozdiely v priemerných hodnotách pre dané hĺbky (obr. 8).

Výrazne odlišný priebeh podľa hĺbky i podľa porovnania za dané roky prieskumu je pre olovo. V roku 2007 bola výrazne najvyššia hodnota koncentrácie olova v hĺbke 0-10 cm a s hĺbkou klesala. V roku 2007 boli namerané koncentrácie nižšie vo všetkých hodnotených hĺbkach, najväčší rozdiel (pokles) bol práve v pokrývkovom humuse a v hĺbke 0-10 cm. Takýto priebeh

indikuje jednak akumuláciu olova vo väzbe na organickú hmotu, ale aj antropogénny vplyv (vstup olova atmosférickou depozíciou aj z diaľkového prenosu emisií na povrch pôdy) a priaznivú reakciu na výrazné zníženie emisií tohto prvku – z priemyslu a najmä z dopravy. Takéto trendy boli zistené aj na iných plochách intenzívneho monitoringu a boli pre naše podmienky identifikované už koncom deväťdesiatych rokov minulého storočia (Šály et al. 1999). V tejto práci sa hodnotili podrobne zmeny koncentrácií olova v jednotlivých subhorizontoch povrchového humusu na výskumnej ploche v Nízkych Tatrách (pod Ludárovou hoľou) a vertikálny priebeh koncentrácií v týchto subhorizontoch a jeho zmeny počas 16 rokov jednoznačne indikovali znížené antropogénne vstupy olova do pôdy.



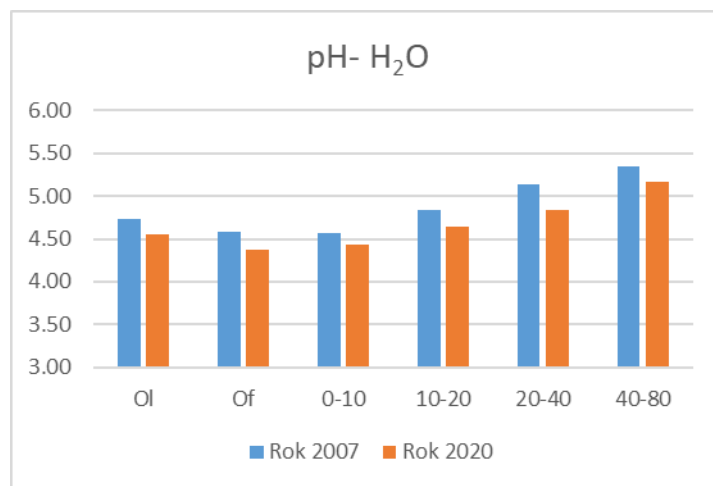
Obr. 8 a 9. Porovnanie nameraných hodnôt obsahu medi (vľavo) a olova (vpravo) v rokoch 2007 a 2020 podľa odberových hĺbok na TMP Čifáre

TMP Lomnistá dolina sa nachádza vo výrazne odlišných prírodných podmienkach, preto vlastnosti pôdy sa v mnohých smeroch odlišujú od pôdy na TMP Čifáre.

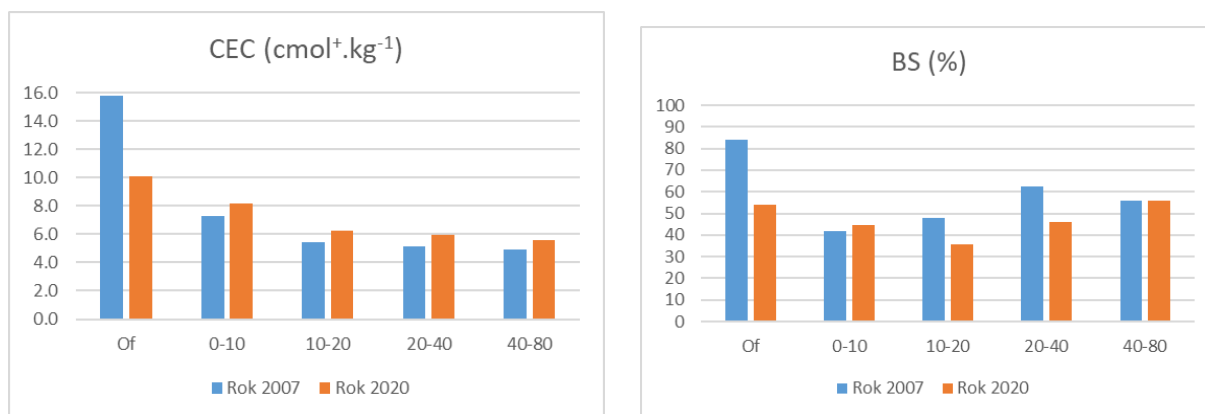
Pôdna reakcia od subhorizontu Of smerom do hĺbky pomerne výrazne stúpa (tabuľka 2, obr. 10), najkyslejšia je v subhorizonte Of a A horizonte. Ako prekvapivé sa javí to, že pre všetky hodnotené hĺbky boli v roku 2020 namerané o niečo nižšie hodnoty pH než v roku 2007. Zistené hodnoty nasýtenia bázami nevykazovali výraznejšie trendy podľa hĺbky, ale ani pri porovnaní v dvoch časových hladinách (obr. 11 a 12).

Tabuľka 2. Aritmetické priemery a smerodajné odchýlky pre vybraté monitorované vlastnosti pôd na TMP Lomnistá dolina podľa rokov a odberových hĺbok

Rok	Hĺbka	pH		BS (%)		C _{org} (g.kg ⁻¹)		N _t (g.kg ⁻¹)	
		x	s _x	x	s _x	x	s _x	x	s _x
2007	0-10 cm	4.57	0.23	41.8	14.9	76.2	20.7	5.10	1.47
	10-20 cm	4.84	0.18	47.8	12.4	53.2	14.2	3.82	1.25
	20-40 cm	5.14	0.25	62.3	19.0	41.4	8.5	2.92	0.56
	40-80 cm	5.35	0.33	56.0	13.0	46.1	9.7	2.92	0.54
2020	0-10 cm	4.43	0.37	44.5	27.7	89.0	21.5	6.22	1.30
	10-20 cm	4.64	0.33	35.6	25.1	70.1	13.8	5.11	1.06
	20-40 cm	4.83	0.32	46.2	28.7	63.9	7.7	4.36	0.37
	40-80 cm	5.16	0.40	55.7	30.0	50.9	6.6	3.02	0.38



Obr. 10. Porovnanie nameraných hodnôt aktívnej reakcie v rokoch 2007 a 2022 podľa odberových hĺbok na TMP Lomnistá dolina



Obr. 11 a 12. Porovnanie nameraných hodnôt kationovej výmennej kapacity (vľavo) a nasýtenia bázami (vpravo) v rokoch 2007 a 2020 na TMP Lomnistá dolina

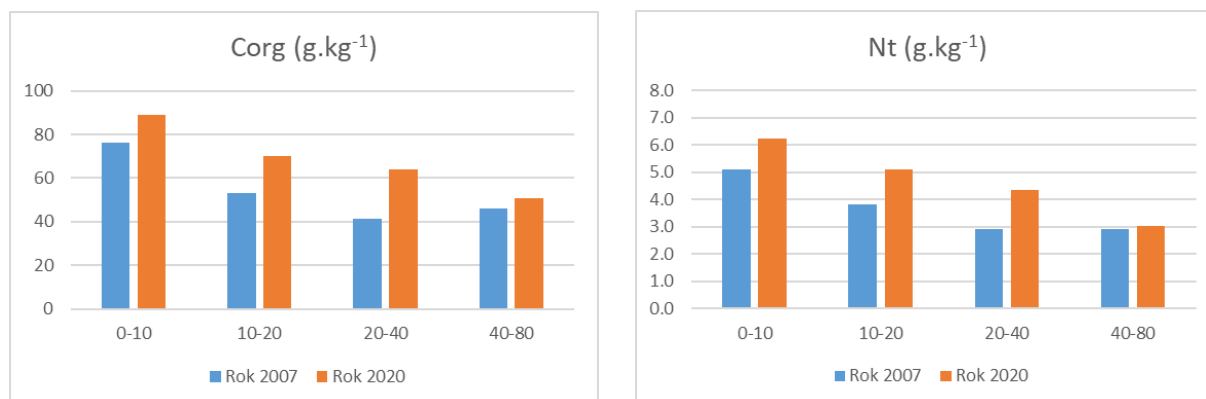
V súčasnosti sa teda hodnoty nasýtenia bázami do hĺbky 40 pohybujú medzi 35 až 45 %, pôda je tu sorpčne nenasýtená, v hĺbke pod 40 cm však presahuje 50%. Vzhľadom na geologický substrát (granodiority a ortoruly, v spodnej časti svahu pri dne doliny aj glacigénne sedimenty), nadmorskú výšku ale aj čistý smrekový porast ide o pomerne vysoké hodnoty, podobne ako je to pri hodnotách pH.

Pôda na TMP sa vyznačuje výrazne nadpriemerne vysokými hodnotami koncentrácie organického uhlíka, celkového dusíka, a teda i zásob pôdnej organickej hmoty (tab. 2, obr. 13 a 14). Ešte v hĺbke 40-80 cm sa namerané hodnoty obsahu C_{org} na jednotlivých odberných miestach na tejto TMP pohybovali okolo 4 až 6 % (t. j. 40 až 60 g.kg⁻¹). V roku 2020 boli namerané vyššie hodnoty pre organický uhlík i dusík, iba v hĺbke 40-80 cm boli rozdiely nepatrné.

Po prepočte na zásobu organického uhlíka na plošnú jednotku boli v roku 2020 vypočítané zásoby uhlíka 5,8 t.ha⁻¹, kým v roku 2007 to bolo 10,9 t.ha⁻¹. Celková zásoba organického uhlíka v minerálnej pôde bola 285,8 t.ha⁻¹, kým v roku 2007 to bolo 246,3 t.ha⁻¹. Toto množstvo je približne dvojnásobné oproti zásobe v pôde na ploche Čifáre a zároveň takmer dvojnásobné oproti priemerným zásobám v lesných pôdach Slovenska, a to napriek tomu, že pri výpočte sa

realizovala redukcia o skelet, ktorého objemový podiel v hodnotenej časti profilu bol 25 – 45 % (vo väčšej hĺbke výrazne presahoval 50 %).

Priemerné hodnoty obsahu celkového dusíka za hodnotené hĺbkové rozsahy a porovnávané roky sú na obrázku 14, údaje vrátane smerodajných odchýlok sú v tabuľke 2. Aktuálne výsledky indikujú vyššie hodnoty dusíka oproti roku 2007.



Obr. 13 a 14. Porovnanie nameraných hodnôt obsahu organického uhlíka (vľavo) a celkového dusíka (vpravo) v rokoch 2007 a 2020 podľa odberových hĺbok na TMP Lomnistá dolina

Prezentované výsledky poukazujú na výraznú rozdielnosť vlastností pôd na dvoch hodnotených monitorovacích plochách. Kým za celý súbor monitorovacích plôch I. úrovne v predchádzajúcom období (medzi rokmi 1993 a 2007, iba za hĺbku do 20 cm) nebol zistený signifikantný rozdiel v zásobách organického uhlíka (Pavlenda et al. 2021, Pavlenda 2022, 2023), na plochách II. úrovne je zrejмый trend poklesu zásob v pokrývkovom humuse, ale výrazný vzostup zásob v minerálnej pôde. Vo všeobecnosti zodpovedajú naznačeným trendom vo vývoji niektorých pôdných vlastností v Európe (De Vos et al. 2015, Liski 2002). Kým ďalší vývoj meniacej sa klímy môže vo vyšších polohách, kde limitujúcim faktorom rastu boli najmä nízke teploty, prispieť k zvýšeniu produkcie a sekvestrácie uhlíka, na väčšine územia Slovenska zmena klímy vedie nielen k väčšiemu stresu suchom pre príslušné dreviny, ale aj k zvyšujúcemu sa riziku rozvratu lesných porastov a kalamít. Keďže na mnohé vlastnosti pôd má významný vplyv spôsob manažmentu lesov, je potrebné venovať väčšiu pozornosť komplexnejšiemu hodnoteniu pôd ako súčasti týchto ekosystémov.

Záver

Spracované a prezentované výsledky naznačili priaznivý stav lesných pôd na dvoch monitorovacích plochách vo výrazne rozdielnych prírodných podmienkach z hľadiska pôdnej reakcie, kationovej výmennej kapacity, nasýtenia bázami i zásob organického uhlíka, ale aj vzostup zásob dusíka, ktorý môže indikovať stále nadbytočný vstup dusíka do ekosystémov. Naopak, z hľadiska obsahu olova je evidentný pokles koncentrácií pri povrchu pôdy, čo aj v kontexte iných zistení interpretujeme ako dôsledok výrazne nižších antropogénnych emisií tohto prvku.

Napriek tomu, že signifikantný trend zvyšovania zásob pôdneho organického uhlíka bol potvrdený vo viacerých regiónoch v Európe (Wellbrock, Bolte 2019, Wellbrock et al. 2016, Jonard et al. 2017), rozdiely zistené počas 13 rokov na daných dvoch plochách sa javia ako veľmi vysoké. Na ploche Lomnistá dolina vo vysokej nadmorskej výške možno predpokladať v dôsledku zmeny klímy priaznivejšie podmienky pre rast drevín a produktivitu lesných

ekosystémov, bude potrebné analyzovať poznatky aj vo vzťahu k modelom zmeny klímy, k iným výskumným plochám a objektom.

Monitoring lesných pôd plní významnú úlohu pre získavanie informácií o vývoji lesných ekosystémov. Napriek tomu, že údaje z monitorovacích plôch I. aj II. úrovne monitoringu lesov poskytujú množstvo dôležitých informácií a sú súčasťou metodicky harmonizovaných aktivít na celoeurópskej úrovni, majú aj svoje limity (Fernández-Ugalde et al. 2017, Vanguelova et al. 2016). Výsledky z monitoringu II. úrovne poskytujú aj informáciu o priestorovej variabilite pre dané sledované veličiny na úrovni plochy (na rozdiel od iných monitorovacích sietí a systémov), v mnohých smeroch môžu iba naznačiť trendy a pre podrobné analýzy vzťahov a vývoja by mali nadväzovať ďalšie výskumné aktivity.

Podakovanie

Táto práca vznikla v rámci podpory projektu APVV-18-0223 „Vyhodnotenie kľúčových vlastností lesných pôd Slovenska: aktuálny stav, vývoj, priestorové väzby a vzťahy k stavu lesa” a podpory z úloh “TreeAdapt” a “Čiastkový monitorovací systém Lesy”, financovaných na základe kontraktov medzi MPRV SR a NLC.

Literatúra

- Cools N, De Vos B, 2020: Part X: Sampling and Analysis of Soil. Version 2020-1. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 29 p + Annex [<http://www.icp-forests.org/manual.htm>]
- de Vries, W., Dobbertin, M.H., Solberg, S., Van Dobben, H.F., Schaub, M., 2014: Impacts of acid deposition, ozone exposure and weather conditions on forest ecosystems in Europe: an overview. *Plant Soil* 380(1–2):1–45
- Fernández-Ugalde O., Orgiazzi A., Jones A., Lugato E., Panagos P., 2017: LUCAS 2018 - SOIL COMPONENT: Sampling Instructions for Surveyors, EUR 28501 EN, doi 10.2760/023673
- Jonard, M., Nicolas, M., Coomes, D.A., Caignet, I., Saenger, A., Ponette, Q., 2017: Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon. *Sci Total Environ.* 574: 616–628. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.028>
- Liski, J., Perruchoud, D. and Karjalainen, T., 2002: Increasing Carbon Stocks in the Forest Soils of Western Europe. *Forest Ecology and Management*, 169, p. 159–175. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00306-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00306-7)
- Luyssaert, S., Ciais, P., Piao, S.L., Schulze, E.D., Jung, M., Zaehle, S., Schelhaas, M.J., Reichstein, M., Churkina, G., Papale, D., Abril, G., Beer, C., Grace, J., Loustau, D., Matteucci, G., Magnani, F., Nabuurs, G.J., Verbeeck, H., Sulkava, M., van der Werf, G.R., Janssens, I.A., Team, C.-IS (2010) The European carbon balance. Part 3: forests. *Glob Chang Biol* 16(5):1429–1450. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02056.x>
- Pavlenda, P., Pajtík, J. et al., 2010: Monitoring lesov Slovenska. Správa za ČMS Lesy a projekt FutMon za rok 2009. Zvolen, NLC-LVÚ, 2010, 139 s.
- Pavlenda, P., Barka, I., Priwitzer, T., Šebeň, V., Pavlendová, H., 2021: Zlepšenia a aktualizácie podpory inventarizácií emisií skleníkových plynov v sektore LULUCF (využívanie pôdy, zmeny vo využívaní pôdy a lesné hospodárstvo). Správa z riešenia. Zvolen, Národné lesnícke Centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 43 s.
- Pavlenda, P., 2022: Monitoring lesných pôd na Slovensku ako súčasť monitoringu lesných ekosystémov. In: Houšková, B. (ed.): *Pedologické dni 2022. Monitoring a detailný výskum pôdných vlastností ako účinný nástroj manažmentu a ochrany pôd*: Zborník abstraktov. Zvolen 12.- 14. septembra 2022. ISBN 978-80-8163-044-6.
- Pavlenda, P., 2023: Vlastnosti pôdy na trvalej monitorovacej ploche Čifáre v Podunajskej nížine podľa výsledkov monitoringu pôd. In: Bucha, T., Gergel, T., Gracovský, R. (Eds.): *Zborník odborných prác z konferencie LignoSilva 2023*. Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, s. 20–25.
- Šály, R., Mindáš, J., Pavlenda, P., 1999: Changes of forest floor at transect of Norway spruce stand after 16 years [Zmeny lesnej pôdy v transekte porastu smreka obyčajného po 16-tich rokoch]. In: *Soil Conservation in Large-Scale Land Use: Proceedings. International Conference May 12-15, 1999 Bratislava*, Publishing Centre of Soil Science and Conservation Research Institute, p. 207–221.
- Vanguelova
- Wellbrock, N., Bolte, A., Flessa, H. (eds), 2016: *Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008*. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 43, 550 pp.
- Wellbrock, N., Bolte, A. (eds.), 2019: *Status and Dynamics of Forests in Germany. Results of the National Forest Monitoring*. Ecological Studies 237, Springer Open, 384 pp.

Vanguelova, E.I., Bonifacio, E., De Vos, B., Hoosbeek, M.R., Berger, T.W., Vesterdal, L., Armolaitis, K., Celi, L., Dinca, L., Kjønaas, O.J., Pavlenda, P., Pumpanen, J., Püttsepp, Ü., Reidy, B., Simončič, P., Tobin, B., Zhiyanski, M., 2016: Sources of errors and uncertainties in the assessment of forest soil carbon stocks at different scales—review and recommendations. *Environ Monit Assess* (2016) 188:630 DOI 10.1007/s10661-016-5608-5

Kontaktná adresa autora

Ing. Pavel Pavlenda, PhD., Národné lesnícke centrum, T.G. Masaryka 22, 960 01 Zvolen,
pavel.pavlenda@nlcsk.org

MONITORING LESNÝCH PÔD V RÁMCI PROGRAMU ICP FORESTS: OD PODPORNÝCH ÚDAJOV PRE HODNOTENIE STAVU LESNÝCH PORASTOV KU KOMPLEXNÉMU MONITOROVACIEMU SYSTÉMU

FOREST SOIL MONITORING WITHIN THE ICP FORESTS PROGRAM: FROM SUPPORTING DATA FOR FOREST CONDITION ASSESSMENT TO A COMPREHENSIVE MONITORING SYSTEM

Pavel Pavlenda, Hana Pavlendová

Abstract: This paper describes the history of forest monitoring and the development of forest soil monitoring within the ICP Forests programme to date. The main milestones in monitoring programme running 40 years are highlighted. Basic information is provided on the existing forest soil survey system, which has been developed to be harmonised across Europe. Some specific aspects and particularities of forest soils are mentioned that should be taken into account is the planned soil monitoring law of the European Union.

Key words: ICP Forests, pan-European programme, forest soil, soil resilience, forest condition

Úvod

Hoci pod lesom sa zvyčajne myslí jeho stromová zložka, teda lesný porast, lesné pôdy sú podstatnou časťou lesných ekosystémov, ktoré mnohými vlastnosťami predurčujú celý zložitý lesný ekosystém. Niektorí pôdoznalci dokonca s nadhľadom hovoria, pod povrchom pôdy je tá podstatnejšia, aj keď bežne neviditeľná polovica lesa.

Naopak, lesné pôdy sú ovplyvňované stavom lesného porastu, spôsobom manažmentu, ale v posledných dekádach najmä globálnymi faktormi, ako je znečistenie ovzdušia či klimatická zmena. Informácie o nich sú súčasťou poznania stavu lesov a zároveň súčasťou poznania stavu pôdneho krytu na národnej i nadnárodnej úrovni. Monitoring lesných pôd je súčasťou monitorovacieho systému na národnej úrovni (ČMS Lesy), zároveň je súčasťou dlhodobého medzinárodného programu monitoringu lesných ekosystémov (ICP Forests).

Vznik programu ICP Forests a Čiastkového monitorovacieho systému Lesy

Na prelome 60. a 70. rokov minulého storočia vedci objavili súvislosť medzi kyslými dažďami a odumieraním lesov, úbytkom rýb v jazerách a ďalšími rozsiahlejšími účinkami na ekosystémy. Dôležité teda bolo uvedomenie si faktu, že znečistenie ovzdušia nie je lokálnym, ale regionálnym až cezhraničným problémom, pričom niektoré znečisťujúce látky sa môžu prenášať tisíce kilometrov od zdrojov ich emisií. To viedlo k podpísaniu Dohovoru EHK OSN o diaľkovom znečisťovaní ovzdušia prechádzajúcim štátmi v roku 1979, ktorý sa zaoberal problémom znečistenia ovzdušia na medzinárodnej úrovni v rámci regiónu EHK OSN.

Jedným z prvých programov zriadených v rámci Dohovoru bol Medzinárodný kooperatívny program pre hodnotenie a monitorovanie účinkov znečistenia ovzdušia na lesy (ICP Forests). Program bol spustený v roku 1985 v reakcii na obavy verejnosti i politikov z rozsiahleho poškodenia lesov pozorovaného v Európe, ktoré sa stupňovalo začiatkom 80. rokov 20. storočia.

Konkrétne kroky pre vznik programu boli uskutočnené na základe Nariadenia č. 3528/86 (Council Regulation No 3528/86 of 17 November 1986 on the protection of the Community's forests against atmospheric pollution, OJ L326).

Vedúcou krajinou bolo Nemecko a sídlom programového koordinačného centra (PCC) bol Ústav svetového lesníctva v Hamburgu.

V počiatočných fázach tohto programu bolo hlavným cieľom poskytovať periodický prehľad o priestorových rozdieloch a časových zmenách stavu lesa vo vzťahu k antropogénnym a prírodným stresovým faktorom (zvlášť vo vzťahu k znečisteniu ovzdušia) prostredníctvom reprezentatívneho monitoringu v systematickej sieti monitorovacích plôch. Založená bola teda sieť trvalých monitorovacích plôch (TMP) v pravidelnej sieti 16 x 16 km o celkovom počte okolo 5500 plôch. Tým sa založil systematický monitoring v pravidelnej sieti (veľkoplošný extenzívny monitoring).

Základnou aktivitou bolo každoročné hodnotenie stavu korún lesných drevín na TMP (defoliácia, diskolorácia, mortalita), prejavov rôznych typov poškodenia a hrúbkového prírastku ako indikátorov vitality.

Z hľadiska poznatkov o lesných pôdach veľmi dôležitým bolo rozhodnutie, že na TMP je potrebné zistiť základné informácie o stave pôd ako podporných údajov vo vzťahu k zhoršovaniu zdravotného stavu lesov. V rokoch **1993-1995 sa realizovalo prvé vzorkovanie pôd** s cieľom získať údaje o rôznych vlastnostiach pôd s dôrazom na kontamináciu a acidifikáciu. Vzorkovanie prebiehalo na základe spoločného manuálu vytvoreného členmi tzv. Expertného panelu Pôda ako súčasti štruktúr ICP Forests. Výsledky boli spracované v správe o stave lesných pôd v Európe (Vanmechelen 1997).

Na Slovensku sa tiež tvoril program monitoringu lesov, ktorý bol vypracovaný variantne (vrátane možnosti siete 10 x 10 km). Nakoniec došlo k harmonizácii s európskym procesom a v rokoch 1987 a 1988 bolo založených 112 TMP v sieti 16 x 16 km. Na základe Uznesenia vlády SR č. 449 z 26. mája 1992 (ktorým vláda SR schválila koncepciu monitoringu životného prostredia a koncepciu IS ŽP SR) sa vybudovali čiastkové monitorovacie systémy (ČMS). Jedným z celkove desiatich ČMS je Čiastkový monitorovací systém Lesy (ČMS Lesy). Tento sa samozrejme metodicky viazal na ICP Forests.

Rozšírenie programu o intenzívny monitoring (II. úroveň monitoringu lesov)

V roku 1994 sa program rozšíril Nariadením č. 1091/94 o **začiatku programu intenzívneho monitoringu** a podrobnostiach pre založenie plôch a hodnotenie stavu koruny, pôd, asimilačných orgánov a depozície (Commission Regulation No. 1091/94 (EC) of 29 April 1994 laying down certain detailed rules for the implementation of Council Regulation (EEC) No 3528/86 on the protection of the Community's forests against atmospheric pollution, OJ L 125). Intenzívny monitoring lesov sa realizuje na plochách, ktoré v jednotlivých krajinách reprezentujú typické lesné ekosystémy z hľadiska geologického podkladu, pôd, typov lesa, nadmorských výšok (vertikálnej klimatickej zonality i klimatických pásiem). Počet takýchto plôch mal v jednotlivých krajinách tvoriť 5-10 % z počtu plôch v základnej sieti. Na Slovensku bolo založených 7 plôch.

K vyššie uvedenému cieľu programu pribudol druhý hlavný cieľ: prispieť k lepšiemu pochopeniu vzťahov medzi stavom lesných ekosystémov a stresovými faktormi, hlavne znečistením ovzdušia, prostredníctvom intenzívneho monitoringu na vybraných trvalých výskumných plochách.

Národný systém monitoringu lesov (ČMS Lesy), rovnako ako európsky monitorovací systém, teda od polovice 90. rokov má dve základné zložky:

- monitoring I. úrovne – veľkoplošný extenzívny monitoring (pravidelná sieť),
- monitoring II. úrovne – intenzívny monitoring (vybraté lesné ekosystémy).

Program sa rozšíril o ďalšie prieskumy; popri hodnotení stromov (vrátane úrovne výživy na základe listových analýz) a atmosférickej depozície čoraz významnejšiu pozíciu získavali ciele zamerané na podrobný prieskum pôd.

Postupne sa vytvorili odborné štruktúry (expertné panely) a zaraďovali sa do hodnotenia lesných ekosystémov na plochách II. úrovne ďalšie prieskumy: meteorologické hodnotenia, fenológia, hodnotenie opadu, kvality ovzdušia s dôrazom na troposférický ozón a identifikáciu viditeľného poškodenia rastlín ozónom, pôdny roztok, teplota a vlhkosť pôdy, opad a prízemná vegetácia. Pôvodne zamýšľaný monitoring zdravotného stavu lesov sa postupne pretvoril na komplexný monitoring lesných ekosystémov aj so zameraním na dopady zmeny klímy a na biodiverzitu.

Kým základným intervalom pre hodnotenia na plochách I. úrovne je jeden rok, na plochách II. úrovne sa monitorujú príslušné veličiny priebežne – od kontinuálneho monitoringu meteorologických veličín po frekvenciu 2x mesačne (depozícia, pôdny roztok, fenológia, prírastok). Pre niektoré prieskumy je interval zisťovania viac rokov.

Prehľad je uvedený v nasledovnej tabuľke 1.

Tabuľka 1. Prehľad prieskumov v rámci monitoringu lesov I. a II. úrovne

Monitorovacie aktivity	Úroveň I	Úroveň II	
Stav koruny, stav stromu	každoročne	každoročne	všetky plochy
Prírastok	každoročne	každoročne	všetky plochy
Listové analýzy	Jednorazovo	každé 2 roky	všetky plochy
Opad		každoročne	vybrané plochy
Pôdne analýzy	každých 10 rokov	každých 10 rokov	všetky plochy
Analýzy pôdneho roztoku		priebežne	vybrané plochy
Vlhkosť a teplota pôdy		priebežne	vybrané plochy
Prízemná vegetácia		každých 5 rokov	vybrané plochy
Atmosférická depozícia		priebežne	všetky plochy
Kvalita ovzdušia (ozón)		priebežne	vybrané plochy
Meteorologické pomery		priebežne	vybrané plochy
Fenológia		priebežne	vybrané plochy

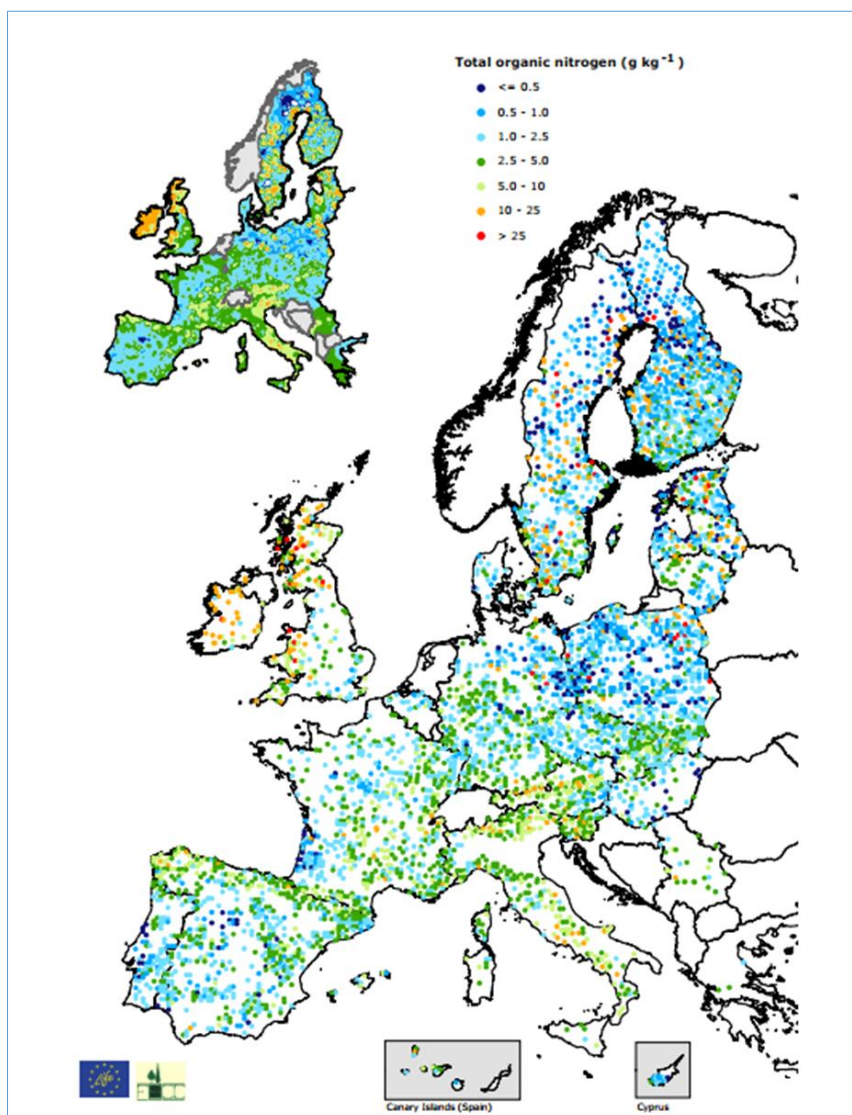
Nariadenie Forest Focus a implementácia projektu BioSoil

V rokoch 2003-2006 bolo legislatívnym rámcom pre monitoring lesov v Európe Nariadenie (EC) č. 2152/2003 Európskeho parlamentu a Rady zo 17. novembra 2003 týkajúce sa monitoringu lesov a environmentálnych interakcií v Spoločenstve (Regulation (EC) No 2152/2003 of the European Parliament and the Council of 17 November 2003 concerning monitoring of forests and environmental interactions in the Community (**Forest Focus**)).

Pre Slovensko, ktoré v roku 2004 pristúpilo k Európskej únii, to zároveň znamenalo spolufinancovanie zo strany Komisie, ale aj konkrétnejšie záväzky. Popri plnení tzv. národného projektu Forest Focus, ktorý zahrňoval bežné aktivity na plochách I. aj II. úrovne, sa na základe spoločnej dohody implementoval aj demonštračný projekt BioSoil. Tento projekt mal dve zložky: dominantná bola časť zameraná na pôdy a druhou časťou bolo zisťovanie vybraných indikátorov biologickej diverzity.

Terénne práce v rámci **projektu BioSoil** sa realizovali na základe podrobne spracovaných manuálov – od spôsobu odberu vzoriek (Mikkelsen et al. 2006) až po klasifikáciu podľa vtedajšej verzie klasifikácie pôd WRB. Významným prínosom bol fakt, že v tom čase bol už veľmi podrobne spracovaný manuál pre jednotlivé laboratórne stanovenia. Dôležité pre porovnanie a spoločné vyhodnotenie výsledkov bolo aj to, že pôdy na TMP boli klasifikované v rovnakom systéme.

Výsledky boli spracované jednak tímom FSCC (Forest Soil Coordinating Centre) v Belgicku (de Vos, Cools 2011) jednak zo strany JRC (Hiederer et al. 2011). Predstavu o priestorovej distribúcii TMP zaradených do projektu, ako možnostiach priestorových modelov pre vizualizáciu výsledkov z I. úrovne monitoringu je možné získať z mapy na obrázku 1. Priestorová distribúcia plôch II. úrovne monitoringu je zrejmá z obrázku 2.



Obr. 1. Príklad mapového výstupu z monitoringu lesných pôd v Európe: priestorová distribúcia koncentrácie celkového uhlíka v pôde v hĺbke 0-10 cm (Zdroj: De Vos, Cools 2011)



Obr. 2. Priestorová distribúcia monitorovacích plôch II. úrovne v rámci programu ICP Forests (Zdroj: Michel, Seidling 2015)

Z hľadiska kvality, presnosti a spoľahlivosti údajov o pôdach je dôležité, že popri expertných paneloch bola zriadená aj pracovná skupina pre zabezpečenie kvality v laboratóriách (WG on QA/QC in laboratories), ale najmä to, že **laboratóriá zapojené do programu ICP Forests sa pravidelne zúčastňujú na kruhových medzilaboratórnych testoch.**

Súčasný monitoring lesných pôd a výzvy do budúcnosti

Plánovaný interval 10 rokov medzi opakovanými prieskumami pôd sa nepodarilo naplniť. Konkrétnejšie iniciatívy k ďalšiemu cyklu prieskumu pôd sa začali v roku 2019. Výrazná väčšina krajín vtedy plánovala realizovať odbery a analýzy vzoriek na TMP. Vzhľadom na to, že európska legislatíva neumožnila priame spolufinancovanie ako to bolo v čase platnosti nariadenia Forest Focus, nie všetky krajiny realizujú opakované hodnotenie pôd. Na Slovensku

bola vypracovaná štúdia s návrhom opakovaného prieskumu pôd na monitorovacej sieti a v roku 2021 sa začal ďalší cyklus vzorkovania. Podarilo sa ho dokončiť v roku 2025. V najbližšom období by samozrejme bolo potrebné výsledky spracovať a publikovať.

V posledných rokoch, aj v nadväznosti na „Zelenú dohodu“ (Green deal) sa podarilo presadiť Európsku stratégiu pre pôdu a pokračuje proces dolaďovania a postupné kroky pre schválenie návrhu **Smernice o monitoringu a odolnosti pôdy (Directive of the European Parliament and Council on Soil Monitoring and Resilience)**, označovanej aj ako „Soil Monitoring Law“.

Tím expertov na pôdy zo štruktúr ICP Forests vstúpil do procesu prípravy smernice viacerými spôsobmi, od pripomienkovania v zmysle procedurálneho konania až po vyjadrenia a návrhy vo vedeckom periodiku (Wellbrock et al. 2024). Pôvodný návrh totiž prakticky ignoroval existujúcu infraštruktúru, dáta i skúsenosti z doterajšieho monitoringu lesných pôd. Preferoval systém LUCAS, koordinovaný zo strany Spoločného výskumného centra (JRC), pričom základné princípy a metódy boli postavené pre monitoring poľnohospodárskych pôd, a to napriek tomu, že pripravovaná smernica mala poskytovať informácie pre všetky typy využívania – od urbánnych až po lesné pôdy.

Na národnej úrovni popri údajoch zo siete ICP Forests máme databázy aj z redukovanej siete 4 x 8 km v rámci Národnej inventarizácie lesov, hoci len vo veľmi obmedzenej škále zisťovaných veličín a len na základe vzoriek pôdy do hĺbky 20 cm. Tieto údaje slúžia na spresňovanie priestorových údajov o stave pôd. Aj keď v súčasnosti je otázka príslušnej smernice otvorená, to, či bude prijatá a ak, tak v akej podobe, predurčí ďalší vývoj monitoringu lesných pôd. Aktuálna verzia pripúšťa značnú flexibilitu pre členské krajiny a veríme, že konečný systém v sebe bude integrovať úspešne fungujúce národné i medzinárodné monitorovacie systémy o pôdach.

Záver

Doterajší monitoring lesných pôd v rámci ICP Forests priniesol rozsiahle výsledkové databázy, ktoré sú využívané rôznymi spôsobmi. Popri vyššie zmienených správach na celoeurópskej úrovni ide o publikované národné správy o lesných pôdach (Ponette et al. 1997, Wellbrock, Bolte 2019), vedecké práce syntetizujúce poznatky o vzťahoch medzi pôdami a výživou drevín (Mathieu et al. 2015, Novotný et al. 2016, 2020), manažmentom lesov a stavom pôd (napr. Vangelova et al. 2006), či rôznymi ekologickými faktormi a mykoríznymi hubami (van de Linde et al. 2018). Špecifickými výstupmi sú práce zamerané na hodnotenie kritických záťaží ekosystémov z hľadiska zakysľujúcich iónov, eutrofizačných účinkov depozícií dusíka alebo kontaminácie ťažkými kovmi (Mindáš et al. 1999), prípadne práce využívajúce aj údaje o pôdach na TMP pre procesné modely kolobehu prvkov v lesných ekosystémoch (Merganičová et al. 2024).

Veľkou výzvou je však prezentovanie výsledkov a poznatkov vo vhodnej forme pre verejnosť a ich využitie pri tvorbe politik. Od úrovne impaktu poznatkov na verejnosť a politikov totiž závisí aj možnosť systematického získavania údajov o pôdach, a tým možnosť zmierniť degradáciu pôd a dlhodobu udržateľné využívanie všetkých funkcií lesných pôd.

Podakovanie

Táto práca vznikla v rámci podpory projektu APVV-18-0223 „Vyhodnotenie kľúčových vlastností lesných pôd Slovenska: aktuálny stav, vývoj, priestorové väzby a vzťahy k stavu lesa“ a podpory z úloh “TreeAdapt” a “Čiastkový monitorovací system Lesy”, financovaných na základe kontraktov medzi MPRV SR a NLC.

Literatúra

- Bucha, T., Pavlenda, P., Konôpka, B., Tomašík, J., Chudá, J., Surový, P., 2024: Identification of drought-induced forest damage in 2022 and of its key site condition drivers through satellite imagery. *Central European Forestry Journal*, Volume 70, Issue 3, p. 156-176, DOI: <https://doi.org/10.2478/forj-2024-0013>
- Fernández-Ugalde O., Orgiazzi A., Jones A., Lugato E., Panagos P., 2017: LUCAS 2018 - SOIL COMPONENT: Sampling Instructions for Surveyors, EUR 28501 EN, doi 10.2760/023673
- Vanguelova, E.I., Bonifacio, E., De Vos, B., Hoosbeek, M.R., Berger, T.W., Vesterdal, L., Armolaitis, K., Celi, L., Dinca, L., Kjonaas, O.J., Pavlenda, P., Pumpanen, J., Püttsepp, Ü., Reidy, B., Simončič, P., Tobin, B., Zhiyanski, M., 2016: Sources of errors and uncertainties in the assessment of forest soil carbon stocks at different scales—review and recommendations. *Environ Monit Assess* (2016) 188:630 DOI 10.1007/s10661-016-5608-5
- Bommarez, T., Cools, N. and De Vos, B. (2021). Heavy metals in forest floors and topsoils of ICP Forests Level I plots. Forest Soil Coordinating Centre of ICP Forests. Report of the Research Institute for Nature and Forest 2021 (5). Research Institute for Nature and Forest, Brussels. 105 pp + annexes
- Borrelli, P., Panagos, P., Langhammer, et al. 2016: Assessment of the cover changes and the soil loss potential in European forestland: First approach to derive indicators to capture the ecological impacts on soil-related forest ecosystems. *Ecological Indicators*. 60: 1208-1220.
- Cools, N., De Vos, B., 2011: Availability and evaluation of European forest soil monitoring data in the study on the effects of air pollution on forests. iForest – Biogeosciences and Forestry, November 2011.
- Cools N, De Vos B, 2020: Part X: Sampling and Analysis of Soil. Version 2020-1. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 29 p + Annex [<http://www.icp-forests.org/manual.htm>]
- De Vos, B., Cools, N., 2011. Second European Forest Soil Condition Report. Volume I: Results of the BioSoil Soil Survey. INBO.R.2011.35. Research Institute for Nature and Forest, Brussel. 360 pp.
- De Vos, B. Cools, N., Ilvesniemi, H., Vesterdal, L., Vanguelova, E., Carnicelli, S., 2015: Benchmark values for forest soil carbon stocks in Europe: Results from a large scale forest soil survey. *Geoderma*, Vol. 251-252, p. 33-46.
- European Environmental Agency, 2016: European Forest Ecosystems. Status and trends. EEA Report No 5/2016. 128 pp.
- Ferretti, M., Cools, N., Dörner, M.L., Michel, A., Schwärzel, K., Verstraeten, A., Waldner, P. (eds.) 2025: On the pulse of European forests. 40 years of pan-European forest monitoring: from air pollution to climate change. ICP Forests 40th Anniversary Report under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Air Convention). Eberswalde: Thünen Institute. <https://doi.org/10.3220/253-2025-21>.
- Hiederer, R., Durant, T., 2010: Evaluation of BioSoil Demonstration Project - Preliminary Data Analysis. EUR 24258 EN. JRC Scientific and Technical Reports. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 126 pp.
- Hiederer, R., Michéli, E., Durrant, T., 2011: Evaluation of BioSoil Demonstration Project – Soil Data Analysis. EUR 24729 EN. Publications Office of the European Union. European Commission Joint Research Centre. 155 pp.
- IUSS Working Group WRB, 2015: World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Kilian, W. et al., 1992: Österreichische Wäldboden-zustandsinventur. Wäldbodenbericht. Mitteilungen der FBVA, Wien, 146 pp.
- Kobza, J. a kol., 2014: Monitoring pôd Slovenskej republiky - súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Výsledky Čiastkového monitorovacieho systému – Pôda za obdobie 2007 – 2012 (4. cyklus). VÚPOP Bratislava, 249 s.
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. 2020. Monitoring pôd SR. (pri príležitosti 27. výročia realizácie monitoringu pôd na Slovensku a 60. výročia založenia Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy. NPPC-VUPOP Bratislava, 49 s. ISBN 978-80-8163-036-1.
- Mathieu, J., et al., 2015: Tree Mineral Nutrition Is Deteriorating In Europe. *Global change biology* 21.1: 418-430.
- Michel A, Seidling W, (eds.), 2015: Forest Condition in Europe: Technical Report of ICP Forests. Report under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP). Vienna: BFW Austrian Research Centre for Forests. BFW Dokumentation 21/2015. 182 p.
- Mindáš, J., Pavlenda, P., Škvarenina, J., Kremler, M., Pukančíková, K., Závodský, D., 1999: Critical loads of acidity for Slovak forest ecosystems. In: Meteorologický časopis - Meteorological Journal, Roč. 2, č. 1 s. 15-24.
- Mikkelsen, J.H., Cools, N., Langohr, R., 2006: Guidelines for forests soil profile description (adopted for optimal field observation within the framework of the EU Forest Focus Demonstration Project BIOSOIL. Geraardsbergen, Institute for Forestry and Game Management. 71 pp.

- Mulder, C., Hettelingh, J.P., Montanarella, L., Pasimeni, M.R., Posch, M., Voigt, W., Zurlini, G., 2015: Chemical footprints of anthropogenic nitrogen deposition on recent soil C:N ratios in Europe. *Biogosciences*, 12, 4113-4119.
- Nieminen, T.M., De Vos B., Cools, N., König, N., Fischer, R., Iost, S., Meessenburg, H., Nicolas, M., O'Dea, P., Cecchini, G., Ferretti, M., De La Cruz, A., Derome, K., Lindroos, A.J., Graf Pannatier, E., 2016: Part XI: Soil Solution Collection and Analysis. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 20 p. + Annex [<http://www.icp-forests.org/manual.htm>]
- Novotný, R., Buriánek, V., Šrámek, V., Hunová, I., Skořepová, I., Zapletal, M., Lomský, B., 2016: Nitrogen deposition and its impact on forest ecosystems in the Czech Republic – change in soil chemistry and ground vegetation. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, June 2016. DOI: 10.3832/for1847.
- Novotný, R., Krupová, D., Pavlenda, P., Šrámek, V., 2020: Monitoring of Forests Indicates Decrease of Important Elements in Tree Nutrition of Main Tree Species across the Czech Republic and Slovakia over the Long Term. *Journal of Environmental Science and Engineering*, B 9, pp. 39-55 doi:10.17265/2162-5263/2020.02.001
- Pavlenda, P., Capuliak, J., 2014: Stav a zmeny pôdných vlastností na plochách intenzívneho monitoringu lesov. In: Pôdoznalecké dni 2014. Ekosystémové služby pôdy v poľnohospodárskej a lesnej krajine. NPPC – VUPOP Bratislava, 82 s.
- Pavlenda, P., Sitková, Z., Pavlendová, H: Intenzifikácia odberu biomasy pre energetické účely - riziká pre lesné pôdy, návrh kritérií pre hodnotenie a návrh riešenia. *Výstupy NLC pre lesnícku prax*. Zvolen, Národné lesnícke centrum, s. 25-34.
- Pavlenda, P., 2021: Udržateľnosť funkcií lesných pôd: ohrozenia a riešenia. In: Tóthová, S., Gergel, T. (eds.): LignoSilva 2021. Zborník odborných prác z konferencie, Zvolen 28. september 2021. Zvolen, Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, s. 52-58.
- Pavlenda, P., Priwitzer, T., Pavlendová, H., 2023: Organický uhlík v lesných pôdach v kontexte mitigačných a adaptačných opatrení na zmenu klímy In: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2023. Sborník recenzovaných vědeckých prací. s.12-17. ISBN 978-80-89408-37-5.
- Ponette, Q., Ulrich, E., Brethes, A., Bonneau, M., Lanier, M., 1997: RENECOFOR – Chemie des sols dans les 102 peuplements du réseau. Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques. 428 pp.
- Seidling, W., Ferretti, M., Michel, A.(eds.), 2015: Long-term trends and effects of air pollution on forest ecosystems, their services, and sustainability. Book of abstracts: 4th ICP Forests Scientific Conference, May 2015, Ljubljana, Slovenia, 52 pp.
- Seidling, W., Ferretti, M. (eds.) 2016: Tracing air pollution and climate change effects on forest ecosystems: trend and risk assessments. 5th ICP Forests Scientific Conference, May 2016, Luxembourg, 48 pp.
- Šrámek, V., Novotný, R., Fadrhonsová, V., Lomský, B., 2014: Stav lesních půd dvacet let po imisní kalamitě a trvalá udržitelnost lesního hospodářství. In: Zdravotní stav lesů a vývoj lesních půd 25 let po vyvrcholení imisní zátěže - regenerace a rizika pro budoucnost. Sborník abstraktů mezinárodní konference. Průhonice, VULHM, s. 6.
- Vanguelova, E., Moffat, A.J., Lynch, J., 2006: Impact of forestry on soil quality in the UK. Expert Workshop on Definition of Best Indicators for Biodiversity and Soil Quality for Life Cycle Assessment (LCA). Proceedings and Conclusions, Guildford, 12-13 June, (2006). ISSN: 1464-8083, pp. 24-27.
- Vanmechelen, L., Groenemans, R., Van Ranst, E., 1997: Forest Soil Condition Report. Results of a Large-Scale Soil Survey. EC-UN/ECE, Brussels, Geneva, 262 pp.
- van der Linde, S., Suz, L.M., Orme, D.L., Cox, F., Andreae, H., Asi, E., Atkinson, B., Benham, S., Carroll, Ch., Cools, N., De Vos, B., Dietrich, H.-P., Eichhorn, J., Gehrmann, J., Grebenc, T., Gweon, H.S., Hansen, K., Jacob, F., Kristöfel, F., Lech, P., Manninger, M., Martin, J., Meessenburg, H., Merilä, P., Nicolas, M., Pavlenda, P., Rautio, P., Schaub, M., Schröck, H.-W., Seidling, W., Šrámek, V., Thimonier, A., Thomsen, I.M., Titeux, H., Vanguelova, E., Verstraeten, A., Vesterdal, L., Waldner, P., Wijk, S., Zhang, Y., Žlindra, D., Bidartondo, M. I., 2018: Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi. *Nature* 558, p. 243-248. SN-1476-4687. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0189-9>
- Van Sundert, K., Radujković, D., Cools, N., De Vos, B., Etzold, S., Fernández-Martínez, D., Janssens, J., Merilä, P., Peñuelas, P., Sardans, J., Stendahl, J., Terrer, C., Vicca, S., 2019: Towards comparable assessment of the soil nutrient status across scales – review and development of nutrient metrics. *Global Change Biology*, 26/2, p. 392-409 DOI: 10.1111/gcb.14802
- Waldner, P., Thimonier, A., Pannatier, E.G. et al., 2015: Exceedance of critical loads and of critical limits impacts tree nutrition across Europe. *Annals of Forest Science*, Vol. 72: 929–939. DOI 10.1007/s13595-015-0489-2
- Wellbrock, N., Bolte, A., Flessa, H. (eds), 2016: Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 43, 550 pp.
- Wellbrock, N., Bolte, A. (eds.), 2019: Status and Dynamics of Forests in Germany. Results of the National Forest Monitoring. Ecological Studies 237, Springer Open, 384 pp.

Wellbrock, N., Cools, N., de Vos, B., Jandl, R., Lehtonen, A., Leitgeb, E., Mäkipää, R., Pavlenda, P., Schwärtzel, K., Šrámek, V., 2024: There is a need to better take into account forest soils in the planned soil monitoring law of the European Union. *Annals of Forest Science*, Volume 81, Article number: 22/2024

Wiedemann, T., Klap, J., Langouche, D., Van Ranst, E., 2001: Confrontation of the Forest Soil Condition Level I database with the Soil Geographical Database of Europe. FSCC, Ghent, 53 pp.

Kontaktná adresa autorov

Ing. Pavel Pavlenda, PhD., Národné lesnícke centrum, T.G. Masaryka 22, 960 01 Zvolen,
pavel.pavlenda@nlcsk.org

Ing. Hana Pavlendová, PhD., Národné lesnícke centrum, T.G. Masaryka 22, 960 01 Zvolen,
hana.pavlendova@nlcsk.org

GRIDOVÉ MAPOVANIE ERÓZNO-AKUMULAČNÝCH KATÉN PRE IDENTIFIKÁCIU KOLUVIZEMÍ AKO PÔDNEHO TYPU

GRID MAPPING OF EROSION-ACCUMULATION CATENAS FOR THE IDENTIFICATION OF KOLUVIZEMS AS A SOIL TYPE

Jaroslava Sobocká, Juraj Balkovič, Zuzana Rampašeková, Vladimír Hutár

Abstract: Detailed studying the spatial differentiation of soil cover in the areas affected by erosion-accumulation processes identified colluvial soils occupying relief depression and footslopes. Detailed field measurements were based on: i) field survey and assessment of the erosion-accumulation catenas and (ii) pedometric methods for processing of the collected data. The differences in soil horization and basic properties found during the field survey and data processing were used for proposing new classification of soils developing on colluvial materials in concave relief forms. It was suggested to introduce to Slovak soil classification (MKSP, 2014) a new taxonomic group of colluvial soils.

Keywords: soil erosion, erosion-accumulation catena, pedometric methods, colluvial soils

Úvod

Prehľad súčasného stavu problematiky

Pôda je definovaná ako ľubovoľný trojrozmerný výrez z pedosféry a je charakterizovaná na základe pôdných typov a druhov. Kým v zmysle Morfogenetického klasifikačného systému pôd SR (SPS, 2014) pôdny typ kategorizujeme a identifikujeme podľa sledu genetických diagnostických horizontov, pôdny druh je vyjadrený podielom jemnozeme a jej zrnitostných frakcií, organických látok a skeletu. Na pôdu vplývajú aj antropogénne procesy vyvolané človekom. Antropogénny vplyv na pôdu sa prejavuje v podobe poľnohospodárskeho využívania krajiny a pôdy ako prírodného zdroja (Saksa, 2008). Nevhodné poľnohospodárske využívanie pôdy, resp. nevhodne zvolené ľudské aktivity (postupy), spôsobujú celý rad pôdodegradačných procesov, medzi ktorými má zvláštne postavenie erózia pôdy.

Už Zachar (1960, 1970) definoval eróziu pôdy ako mechanické rozrušovanie pôdy pohybujúcou sa vodou, vetrom, ale aj ďalšími deštruktívnymi činiteľmi, ako sú ľad, sneh, ap. Pri erózii pôdy, ako uvádzajú Fulajtár & Janský (2001), dochádza nepretržite k odnosu, transportu uvoľnených častíc pôdy a k ich usadzovaniu. Autori kladú dôraz na pôsobenie činiteľov s príslušnou kinetickou energiou, akými sú najmä priame erózne činitele dážď, prúdiaca voda a vietor, zriedkavejšie aj ľad a sneh. Tieto degradačné procesy spôsobujú postupne úplný odnos jemnozeme a môžu viesť až k zániku pôdy. V niektorých prípadoch možno eróziu pôdy považovať za prírodnú hrozbu, ktorá vedie k úplnému znehodnoteniu pôdy, až k vzniku spustnutej pôdy, ako ju chápe Midriak (2004, 2007).

Výskumy potvrdili, že erózia pôd má za následok zhoršenie pôdných vlastností a vedie k zníženiu úrodnosti pôdy, čo dokazujú práce Gregorich *et al.* (1998), Pennock & Corre (2001), Mueller & Pierce (2003), Papiernik *et al.* (2009), Kosmas *et al.* (2001), Heckrath *et al.* (2005). Na druhej strane, možno v akumulovaných pôdach pozorovať obohatenie humusového horizontu organickou hmotou a to v prácach (Gregorich & Anderson 1985, Battison *et al.* 1987, Stallard 1998, Arriaga & Lowery 2005, Fenton *et al.* 2005, Papiernik *et al.* 2005, 2007). Vďaka vplyvu reliéfu na pôdu v exponovanej eróznej oblasti sa hrúbka pôdneho plášťa znižuje a plošne sa obnažuje podložie. Reliéf sa pod vplyvom plošnej vodnej erózie zahladzuje,

zarovnáva, nivelizuje. Poľnohospodárke orné pôdy sú ovplyvnené aj orbovou eróziou, ktorá má za následok odnos materiálu predovšetkým z vrcholových partií svahu a ich akumulácie na úpätiach svahov. Problematikou orbovej erózie (*tillage erosion*) sa zaoberajú mnohí autori, napr. Lindstrom *et al.* (1992), Govers *et al.* (1994, 1996), Van Oost *et al.* (2003).

Štandardná metodika mapovania pôd využívaná v súčasnosti na Slovensku (Čurlík & Šurina, 1998) ako aj staršia metodika Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd (Němeček *et al.* 1966) sa javí ako nepostačujúca. Lokalizácia erodovaných pôd sa v súčasnosti určuje mnohými modernými predikčnými modelmi, slúžiacimi na vyjadrenie náchylnosti územia na eróziu pôdy. Táto metodika však musí byť upresnená aj správnymi mapovacími terénnymi metódami založenými na gridovom mapovaní (Zádorová, 2009, Balkovič *et al.*, 2013).

Geometrické formy svahu sú identifikované v eróznno-akumulačných katénach. Stankoviansky (1997) uvádza, že vo vhlbených formách georeliéfu, napr. v úvalinách či v úvalinových dolinách sa vplyv georeliéfu prejavuje oveľa výraznejšie. Najväčší odnos býva preto z vypuklých (konvexných) svahov, menší z priamych a najmenší z dutých (konkávnych). Vplyvom geometrických foriem svahu na pôdu sa zaoberali Sobocká a Jambor (1998) a Zádorová (2009). Pri mapovaní koluviálnych pôd sa zistilo, že akumulácia pôdneho materiálu je výhradne tam, kde je hodnota zakrivenia záporná, t.j. na konkávnych prvkoch svahu čo potvrdzuje aj Florinsky *et al.* (2002).

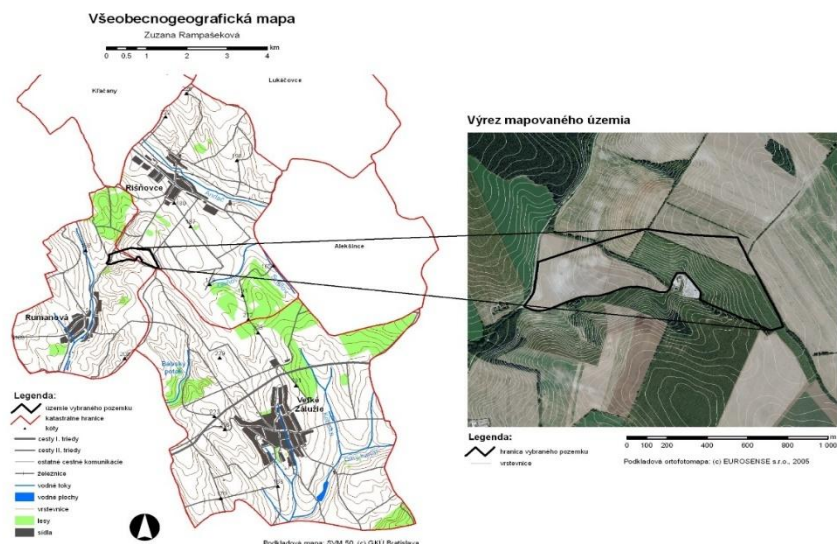
Pôsobenie reliéfu na eróziu pôdy vyjadrujú morfometrické metódy výskumu pôd, ktoré môžu byť dobrým podkladom predovšetkým pre stanovenie eróznej náchylnosti územia ako aj pre stanovenie ďalších charakteristík územia. Morfometrickú analýzu na Slovensku rozvinul Krcho (1990), Jenčo (1992) a Minár (Minár 1995, Minár & Evans, 2008) v podobe digitálneho modelu georeliéfu (DMR).

Zámerom príspevku je definovať koluviálne pôdy, ktorých charakteristika nie je založená na genetických princípoch, ale na odnose pôdneho materiálu do úpätných depresných polôh svahov. Túto pôdu, ktorá sa v MKSP (2014) neuvádza ako samostatný pôdny typ, ale iba ako pôdne formy – akumulovaná, prekrytá a prekryvná, možno navrhnúť ako samostatný taxonomický rád. Cieľom tohto príspevku je na základe detailného mapovania delimitovať pôdne areály v nehomogénnom type poľnohospodárskej krajiny, ktorá je pod vplyvom eróznno-akumulačných procesov a analyzovať katény prostredníctvom elementárnych foriem reliéfu. Špeciálny dôraz sa kladie na depresné a úpätné formy reliéfu s potenciálnym výskytom koluviálnych pôd, ktoré sú predmetom nášho štúdia.

Materiál a metódy

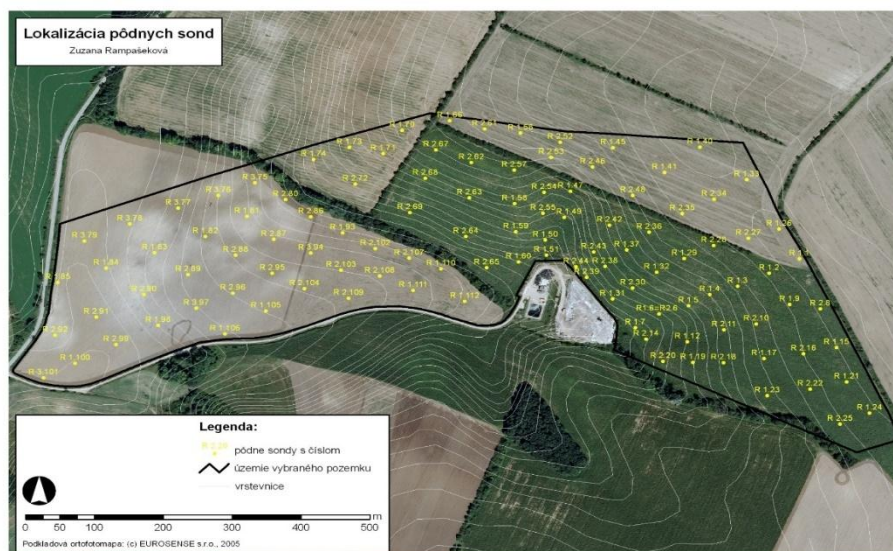
Skúmané územie geomorfologicky patrí do časti Zálužianska pahorkatina čím je súčasťou podcelku Nitrianska pahorkatina, ktorú Fulajtár & Janský (2001) považujú za silne erodovanú oblasť Slovenska. Klimaticky patrí do teplého, veľmi suchého nížinného regiónu, s priemernou teplotou vzduchu 10,5 °C a priemerným ročným úhrnom zrážok 600 mm (Obr. 1).

Územie o rozlohe 36,77 ha predstavuje rozhranie medzi Trnavskou a Nitrianskou pahorkatinou v katastroch obcí Rišňovce a Rumanová. Má komplikované prírodné podmienky s prechodnou zónou medzi černoziemnou a hnedozemnou oblasťou s výskytom rôznych morfometrických foriem a nehomogénneho materského materiálu. Územie bolo rozdelené v pravidelnej sieti na 111 odberových bodov (gridová sieť), ktoré boli podrobené pedologickej analýze v terénnych podmienkach (vrátane georeferencovanej lokalizácie a klasifikačného zatriedenia). V priemere išlo o 3 sondy na ha, čo potvrdzuje detailné mapovanie v mierke 1:10 000. Sondy boli vrtané Edelmanovým pôdnym vrtákom do hĺbky 120-130 cm resp. po dosiahnutie pôdotvorného substrátu.



Obr. 1. Geografická lokalizácia skúmaného územia

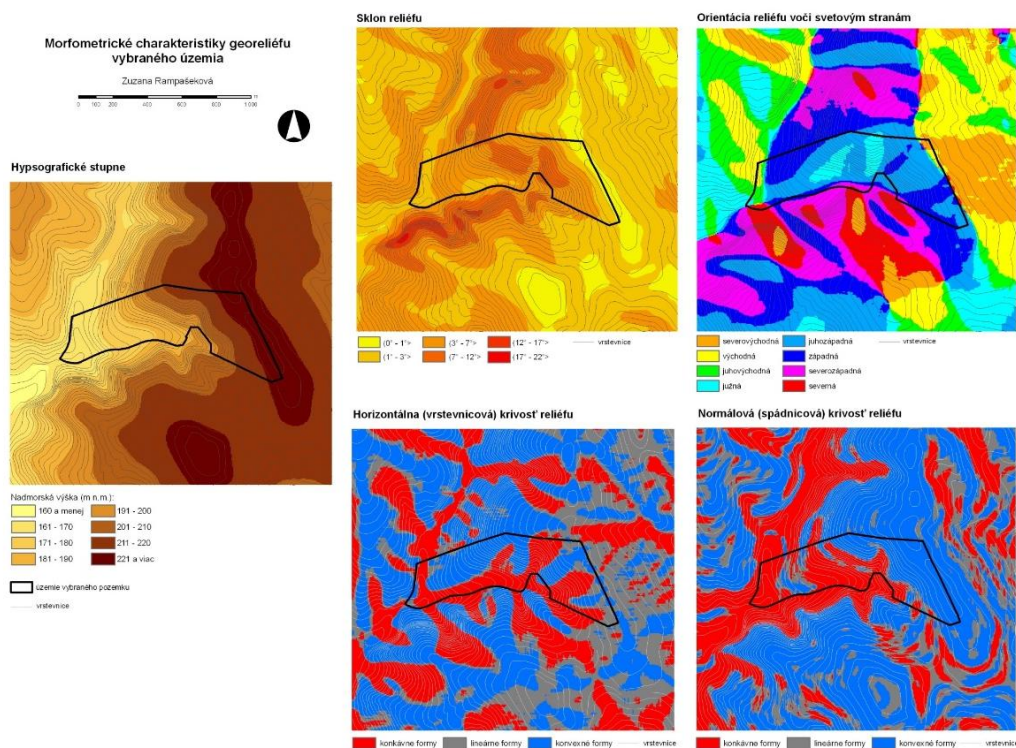
V zmysle štandardných postupov mapovania pôd (Čurlík & Šurina, 1998) sa na vybranom území vytvorila na vrstevnicovom podklade sieť pôdných sond rovnomerne od seba vzdialených asi 70 m. Každý bod v sieti bol súradnicovo identifikovaný geografickou polohou t.j. zemepisnou šírkou a dĺžkou. V teréne bol vyhľadávaný pomocou GPS typu eTrex Venture Cx. Reálna geografická súradnicová poloha bodu (sondy) bola zaznamenaná v pôdnom zápisníku. Samotná lokalizácia pôdných sond bola v prostredí ArcGISTM digitalizovaná a následne bola vytvorená vektorizovaná georeferencovaná údajová vrstva (Obr. 2).



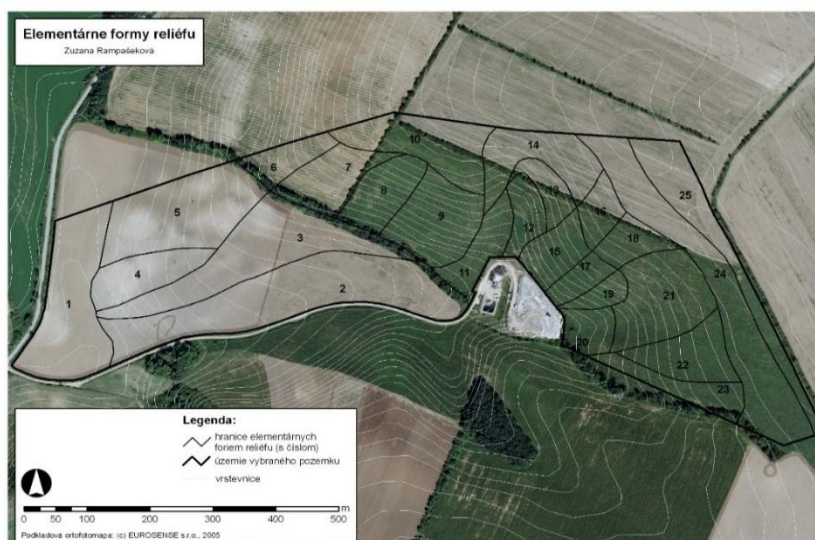
Obr. 2. Lokalizácia pôdných sond

Bola vypracovaná podrobná analýza morfometrických vlastností reliéfu na základe digitálneho modelu georeliéfu (DMR). Podkladom pre jeho zhotovenie sa stali topografické mapy ZM 1:10 000, konkrétne mapové listy 35-34-24 a 45-12-04 a ich vrstevnicová rastrová vrstva (*.tiff). V softvéri R2V (© Albe Software Corp) bola vytvorená vektorizácia vrstevnicovej rastrovej vrstvy a v prostredí ArcGISTM (© Esri) bolo vygenerované vstupné pole nadmorských výšok. Na základe DMR boli vygenerované morfometrické parametre georeliéfu ako sklon, orientácia

(expozícia), normálová (spádnicová) krivosť georeliéfu a horizontálna (vrstevnicová) krivosť georeliéfu v prostredí ArcGIS™ aplikáciou Spatial Analyst a uložené vo forme rastrovej údajovej vrstvy (Obr. 3). Popis generovania morfometrických parametrov je uvedený v práci Balkovič *et al.* (2013) a Petrikovičová *et al.* (2020).



Obr. 3. Morfometrické vlastnosti reliéfu skúmaného územia



Obr. 4. Mapa areálov elementárnych foriem reliéfu

Na základe DMR boli vygenerované areály elementárnych foriem reliéfu. Do úvahy boli brané náhle zmeny reliéfu vo forme sklonu, horizontálnej a normálovej krivosti a tiež expozície. Získané hranice areálov elementárnych foriem georeliéfu boli v konečnej etape upravené na základe terénnej verifikácie a korekcie (Obr. 4).

Analýza morfometrických ukazovateľov areálov elementárnych foriem georeliéfu bola spracovaná v tabuľkovej podobe (Tab. 1).

Tab. 1. Morfometrické vlastnosti areálov elementárnych foriem reliéfu

	Sklon (°)	Expozícia	Normálová (spádnicová) krivosť	Horizontálna (vrstevnicová) krivosť
1	1-3	V, JV	K	K
2	3-7	JZ	K	K
3	3-7	JZ	K	V
4	3-7	Z	V	V
5	3-7	Z	K	V
6	7-12	JZ	V	V
7	3-7	JZ	K	V
8	7-12	J	K	K
9	7-12	JZ	K	V
10	3-7	JZ	V	V
11	3-7	JZ	K	K
12	7-12	JZ	K	K
13	7-12	JZ	V	K
14	3-7	JZ	V	K
15	7-12	Z	V	V
16	3-7	Z	V	V
17	7-12	JZ	V	V
18	3-7	JZ	V	V
19	7-12	JZ	K	K
20	3-7	Z	K	K
21	3-7	JZ	V	K
22	3-7	Z	V	V
23	3-7	JZ	K	K
24	1-3	0	0	0
25	0-3	0	0	0

Vysvetlivky: K – konkávna forma, V – konvexná forma, 0 – plochá forma

Na mapovanom území vzniklo 25 areálov elementárnych foriem reliéfu (Obr. 4). Prevýšenie územia predstavuje 60 m n.m. Zmeny pôd na malom území charakterizuje pôdna katéna (Bedrna 1967). Tiež ju možno nazvať ako topografický rad pôd alebo pôdno-geomorfologický rad. Podľa viacerých definícií pôdna katéna je sled typov pôd alebo ekosystémov medzi vyvýšeninou a zníženinou terénu, resp. eluviálny komplex katény vo vrcholovej časti prechádza po svahu do koluviálneho komplexu na úpätí. Erózy transekt (katéna) je charakterizovaný radom sond lokalizovaných po spádnici.

Výsledky a diskusia

Základom mapy erózy-akumulačných areálov bola mapa elementárnych foriem reliéfu (Obr. 5). Uvedené areály boli identifikované na základe hĺbky povrchového humusového horizontu (A horizontu) jednotlivých pôdnych typov. Priemerná hĺbka A horizontu černoziem (ČM) predstavovala 50 cm, regozemí (RM) 33 cm a hnadozemí (HM) 28 cm. Z nej bola vygenerovaná mapa pôdnych typov (Obr. 6.)

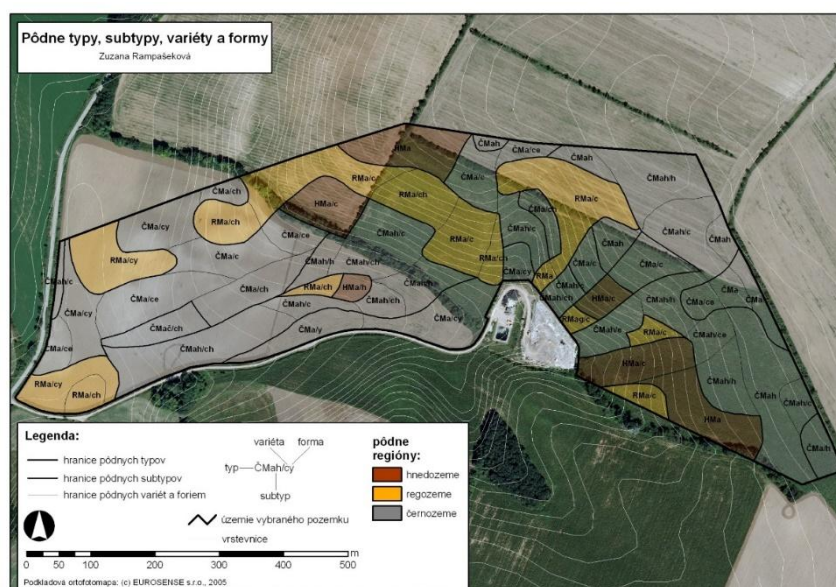


Obr. 5. Mapa erózne-akumulačných areálov

Hranice erózne-akumulačných areálov boli stanovené nasledovne (klasifikácia pôd v zmysle Morfogenetického klasifikačného systému pôd SR (SPS 2014)):

ČM:ČM/e (erodované):	hĺbka A-horizontu < 40 cm
ČM/h (akumulované):	hĺbka A-horizontu > 50 cm
ČM/y (prekryté):	hĺbka A-horizontu zväčša 120 cm
RM:RM/e (erodované):	hĺbka A-horizontu < 20 cm
RM/h (akumulované):	hĺbka A-horizontu > 30 cm
RM/y (prekryté):	hĺbka A-horizontu zväčša 120 cm.
HM:HM/e (erodované):	hĺbka A-horizontu < 20 cm
HM/h (akumulované):	hĺbka A-horizontu > 30 cm

Vysvetlivky: ČM – černozem, RM – regozem, HM – hnedoze, e – forma erodovaná, h – forma akumulovaná, y – forma prekrytá



Obr. 6. Mapa pôdnych typov

V rámci skúmaného územia bolo vygenerovaných 11 pôdnych transekt – katén, ktoré sa posudzovali z hľadiska hrúbky povrchového horizontu ako aj ostatných pôdnych parametrov. Areály boli vytvorené a vyhraničené pomocou elementárnych foriem georeliéfu vo forme erodovaná (E), akumulovaná (H), prekrytá (Y) a plochá (O). Pre naše účely, t.j. klasifikáciu pôd koluviálnych území, sme z databázy vybrali pôdny transekt (katénu) č. 8.

Pôdna katéna 8

Pôdna katéna 8 o dĺžke 193 m bola navrhnutá a realizovaná až po dno hlbkej úvaliny. Z hľadiska substrátu ide o hlinitú spraš s černozemou. Katéna je tvorená šiestimi sondami.

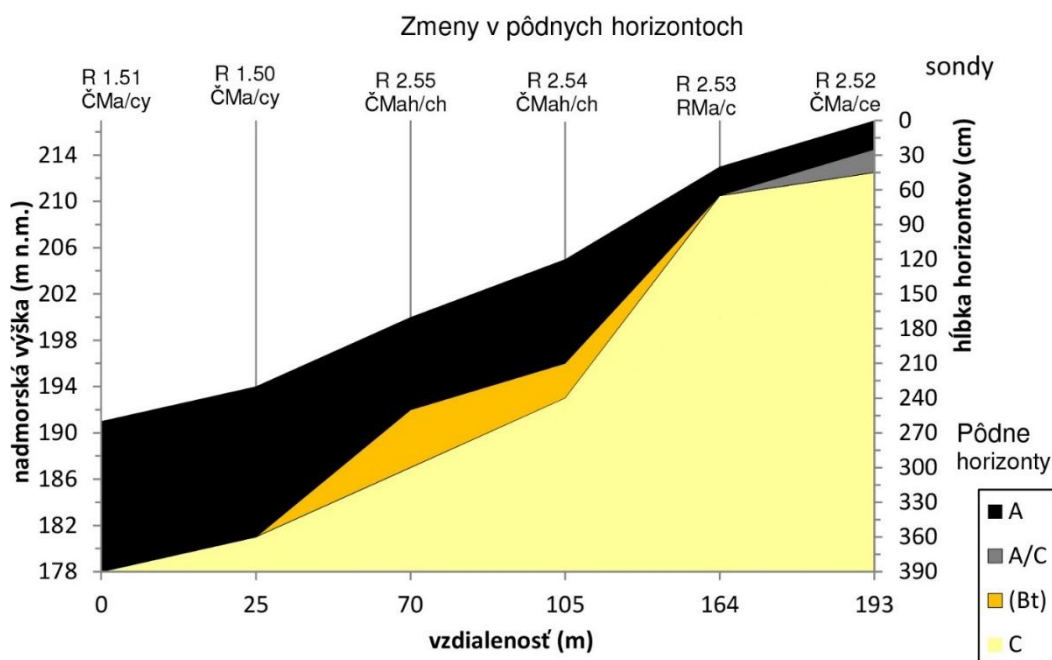
- A. Vrchnú časť katény s J orientáciou, konvex-konkávneho (VK) tvaru reliéfu, so sklonom 3-7°, tvorí sonda:
 1. R2.52: ČMa/ce-ssh/ssh,0/0-ne2: černozem kultizemná karbonátová erodovaná prachovito-hlinitá bez skeletu v ornici a prachovito-hlinitéj textúry bez skeletu v podornici.
- B. Stredná časť katény s J orientáciou, konvex-konkávneho (VK) tvaru reliéfu so sklonom 3-7° je tvorená sondami
 2. R2.53: RMa/c-ssh,0-ne2: regozem kultizemná karbonátová prachovito-hlinitéj textúry bez skeletu
 3. R2.54: ČMah/ch-ssh/ssh,0/(*)-ne2: černozem kultizemná hnedozemná karbonátová akumulovaná prachovito-hlinitéj textúry bez skeletu v ornici a prachovito-hlinitéj textúry s obsahom skeletu do 10% v podornici.
- C. Spodná časť katény s J až JZ orientáciou, konkáv-konkávneho (KK) tvaru reliéfu, so sklonom 3-7°, tvoria tri sondy
 1. R2.55: ČMah/ch-ssh/ssh,0/(*)-ne2 černozem kultizemná hnedozemná karbonátová akumulovaná prachovito-hlinitéj textúry bez skeletu v ornici a prachovito-hlinitéj textúry bez skeletu v podornici.
 2. R1.50: ČMa/cy-ssh/ssh,0/0-ne2 černozem kultizemná karbonátová prekrytá prachovito-hlinitéj bez skeletu v ornici a prachovito-hlinitéj bez skeletu v podornici
 3. R1.51: ČMa/cy-ssh/ssh,0/0-ne2 černozem kultizemná karbonátová prekrytá prachovito-hlinitéj bez skeletu v ornici a prachovito-hlinitéj bez skeletu v podornici.

Katény, ktoré sú postihnuté plošnou vodnou eróziou a ovplyvňované orbovou eróziou môžeme z pedogeografického hľadiska analyzovať vo vzťahu reliéf – pôda – substrát. Vzhľadom na homogénny substrát (spraš), v spodnej časti, kde prebehla výrazná akumulácia pôdneho materiálu je hodnotená ako výrazný prekryv humusového horizontu s hĺbkou aj nad 120 cm.

Akumulácia pôdneho materiálu sa v našom výskume prejavila pozdĺž celej katény vo všetkých sondách. Najväčšia akumulácia bola zaznamenaná v konkáv-konkávnej (KK) forme reliéfu v spodnej časti, kde sondy boli klasifikované ako černozeme s prekrytou až pochovanou formou. Takýto pôdny typ navrhujeme v zmysle prác Sobocká (2003) a Zádorová, Brodský, Rohošková (2009) hodnotiť ako koluvizeme (KL). Preto z hľadiska systematiky pôd podporujeme myšlienku zavedenia nového pôdneho typu koluvizeme do klasifikačného systému

Koluvizeme sa vyznačujú tým, že sú to pôdy vznikajúce z pomerne recentných erózných nánosov, ktoré boli uložené veľmi rýchlo (niekoľko storočí až tisícročí) bez významnej pedogenézy. Sú stratigraficky pomerne monotónne, avšak môže sa prejavovať určitá stratigrafická pestrosť v závislosti od plynulosti, či fázovosti akumulčných procesov. Jednotlivé vrstvy sa môžu líšiť farbou (obsahom humusu) a zrnitosťou. Prechody sú väčšinou veľmi pozvoľné (difúzne), avšak môžu sa vyskytnúť aj postupné, prípadne ostré prechody. Častým javom je, že obsah humusu je väčší a farba tmavšia v spodných vrstvách a postupne sa znižuje a bledne smerom k povrchu, pretože erózia po odnesení povrchových humusových

horizontov pôd odnáša čoraz viac materiálu z hlbších menej humózných, alebo nehumózných vrstiev okolitých pôd.



Obr. 7. Katéna 8 s výrazným prejavom akumulácie pôdneho materiálu v černozeovej oblasti

V sledovanom území sa kumulované areály (H) rozprestierajú na ploche 10,95 ha, čo je 30% záujmového územia. Sú pokryté najmä akumuláčnými formami ČMa s hĺbkou humusového horizontu viac ako 50 cm. Tieto areály sa vytvorili prevažne na sprašiach, na svahoch so sklonom 3-7°. Z hľadiska morfometrického sa viažu na konkáv-konkávne (KK) až konkáv-konvexné (KV) formy reliéfu.

Intenzívnejší akumuláčny proces generoval prekryté areály (Y) ČMa s hĺbkou humusového horizontu 120 cm, s plochou 5,07 ha, čo je 13 % záujmového územia. Ide o areály, ktoré sa vytvorili na sprašiach a koluviálnych naplaveninách dnových foriem, ale aj v hlbokjej depresii v centrálnej časti so sklonom svahov 3-7°. Nakoľko ide o areály vytvorené v depresných formách reliéfu, viažu sa tieto prekryvy, z hľadiska morfometrického, výlučne na konkáv-konkávne (KK) formy reliéfu.

Pôdy nachádzajúce sa v segmente koluviálnych území Sobocká (2003) navrhuje chápať ako pôdny typ, ktorého základným diagnostickým horizontom sa javí Ck-horizont, vytvorený transportom a následnou akumuláciou pôdneho materiálu obohateného o humus, niekedy stratifikovaný s rôznou farebnosťou. Pod ním sa spravidla nachádza pochovaná pôda s pôvodnou horizontáciou alebo zvyškami pôvodných horizontov. Dôležitým kritériom je hrúbka, avšak nie hrúbka samotného koluviálneho horizontu ale hrúbka koluviálneho horizontu spolu s A horizontom, ktorý vzniká z koluviálneho materiálu. Celková hrúbka tohto komplexu je navrhnutá na $A+C_k > 50$ cm. Sprievodným znakom koluvizemí je častý výskyt pochovaných pôd s pôvodnou horizontáciou pôdneho profilu, prípadne jeho zvyškov. Vznik koluvizemí nie je podmienený geneticky, ale eróznou-akumuláčnou činnosťou vody, eolickou činnosťou alebo antropickým pôsobením (napr. orba) v rôzne diferencovanom teréne/reliéfe. O vytvorení samostatnej taxonomickej skupiny pre koluvizeme v rámci MKSP sa zatiaľ diskutuje.

Záver

Ukazuje sa potreba dôkladného resp. detailného mapovania pôd ovplyvnených eróznou činnosťou aj v nehomogénnom prostredí poľnohospodárskej krajiny. Pôda je zraniteľný prírodný zdroj, ktorý podlieha mnohým exogénnym procesom, z ktorých viaceré spôsobujú jej degradáciu. Jej vlastnosti sa v priebehu času menia a získavajú iné parametre odlišné od pôvodne klasifikovaných pôdných typov. Bolo zistené, že pôdny pokryv sa v porovnaní s údajmi Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd, ktoré bolo na mapovanom území uskutočnené v roku 1964, výrazne zmenil (podobne databáza BPEJ kopíruje pôdne typy vytvorené počas KPP). Je pravda, že gridová metodika mapovania umožnila získať veľmi detailné poznatky, ktoré v dobách KPP nebolo možné dosiahnuť.

V našej štúdii sme využili detailné gridové mapovanie a riešenie geometrických foriem reliéfu eróžno-akumulačného územia na prehodnotenie súčasných klasifikačných konceptov predovšetkým pôd koluviálnych území. Hodnotili sme hlavne konkáv-konkávne a konvex-konkávne geometrické formy reliéfu so sklonom nad 3°. Nehodnotili sme vplyv dĺžky svahu na vymieňanie a transportnú schopnosť vody. Preukázalo sa, že náhla zmena zrnitosti a skeletu zmierňujú akumulčné procesy, podobne pôda s vyšším sklonom a vyšším obsahom ílu javí menší stupeň erodovanosti.

Požiadavka na mapovanie koluvizemí prišla priamo z praxe, kedy sa pôdy erodovaného pôdotvorného substrátu translokované do nižších častí svahu museli mapovať ako regozeme, hoci stratifikácia pôdných profilov ukázala, že ide o koluviálny materiál prekrývajúci pochovaný humusový horizont.

Ochranu pôd na Slovensku zabezpečuje Zákon 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z.z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Legislatívnu stránku treba podporiť preventívnymi protieróznymi opatreniami. Tie je však možné uplatňovať iba v prípade, že vieme presne identifikovať plochy náchylné na eróziu.

Literatúra

- Arriaga, F.J., Lowery, B. (2005). Spatial distribution of carbon over an eroded landscape in southwest Wisconsin. *Soil & Tillage Research*, 81, 155–162.
- Balkovič J., Rampašeková Z., Hutár V., Sobocká J., Skalský R. (2013). Digital soil mapping from conventional field soil observations. *Soil & Water Res.*, vol. 8: 13–25.
- Battison, L.A., Miller, M.H., Shelton, I.J. (1987). Soil erosion and corn yield in Ontario. Field evaluation. *Canadian Journal of Soil Science*, 67, 731–745.
- Bedrna, Z. (1969). Druhy a formy skupín pôd pri pôdnom mapovaní. *Geografický časopis*, roč. XXI, č. 3. S. 193–203.
- Čurlík, J., Šurina, B. (1998). *Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd*. Bratislava (VÚPÚ).
- Gallay, I. (2002). Príspevok k poznaniu katén na Poľane. *Pôda - jedna zo základných zložiek životného prostredia*. Bratislava (VÚPOP), pp. 149–153.
- Fenton, T.E., Kazemi, M., Lauterbach-Barrett, M.A. (2005). Erosional impact of organic matter content and productivity of selected Iowa soils. *Soil & Tillage Research*, 81, 163–171.
- Florinsky, I.V., Eilers, R.G., Manning, G. R., Fuller, L.G. (2002). Prediction of soil properties by digital terrain modelling. *Environmental Modelling & Software*, 17, 295–311.
- Fulajtár, E., Janský, L. (2001). *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*. Bratislava.
- Govers, G., Vandaele, K., Desmet, P., Poesen, J., Bunte, K. (1994). The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science*. 45, 469–478.
- Govers, G., Quine, T.A., Desmet, P.J.J., Walling, D.E. (1996). The relative contribution of soil tillage and overland flow erosion to soil redistribution on agricultural land. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 929–946.
- Gregorich, E.G., Anderson, D.W. (1985). Effects of cultivation and erosion on soils of four toposequences in the Canadian prairies. *Geoderma*, 3, 343–354.
- Gregorich, E.G., Greer, K.J., Anderson, D.W., Liang, B.C. (1998). Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil & Tillage Research*, 47, 291–302.
- Heckrath, G., Djurhuus, J., Quine, T.A., Van Oost, K., Govers, G., Zhang, Y. (2005). Tillage erosion and its effect on soil properties and crop yield in Denmark. *Journal of Environmental Quality*, 34, 312–324.

- Jenčo, M. (1992). Morfometrická analýza georeliéfu z hľadiska teoretickej koncepcie Komplexného digitálneho modelu reliéfu ako integrálna súčasť GIS. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, 33, 133-154.
- Kosmas, C., Gerontidis, S., Marathanou, M., Detsis, B., Zafirou, T., Van Muysen, W., Govers, G., Quine, T., Van Oost, K. (2001). The effects of tillage displaced soil on soil properties and wheat biomass. *Soil & Tillage Research*, 58, 31-44.
- Krcho, J. (1990). *Morfometrická analýza a digitálne modely georeliéfu*. Bratislava.
- Lindstrom, M.J., Nelson, W.W., Schumacher, T.E. (1992). Quantifying tillage erosion rates due to moldboard plowing. *Soil & Tillage Research*, 24, 243-255.
- Midriak, R. (2004). Od erózneho ohrozenia až po spustnuté pôdy Slovenska. *Tretie pôdozvedecké dni v SR*. Bratislava (VÚPOP), pp. 193-200.
- Midriak, R. (2007). Eróziou spustnuté pôdy v systéme deštruovaných pôd v krajine Slovenska. *Súčasný stav a najbližší vývoj pôdneho fondu na Slovensku*. Zvolen (NLC), pp. 55-50.
- Minár, J. (1995). Niektoré teoreticko-metodologické problémy geomorfológie vo väzbe na tvorbu komplexných geomorfologických máp. *Acta Facultatis rerum naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, 36, 7-125.
- Minár, J., Evans, I.S. (2008). Elementary forms for land surfaces segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology*, 95, 236-259.
- Mueller, T.G., Pierce, F.J. (2003). Soil carbon maps: Enhancing spatial estimates with simple terrain attributes at multiple scales. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 258-267.
- Němeček, J. ed. (1966). *Prieskum poľnohospodárskych pôd ČSSR*. Bratislava (VÚPÚ).
- Papiernik, S.K., Lindstrom, M.J., Schumacher, J.A., Farenhorst, A., Stephans, K.D., Schumacher, T.E., Lobb, D.A. (2005). Variation in soil properties and crop yield across an eroded prairie landscape. *Journal of Soil and Water Conservation*, 60, 388-395.
- Papiernik, S.K., Lindstrom, M.J., Schumacher, T.E., Schumacher, J.A., Malo, D.D., Lobb, D.A. (2007). Characterization of soil profiles in a landscape affected by long-term tillage. *Soil & Tillage Res.*, 93, 335-345.
- Pennock, D.J., Corre, M.D. (2001). Development and application of landform segmentation procedures. *Soil & Tillage Research*, 58, 151-162.
- Petrikovičová, L., Rampáškova, Z., Sobocká, J. (2020). A Detailed Identification of Erosionally Endangered Agricultural Land in Slovakia (Case Study of Nitra Upland). *Sustainability*, 12(12), 4863. <https://doi.org/10.3390/su12124863>.
- Saksa, M. (2008). Geoeologický informačný systém ako nástroj hodnotenia hrozby výmolinej erózie. *Acta geographica universitatis comenianae*, 51, 121-137.
- Sobocká, J., Jambor, P. (1998). Diagnostics and location of erodible soils and anti-erosion proposals on example of SE – Danubian lowland part. *Landscape and Urban planning*, 4, 327-330.
- Sobocká, J. (2003). Water erosion processes identification in soil profile. In: Jambor, P., Nestroy O. (eds). *Aspects of the Erosion by Water in Austria, Hungary and Slovakia*. SSCRI, SPS, p. 119-135. ISBN 80-89128-01-7.
- Societas pedologica slovacica. (2014). *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Druhé upravené vydanie, (Morphogenetic classification system of soils of Slovakia. Basal reference taxonomy. Second revised edition). Bratislava, NPPC-VÚPOP, 96p. ISBN 978-80-8163-005-7.
- Stallard, R.F. (1998). Terrestrial sedimentation and carbon cycle: coupling weathering and erosion to carbon burial. *Global Biogeochemical Cycles*, 12, 231-257.
- Stankoviansky, M. (1997). Geomorfologický efekt extrémnych zrážok (Príkladová štúdia). *Geografický časopis*, 49, 187-204.
- Van Oost, K., Govers, G., Van Muysen, W. (2003). A process-based conversion model for Caesium-137 derived erosion rates on agricultural land: an integrated spatial approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, 187-207.
- Zádorová, T., Brodský, L., Rohošková, M. (2009). Soil-terrain modelling and erosion analysis at field scale level, a case study. *Soil & Water Res.* 4(2):84-90. doi: 10.17221/45/2008-SWR.
- Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z.z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov
- Zachar, D. (1960). *Erózia pôdy*. Bratislava
- Zachar, D. (1970). *Erózia pôdy*. Bratislava

Kontaktné adresy autorov:

- Doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc., Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy NPPC, Trenčianska 55, 821 09 Bratislava, jaroslava.sobocka@nppc.sk
- RNDr. Juraj Balkovič, PhD., International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg (AT), balkovic@iiasa.ac.at
- Mgr. Vladimír Hutár, PhD., Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy NPPC, Trenčianska 55, 821 09 Bratislava, vladimir.hutar@nppc.sk

ZHODNOTENIE FYZIKÁLNEHO STAVU FLUVIZEMÍ A JEHO VÝVOJA NA ZÁKLADE MONITORINGU PÔD SR

ASSESSING PHYSICAL STATE OF FLUVISOLS AND ITS DEVELOPMENT BASED ON SLOVAK SOIL MONITORING

Miloš Širáň

Abstract: The data on soil physical conditions of Fluvisols (49 sites) were collected during the Soil Monitoring of Slovakia running since 1993 (5-year sampling cycles). The result shows that physical conditions of Fluvisols are determined to large extent by soil texture. The soil compaction assessed according to the mean bulk density is below the limit for topsoil of all soil texture classes, while subsoil is compacted in loamy and clayey (5 sampling cycles) Fluvisols. The development trend of Fluvisols shows a slight deterioration of the physical conditions in the last sampling cycle as compared to the previous cycle. From the perspective of the entire monitoring period the monitored Fluvisols show a predominantly negative trend of physical properties development.

Keywords: soil monitoring, Fluvisols, soil physical properties, bulk density, soil compaction

Úvod

Dosahovanie ekonomicky rentabilných úrod poľnohospodárskych plodín je neraz podmienené fyzikálnym stavom pôdy. Tento stav je však v značnej miere narušovaný dvomi degradačnými javmi – zhutňovaním pôdy a eróziou. V súčasnej dobe si zhutňovanie pôdy vyžaduje viac pozornosti v dôsledku značnej intenzifikácie poľnohospodárskej výroby (Eckelmann *et al.* 2006). Výkonná mechanizácia je síce neraz nevyhnutnosťou, no s výkonom rastie aj hmotnosť strojov a s ňou tlak na pôdu. Dochádza k tesnému uloženiu agregátov (štruktúrne zhutnenie) alebo až k ich deštrukcii (textúrne zhutnenie) a tým zníženiu celkovej pórovitosti, hlavne makropórov (Demo *et al.* 1995, Fulajtár, 2006). V takomto prípade pomôže len citlivý prístup k pôde. Dobrý hospodár by mal poznať slabiny svojej pôdy, ale i negatívne dôsledky tlaku poľnohospodárskej techniky a zameriavať sa predovšetkým na prevenciu, keď dbá na zvyšovanie odolnosti pôdy voči utláčaniu a chráni ju pred každým zbytočným prejazdom ťažkej mechanizácie (Kobza *et al.* 2005). V prospech znižovania kompaktácie môže na niektorých pôdach prispieť v súčasnosti rozšírené uplatňovanie minimalizácie obrábania pôdy ako prostriedku na znižovanie prejazdov ako aj nákladov a teda zvyšovania rentability výroby. Dôsledky zhutňovania pôdy môžu byť veľké. Nemusi dôjsť len k obmedzeniu priestoru, odkiaľ rastlina čerpá živiny, ale navyše neraz i k následnej viac, či menej rozsiahlej erózii pôdy, k odnosu ornice, čo je prirodzene nevratný proces. Reakcia pôd na spôsob využívania nie je rovnaká a závisí od ich vlastností, hlavne zrnitostného (pôdny druh), príp. mineralogického zloženia, obsahu humusu, stability pôdnej štruktúry a sekvencie pôdných horizontov (pôdny typ). Fluvizeme (12,6%) patria po kambizemiach (28,6%) k najviac rozšíreným poľnohospodárskym pôdam a hlavným pôdnym typom (Bielek 2008).

Materiál a metódy

Monitoringu pôd SR, ktorý funguje nepretržite od roku 1993 v 5-ročných cykloch je zdrojom údajov k vyhodnoteniu fyzikálneho stavu pôd. Jeho úlohou je poskytovať a vyhodnocovať informácie o priestorovej a časovej variabilite pôdných parametrov, ako aj hodnotiť kvalitu pôdy. Monitorovacia sieť bola založená na ekologických princípoch berúc do úvahy využitie pôdy, klimatické oblasti, hlavné pôdne typy a subtypy, rôzne pôdotvorné substráty, obsah organickej hmoty v pôde, regióny s problémom emisií, znečistené a neznečistené regióny. Pre

tento proces monitorovania sa každých päť rokov sledujú vlastnosti pôdy na poľnohospodárskych pôdach na 312 lokalitách, z toho fluvizeme na 49 lokalitách (Kobza *et al.* 2024). Neporušené pôdne vzorky pre účely stanovenia fyzikálnych vlastností fluvizemí boli v rámci odberových cyklov (Obr. 1-7) odobraté z ornice (10-20 cm) a podornice (30-40 cm) do oceľových Kopeckého valčekov o objeme 100 cm³, nakoľko to dovolili pôdne podmienky (hlbka pôdy, nástup pevnej horniny, obsah pôdneho skeletu) a boli stanovené základné fyzikálne a hydrofyzikálne charakteristiky (Hrivňáková *et al.* 2011, ISO 11272: 2017). Zhodnotenie fyzikálnych vlastností sledovaných pôd bolo urobené vo vzťahu k limitom zhutnenia pôdy pre jednotlivé pôdne druhy v zmysle vyhlášky 59/2013 (Tab.1), ktoré boli stanovené na základe požiadaviek poľnohospodárskych plodín.

Tab. 1. Limity zhutnenia pôdy pre jednotlivé pôdne druhy v zmysle vyhlášky 59/2013.

Pôdna vlastnosť	Pôdny druh ¹					
	IL	IH+ IV	H	PH	HP	P
Objemová hmotnosť ρ_d (g.cm ⁻³)	>1,35	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70
Pórovitosť P_c (obj. %)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Minimálna vzdušná kapacita V_{zK} (obj. %)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Maximálna kapilárna kapacita MKK (obj. %)	>35	>35	>35	-	-	-

¹Pôdny druh: IL - íl, IV – ílovitá, IH – ílovito-hlinitá, H – hlinitá, PH – piesočnato-hlinitá, HP – hlinito-piesočnatá, P – piesočnatá

Výsledky a diskusia

Fluvizeme patria do skupiny iniciálnych pôd s procesom slabej tvorby a akumulácie humusu v dôsledku rušenia záplavami a aluviálnou akumuláciou, so zvýšenou alebo periodicky zvýšenou hladinou podzemných vôd, ktorá ovplyvňuje vlhkosť pôdneho profilu a procesy ulíhania. Vyvinuli sa na alúviách vodných tokov a náplavových kužeľoch na celom území SR, na mladých silikátových a karbonátových sedimentoch rôznej zrnitosti (hlinito-piesočnaté až ílovité pôdne druhy), v rôznych klimatických oblastiach a nadmorských výškach (azonálne pôdy).

Základné delenie hodnotenia fyzikálneho stavu pôd je rozdelené podľa pôdnych druhov (Tab. 2 a Obr. 1-7), nakoľko zrnitosť pôdy výrazne vplyva na jej ostatné fyzikálne vlastnosti, vrátane hlavného indikátora kompaktie pôd objemovej hmotnosti pôdy a na jej základe sú postavené aj limity zhutnenia (Tab. 1). V Tab. 2 sú základné štatistiky sledovaných fyzikálnych charakteristík rámci jednotlivých pôdnych druhov podľa údajov posledného odberového cyklu. Na Obr. 1 až 7 je zobrazený ich vývoj podľa jednotlivých pôdnych druhov počas 30-ročného monitorovacieho obdobia (1993-2023) vo vzťahu k limitom zhutnenia.

Hlinito-piesočnaté fluvizeme

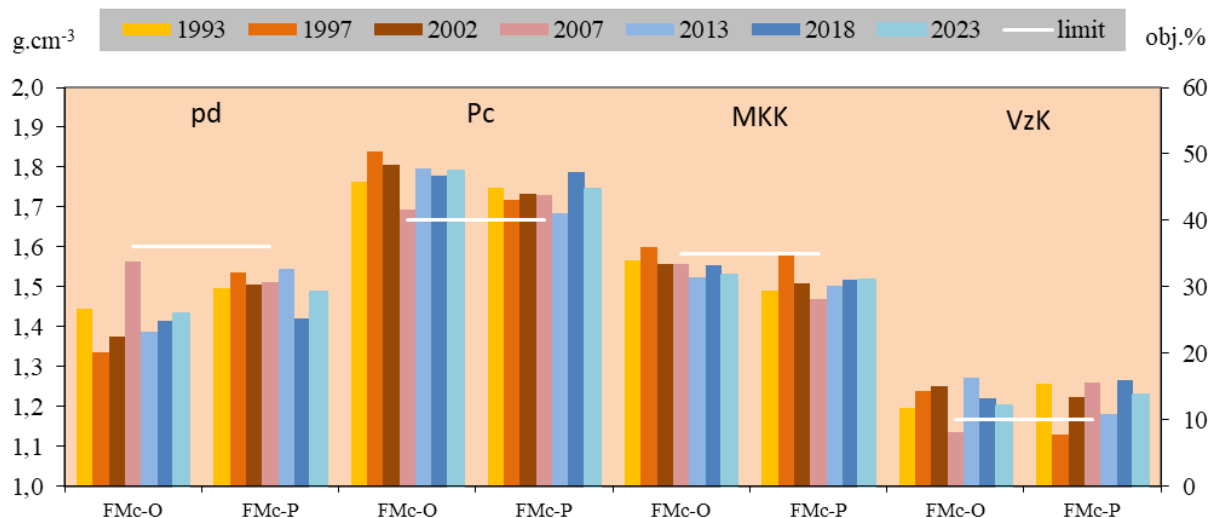
Ľahké, hlinito-piesočnaté fluvizeme sú z hľadiska kompaktie v ornici aj podornici mimo kritického intervalu počas celého monitorovacieho obdobia, keďže maximálne hodnoty objemovej hmotnosti a ďalších charakteristík neprekračujú kritické hodnoty (Tab. 2, Obr. 1). Celkovo možno konštatovať mierne negatívny trend vývoja fyzikálnych vlastností pôd. K zlepšeniu fyzikálneho stavu došlo v podornici v posledných dvoch odberových cykloch. Vyznačujú sa dostatočnou celkovou a vyššou nekapilárnou pórovitosťou, prevzdušnosťou a nižšou maximálnou kapilárnou vodnou kapacitou.

Tab. 2. Základné fyzikálne a hydrofyzikálne charakteristiky fluvizemí v 7. odberovom cykle (rok 2023) podľa pôdných druhov (nadlimitné hodnoty zvýraznené hrubým písmom)

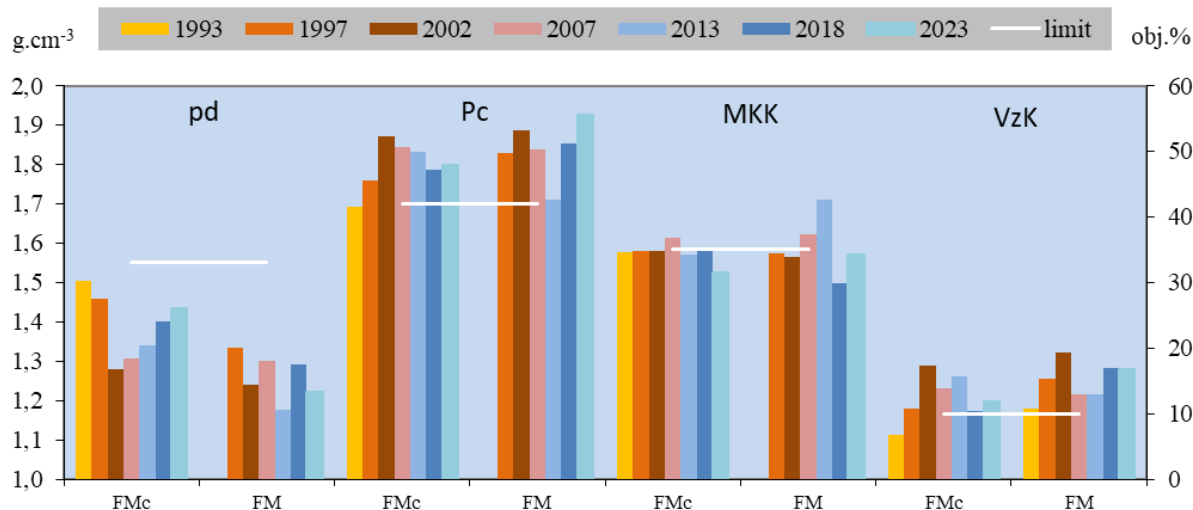
Pôdny typ	Hĺbka pôdy	Štatistická veličina	p_d	P_C	P_N	MKK	VzK
			g.cm ⁻³	objemové %			
FM ^c na karbonátových fluviálnych sedimentoch <i>hlinito-piesočnaté</i>	0,10-0,20 m	x	1,434	47,5	8,1	31,8	12,2
		x _{min}	1,385	45,1	6,3	28,7	8,7
		x _{max}	1,507	49,2	11,2	35,4	18,1
	0,30-0,40 m	x	1,487	44,8	11,0	31,0	13,8
		x _{min}	1,455	43,5	8,3	26,4	11,2
		x _{max}	1,512	46,9	15,9	34,3	17,9
FM ^c na karbonátových fluviálnych sedimentoch <i>piesočnato-hlinité</i>	0,10-0,20 m	x	1,436	47,9	9,7	31,5	11,8
		x _{min}	1,320	44,2	7,1	28,0	9,3
		x _{max}	1,538	52,9	12,3	37,4	15,3
	0,30-0,40 m	x	1,529	44,1	9,4	30,2	11,6
		x _{min}	1,444	40,8	5,9	27,6	7,4
		x _{max}	1,605	47,4	12,2	33,6	14,0
FM na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch <i>piesočnato-hlinité</i>	0,10-0,20 m	x	1,221	55,6	14,3	34,2	16,7
		x _{min}	0,991	47,2	11,0	26,7	14,2
		x _{max}	1,387	66,2	16,7	40,2	19,8
	0,30-0,40 m	x	1,353	50,0	12,2	34,1	14,2
		x _{min}	1,234	45,9	6,7	23,8	8,2
		x _{max}	1,483	56,3	16,0	40,5	19,8
FM ^c na karbonátových fluviálnych sedimentoch <i>hlinité</i>	0,10-0,20 m	x	1,391	48,6	12,7	31,0	14,8
		x _{min}	1,218	46,0	9,0	25,2	10,0
		x _{max}	1,494	57,0	16,5	36,0	19,3
	0,30-0,40 m	x	1,473	45,4	9,7	32,8	11,3
		x _{min}	1,376	42,1	4,8	27,4	6,7
		x _{max}	1,591	48,7	16,2	40,5	18,3
FM na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch <i>hlinité</i>	0,10-0,20 m	x	1,460	45,9	10,8	30,5	11,7
		x _{min}	1,340	38,5	7,4	25,5	8,2
		x _{max}	1,611	49,8	15,2	36,1	16,2
	0,30-0,40 m	x	1,567	42,7	9,5	28,1	10,3
		x _{min}	1,384	38,9	5,5	23,6	6,4
		x _{max}	1,649	52,8	13,2	33,1	14,0
FM ^c na karbonátových fluviálnych sedimentoch <i>ílovito-hlinité</i>	0,10-0,20 m	x	1,398	48,4	9,5	35,9	10,7
		x _{min}	1,317	43,3	7,5	27,0	8,1
		x _{max}	1,565	52,7	13,2	41,0	15,3
	0,30-0,40 m	x	1,450	47,4	7,1	36,1	7,8
		x _{min}	1,402	44,5	3,7	29,3	4,5
		x _{max}	1,531	49,4	11,9	41,6	12,9
FM na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch <i>ílovito-hlinité</i>	0,10-0,20 m	x	1,404	48,4	14,5	27,8	15,5
		x _{min}	1,249	37,5	8,2	22,2	9,0
		x _{max}	1,569	55,0	21,2	35,4	22,1
	0,30-0,40 m	x	1,458	47,4	12,5	27,5	13,2
		x _{min}	1,318	40,2	7,5	19,5	8,2
		x _{max}	1,654	52,5	17,9	33,5	18,3

Vysvetlivky: FM – fluvizem, p_d – objemová hmotnosť, MKK – maximálna kapilárna kapacita, P – pórovitosť nekapilárna (N), celková (C), VzK – minimálna vzdušná kapacita, x – aritmetický. priemer, x_{min} (max) – minimum (maximum)

Obr. 1. Trend vývoja základných fyzikálnych vlastností ornice (0,10-0,20 m) a podornice (0,30-0,40 m) hlinito-piesočnatých pôd podľa pôdnych typov a odberových cyklov



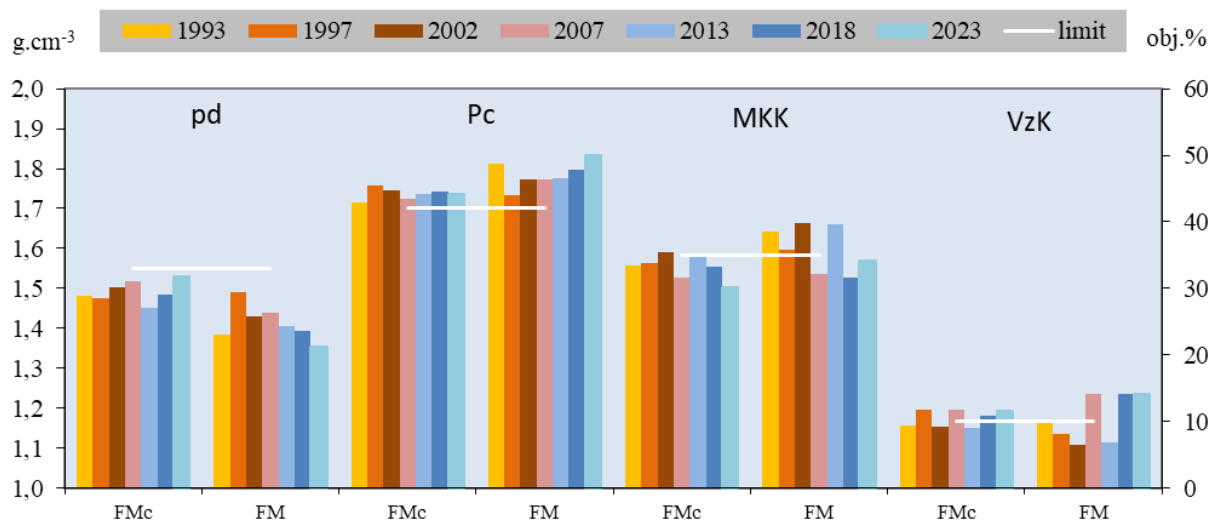
Obr. 2. Trend vývoja základných fyzikálnych vlastností ornice (0,10-0,20 m) piesočnato-hlinitých pôd podľa pôdnych typov a odberových cyklov



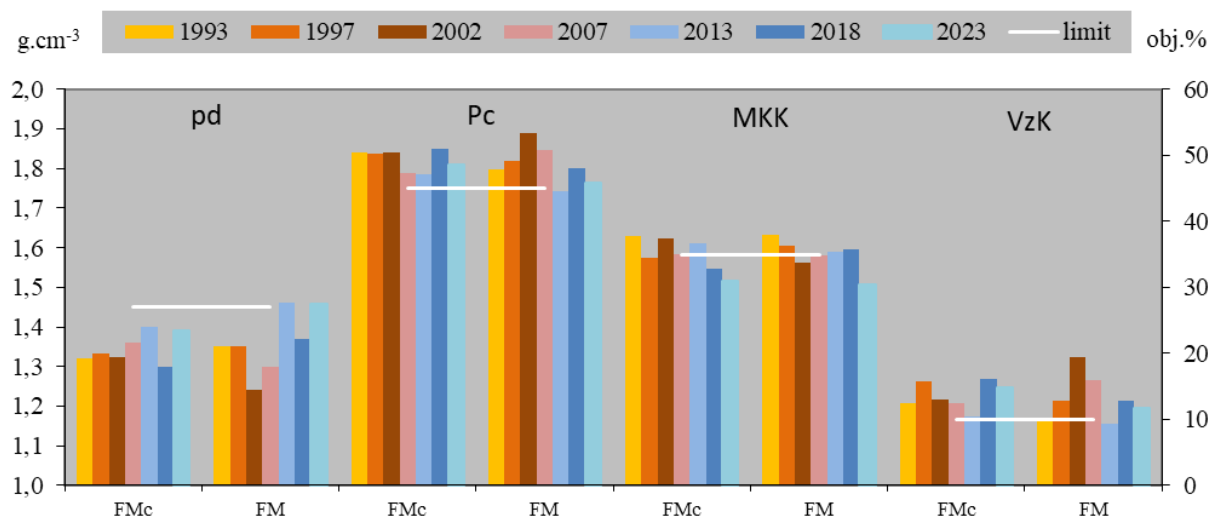
Piesočnato-hlinité fluvizeme

Ornice piesočnato-hlinitých fluvizemí neboli zhutnené ani v prípade krajných hodnôt (Tab. 2). V podornici bol stav mierne zhoršený, keď extrémne hodnoty (maximá objemovej hmotnosti, príp. minimá celkovej pórovitosti a minimá vzdušnej kapacity) sledovaných parametrov boli za hranicou limitov zhutnenia. Niektoré lokality na každom z hodnotených pôdnych typov sa v hlbších častiach pôdneho profilu vyznačujú nízkou prevzdušnosťou pravdepodobne v dôsledku vyššej pôdnej vlhkosti (vyššia hladina podzemnej vody), pri ktorej podliehajú intenzívnejšiemu ulhňaniu, príp. zhutňovaniu pôdy po prejazdoch poľnohospodárskych strojov. Celkový trend vývoja je mierne negatívny od tretieho cyklu pri FM^c, kým pri FM nepatrne pozitívny (nevýrazný a značne kolísavý).

Obr. 3. Trend vývoja základných fyzikálnych vlastností podornice (0,30-0,40 m) piesočnato-hlinitých pôd. podľa pôdných typov a odberových cyklov



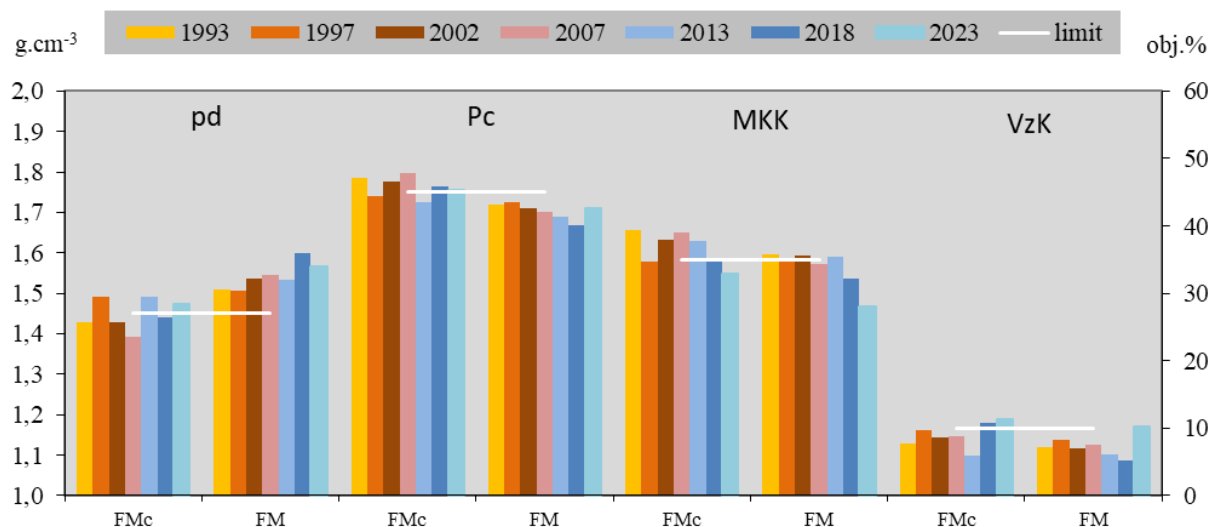
Obr. 4. Trend vývoja základných fyzikálnych vlastností ornice (0,10-0,20 m) hlinitých pôd podľa pôdných typov a odberových cyklov



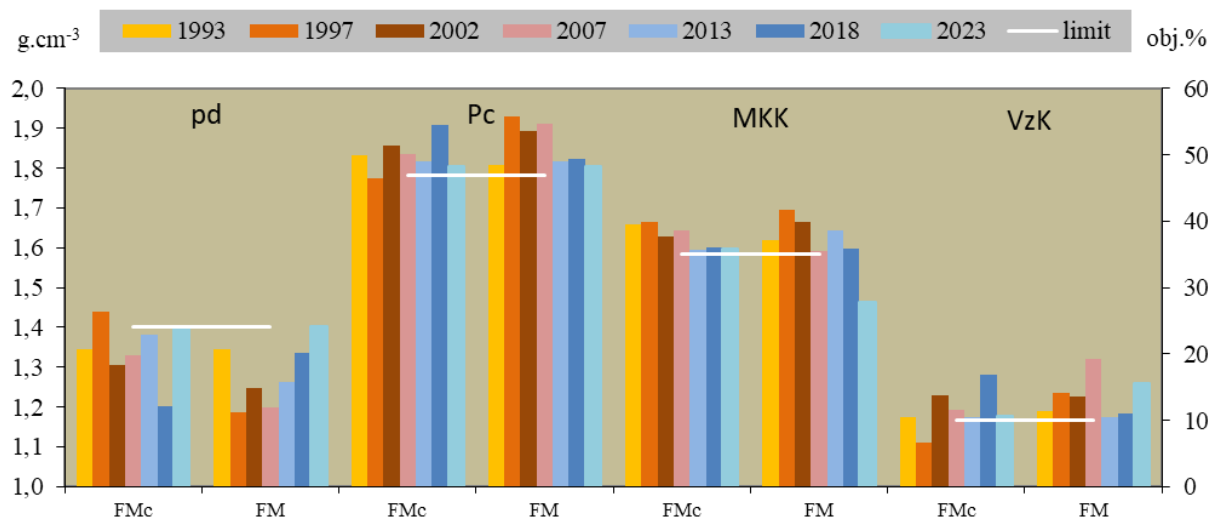
Hlinité fluvizeme

Ornice hlinitých fluvizemí sú na základe priemerov sledovaných parametrov v dobrom fyzikálnom stave (pri FM podľa objemovej hmotnosti nepatrne nad limitom, ale doplnkové parametre to nepotvrdzujú), no limity sú prekročené krajnými hodnotami. Podornice pri FM sú zhutnené už i podľa priemerných hodnôt pôdných parametrov s tým, že i hodnoty pri FM^c sú blízko hranice zhutnenia (opäť bez potvrdenia zhutnenia doplnkovými parametrami). Fyzikálny stav orníc má mierne negatívny trend vývoja so zhoršením v poslednom cykle oproti minulému. Podornice sú podľa priemerov vo všetkých siedmich cykloch zhutnené pri FM, kým v troch pri FM^c. K miernemu zhoršeniu fyzikálnych charakteristík v poslednom odberovom cykle oproti predchádzajúcemu došlo pri FM^c. Negatívny trend vývoja možno pozorovať pri FM (výrazný a vyrovnaný) príp. pri FMc (výraznejší od 3. cyklu s rozkolísaným priebehom).

Obr. 5. Trend vývoja základných fyzikálnych vlastností podornice (0,30-0,40 m) hlinitých pôd podľa pôdnych typov a odberových cyklov



Obr. 6. Trend vývoja základných fyzikálnych vlastností ornice (0,10-0,20 m) ílovito-hlinitých a ílovitých pôd podľa pôdnych typov a odberových cyklov

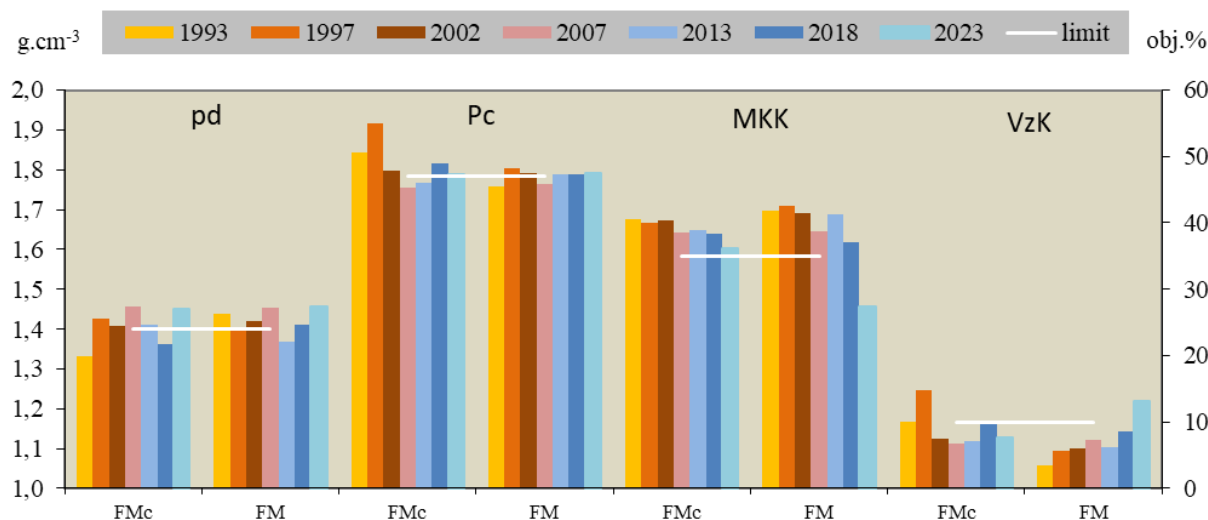


Ílovito-hlinité a ílovité fluvizeme

Ornice zrnitostne ťažkých, ílovito-hlinitých až ílovitých fluvizemí v priemere nie sú zhutnené, limity však presahujú svojimi krajnými hodnotami sledovaných parametrov. Opačný stav je v podorniciach, ktoré sú už strednými hodnotami v kritickom intervale. Je zaznamenané pri FMc a FM. Celkovo pozorujeme zhoršenie fyzikálneho stavu v poslednom odberovom cykle oproti predchádzajúcemu a výraznejší negatívny trend vývoja fyzikálnych vlastností od druhého cyklu len v ornici FM.

Z doterajšieho hodnotenia kompaktie pôd SR je zjavné, že je tu potrebné brať do úvahy pôsobenie viacerých pôdnych charakteristík ako sú najmä zrnitosť, ale i obsah organickej hmoty, príp. obsah karbonátov. Dané výsledky potvrdzujú doterajšie poznatky v tejto oblasti výskumu (Lhotský, 2000, Širáň, 2004, 2005, Heuscher *et al.*, 2005, Eckelman *et al.*, 2006, Širáň *et al.*, 2016, Shiri *et al.*, 2017) a sú využívané pri ďalších hodnoteniach a mapovaní kompaktie pôd (Zrubec, 1998, Kobza *et al.*, 2017a-b, 2024, Makovníková *et al.*, Pálka a Širáň, 2005, 2007, Širáň, 2010, Makovníková *et al.*, 2017).

Obr. 7. Trend vývoja základných fyzikálnych vlastností podornice (0,30-0,40 m) ílovito-hlinitých a ílovitých pôd podľa pôdných typov a odberových cyklov



Záver

Fyzikálny stav fluvizemí v zmysle limitov zhutnenia sa zhoršoval v smere od zrnitostne ľahších k ťažším pôdam, keď pri hlinito-piesočnatých sú hodnoty meraných parametrov pod limitom, podornice piesčito-hlinitých ho už mierne prekračujú krajnými hodnotami (mimo FM), rovnako ako ornice hlinitých až ílovitých fluvizemí. Podornice hlinitých až ílovitých fluvizemí sú už zhutnené aj podľa priemerných hodnôt. Kompakcia zasahuje hlavne podornice sledovaných pôd.

V prípade vývoja kompaktie na sledovaných pôdných typoch došlo prevažne k miernemu zhoršeniu fyzikálneho stavu v poslednom odberovom cykle v porovnaní s predchádzajúcim cyklom (mimo piesočnato-hlinitých FM, hlinitých FM v podornici). Z hľadiska celého monitorovacieho obdobia bol zaznamenaný prevažne negatívny trend v rámci sledovaných fluvizemí (mimo piesočnato-hlinitých FM, príp. podornice zrnitostne ľahkých FM^c).

PodĎakovanie

Príspevok bol napísaný s podporou úlohy Monitoring pôd SR – Tvorba a hodnotenie poznatkov o aktuálnom stave a vývoji pôdneho pokryvu v podmienkach klimatickej zmeny.

Literatúra

- Demo, M., Kollár, B., Hraško, J. (1995). *Obrábanie pôdy*. Nitra: VŠP, 315 p. ISBN 80-7137-255-2
- Eckelmann, W., Baritz, R., Bialousz, S., Bielek, P., Carré, F., Houšková, B., Jones, R.J.A., Kibblewhite, M., Kozak, J., Le Bas, C., Tóth, G., Tóth, T., Várallyay, G., Halla, M.Y., Zupan, M. (2006). *Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats: European Soil Bureau Research Report No.20*, EUR 22185 EN, 2006. 94 p. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Fulajtár, E. (2006). *Fyzikálne vlastnosti pôdy*. Bratislava: VÚPOP, 142 p. ISBN 80-89128-20-3.
- Heuscher, A.S., Brandt, C.C., Jardine, M.P. (2005). Using Soil Physical and Chemical Properties to Estimate Bulk Density Data. In *Soil Sci. Soc. of America Journal* 69, 2005. p. 51–56.
- Hrivňáková, K., Makovníková, J., Barančíková, G., Bezák, P., Bezáková, Z., Dodok, R., Chlpík, J., Kobza, J., Lištjak, M., Mališ, J., Píš, V., Schlosserová, J., Slávik, V., Styk, J., Širáň, M. 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. Bratislava: VÚPOP, 145 p. ISBN 978-80-89128-89-1.
- ISO 11272: 2017. *Soil quality-Determination of dry bulk density*.
- Kobza, J., Barančíková, G., Makovníková, J., Styk, J., Širáň, M., Vojtáš, J. (2005). *Návrh regulačných pôdochranných opatrení z výsledkov Monitoringu pôd SR*. Bratislava: VÚPOP, 2005, 24 p.
- Kobza, J., Barančíková, G., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. (2017a). Current State and Development of Land Degradation Processes Based on Soil Monitoring in Slovakia. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 63(2): 74–85. DOI: <https://doi.org/10.1515/agri-2017-0007>.

- Kobza, J., Barančíková, G., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. (2017b). *Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu poľnohospodárskych pôd senzitívneho územia Bratislava a okolie s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení*. Bratislava: NPPC-VÚPOP, 2017, 69 p. ISBN 978-80-8163-024-8.
- Kobza, J., Barančíková, G., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M., Dodok, R. (2024). *Monitoring pôd SR. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu*. Výsledky Čiastkového monitorovacieho systému – Pôda za obdobie rokov 2018 - 2022 (6. cyklus), 253 s., Bratislava: NPPC – VÚPOP. ISBN 978-80-8163-050-7.
- Lhotský, J. (2000). Zhutňovanie pôd a opatrení proti němu. *Rostlinná výroba*, 7, ÚZPI Praha, 44 p.
- Makovníková, J., Pálka, B., Širáň, M. (2005). Modelovanie objemovej hmotnosti s využitím údajov z databáz KPP a ČMS-P, potenciálne zhutnenie a acidifikácia v záujmovom území. *Štvrté pôdoznalecké dni v SR*, zborník referátov z vedeckej konferencie pôdoznalcov SR [CD ROM]. Čingov, VÚPOP – SPS Bratislava, 220–225.
- Makovníková, J., Širáň, M., Pálka, B. (2007). Statický model objemovej hmotnosti pôdy a jeho aplikácia v záujmovom území Banská Bystrica. *Agrochémia*, vol. 47(2): 18–21.
- Makovníková, J., Širáň, M., Houšková, B., Pálka, B., Jones, A. (2017). Comparison of different models for predicting soil bulk density. Case study – Slovakian agricultural soils. *International Agrophysics*, 2017, vol. 31: 491–498. DOI: <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0079>.
- Shiri, J., Keshavarzi, A., Kisi, O., Karimi, S., Iturraran-Viveros, U. (2017). Modelling soil bulk density through a complete data scanning procedure: Heuristic alternatives. *Journal of Hydrology*, vol. 549: 592–602.
- Širáň, M. (2004). Zhutnenie pôdy a jeho vývoj, *Tretie pôdoznalecké dni na Slovensku* 22.-24. jún 2004, Mojmirovce, Zborník referátov, VÚPOP – SPS Bratislava, 317–322.
- Širáň, M. (2005). Spatial variability of some physical properties on arable soils of different texture with regard to soil compaction. *Vedecké práce č. 27*, VÚPOP Bratislava, 139-146.
- Širáň, M. (2010). Aktuálny stav objemovej hmotnosti pôd na základe údajov monitoringu pôd SR. *Vedecké práce č. 32*, VÚPOP Bratislava, 84–87, ISBN 978-80-89128-59-4.
- Širáň, M., Makovníková, J., Kobza, J. (2016). Možnosti hodnotenia kompaktie pôdy vo vzťahu ku zásobovacej agroekosystémovej službe. *Agrochémia*, vol. XX(56), 2, 38–42, ISSN 1335-2415.
- Vyhláška č. 59/2013 Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky.
- Zrubec, F. (1998). Metodika zúrodnenia zhutnených pôd. Bratislava: VÚPOP, 40 p.

Kontaktná adresa

Ing. Miloš Širáň, PhD. Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, email: milos.siran@nppc.sk

MOŽNÉ DOPADY ZMENY KLÍMY NA ÚRODY PLODÍN NA ČERNOZEMIACH PODUNAJSKEJ NÍŽINY

POSSIBLE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON CROP YIELDS ON CHERNOZEMS IN THE DANUBIAN LOWLAND

Jozef Takáč

Abstract: The assessment of the effects of climate change on crop yields was based on numerical simulations using the DAISY agroecological model. Simulations were performed for emission scenarios RCP 2.6, RCP 4.5 and RCP 8.5 according to the outputs of the climatic scenarios of the MPI model of general atmospheric circulation MPI-M-MPI-ESM-MR. Spring barley, winter wheat, maize, sugar beet and potatoes were the evaluated crops. The results of the simulations showed that the effect of the individual factors considered on yields is interactive. According to all scenarios, the effect of CO₂ in later time horizons is insufficient to compensate for the negative impacts of climatic factors. In the case of cereals, there is no risk of a decrease in the coverage of moisture demand by precipitation according to the scenarios, and it will even improve slightly. For crops grown in summer, there will be a decrease in the coverage of the moisture demand of crops.

Keywords: climate change scenarios, crop yields, water stress, climate water balance

Úvod

Globálne otepľovanie klímy vyvolané antropogénnou emisiou skleníkových plynov je jedným z najvýznamnejších environmentálnych problémov v histórii ľudstva. Poľnohospodárska výroba je závislá na počasi a tak v prípade nepriaznivého vývoja klimatických podmienok môže byť mimoriadne zraniteľná. Zmenou klimatických podmienok sa budú meniť výrobné podmienky, ktoré môžu mať pozitívny alebo negatívny vplyv na poľnohospodársku výrobu. Pozitíva zvýšenej koncentrácie CO₂ v atmosfére môžu byť potlačené, ak sa voda stane limitujúcim faktorom úrody plodín. Očakávané zvýšenie teploty vzduchu spolu so zmenami v rozložení zrážok a zrážkových úhrnov sa odrazí v zmenách jednotlivých prvkov vodnej bilancie. Podľa výpočtov na základe regionálne modifikovaných scenárov zmeny klímy sa budú na celom území Slovenskej republiky zvyšovať ročné úhrny potencionalnej evapotranspirácie (Tomlain, 1997, Šiška & Takáč, 2009).

Podľa scenárov zmeny klímy aplikovaných pre územie Slovenska sa na Podunajskej nížine prehĺbi nedostatok vody v pôde vo vegetačnom období (Takáč 2001). V teplej a suchej Podunajskej nížine bude produkčný potenciál vo zvýšenej miere limitovaný klesajúcou dostupnosťou vody pre plodiny a horúčavami (Eitzinger *et al.* 2013). Zvýšenie extrémnych prejavov počasia (vlny horúčav, sucha) povedie k zvýšenej variabilite úrod. Riziko extrémne nepriaznivých rokov sa pravdepodobne v mnohých európskych regiónoch zvýši (Trnka *et al.* 2011).

Na posúdenie vplyvov zmeny klímy na výnosy plodín a produkčnú účinnosť vody poľných plodín v osevných postupoch v Českej republike bol použitý súbor siedmich rastových modelov. Súbor modelov plodín predpokladal zvýšenie priemernej produkcie v dôsledku zmeny klímy. Všeobecný nárast úrod očakávaný v budúcich podmienkach je spôsobený najmä priamym účinkom vyššieho množstva CO₂ v atmosfére. Ak sa vezme do úvahy len klimatický efekt (bez zvýšenia CO₂), priemerné výnosy v nížinách budú nižšie (Pohanková *et al.* 2022).

Cieľom tohto príspevku je zhodnotiť možné zmeny v rozložení úrod vybraných plodín na Podunajskej nížine v podmienkach zmeny klímy do roku 2100.

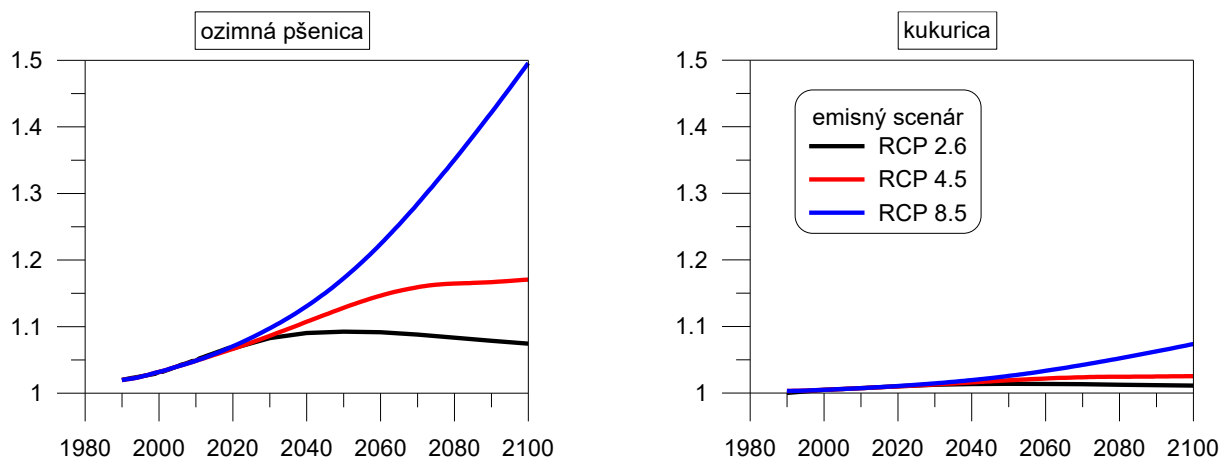
Materiál a metódy

Prakticky jedinou komplexnou možnosťou ako stanoviť reakciu plodín na zmenu klimatických podmienok bez realizácie nákladných pokusov je využitie simulačných modelov. Hodnotenie dôsledkov zmeny klímy na úrody plodín bolo založené na numerických simuláciách agroekologickým modelom DAISY. DAISY je jednorozmerný model agroekosystému, ktorý na základe agrotechnických informácií a údajov o počasí simuluje rast plodiny, vodný režim, tepelný režim, bilanciu organickej hmoty a dynamiku dusíka v poľnohospodárskych pôdach. Model DAISY simuluje tie časti vodného, uhlíkového a dusíkového cyklu, ktoré súvisia s poľnohospodárskymi pôdnymi systémami. V rámci hydrologického cyklu sú modelované procesy akumulácie a topenia snehovej pokrývky, intercepcia, výpar z porastu, infiltrácia, výtopa, povrchový odtok, prúdenie vody v pôdnej matici, prúdenie v makropóroch a trubková drenáž. Model simuluje teplotu pôdy, zamrzanie a rozmrzanie pôdy. V rámci režimu roztokov model simuluje transportné, sorpčné a transformačné procesy. Zvláštny dôraz je kladený na režim dusíka v agroekosystémoch. Simulované sú procesy mineralizácie, imobilizácie, nitrifikácie, denitrifikácie, sorpcie NH_4 , odberu NO_3 a NH_4 a priesaku NO_3 a NH_4 . Tiež sú modelované procesy degradácie, sorpcie, odberu a transportu agrochemikálií ako sú pesticídy. Plodinový model je najkomplexnejšou časťou modelu DAISY. Hlavné procesy rastu rastliny, ktoré model simuluje, sú fotosyntéza, respirácia, akumulácia sušiny a dusíka v rôznych častiach rastliny, odumieranie listov a koreňov, stresové faktory a štruktúra porastu. Fotosyntéza je počítaná ako funkcia LAI, globálneho žiarenia, teploty vzduchu a vodného a dusíkového stresu. Model umožňuje budovanie komplexných scenárov hospodárenia. Podrobný popis modelu, jeho konštrukcia a algoritmy sú uvedené v publikáciách autorov modelu Hansen *et al.* (1990) a Abrahamsen & Hansen (2000). Plodinové parametre modelu DAISY boli pre slovenské podmienky optimalizované a verifikované na základe experimentálnych výsledkov z poľného stacionárneho pokusu na Výskumnej a prevádzkovej stanici Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Moste pri Bratislave v období 1973-2006 (Takáč & Šiška, 2011). Spoľahlivosť modelu bola preukázaná aj vo viacerých porovnávacích štúdiách (Kröbel *et al.*, 2010, Palosuo *et al.*, 2011, Rötter *et al.*, 2012).

Pre posúdenie vplyvov zmeny klímy na úrody plodín boli vykonané numerické simulácie pre emisné scenáre RCP 2.6, RCP 4.5 a RCP 8.5 podľa výstupov klimatických scenárov MPI modelu všeobecnej cirkulácie atmosféry MPI-M-MPI-ESM-MR. Emisný scenár RCP 2.6 je považovaný za striktný, je založený na tvrdom uplatňovaní mitigačných opatrení. Scenár RCP 4.5 je stredný, tzv. prvý stabilizačný scenár. Scenár RCP 8.5 je pesimistický scenár bez implementácie mitigačných opatrení.

V simuláciách bola zohľadnená aj narastajúca koncentrácia CO_2 v atmosfére. Podľa nej boli vypočítané koeficienty využitia žiarenia, resp. odozvy zvýšenej koncentrácie CO_2 na fotosyntézu jednotlivých plodín. Odozva plodín na zvýšenú koncentráciu CO_2 sa u jednotlivých plodín líši v závislosti od typu fotosyntézy (Obr. 1). Efekt koncentrácie CO_2 na fotosyntézu nie je v modeli DAISY priamo zahrnutý. Preto bol tento efekt pre účely nášho hodnotenia zahrnutý do parametrizácie modelu prostredníctvom maximálnej rýchlosti fotosyntézy pri svetelnom nasýtení F_m [$\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$] a počiatkovej účinnosti využitia svetla ϵ [$(\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}) / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$]. Simulácie boli vykonané pre obdobie 2025-2100 s radmi denných hodnôt globálneho žiarenia, priemernej, maximálnej a minimálnej teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu, rýchlosti vetra a atmosférických zrážok z uzlového bodu neďaleko Hurbanova na juhovýchode Podunajskej nížiny. Simulácie boli vykonané na úrovni vodou limitovaných a živinami nestresovaných úrod. Hodnotené plodiny kukurica na zrno, jačmeň jarný, pšenica ozimná, repka olejná, cukrová repa a zemiaky boli usporiadané do osevných postupov. Simulácie boli vykonané pre reprezentatívny pôdny profil černoze. Pôdne horizonty pôdneho profilu boli definované

zrnitostným zložením, parametrami retenčnej čiary, hydraulickou vodivosťou, obsahom humusu, pomerom C:N a ďalšími vlastnosťami.



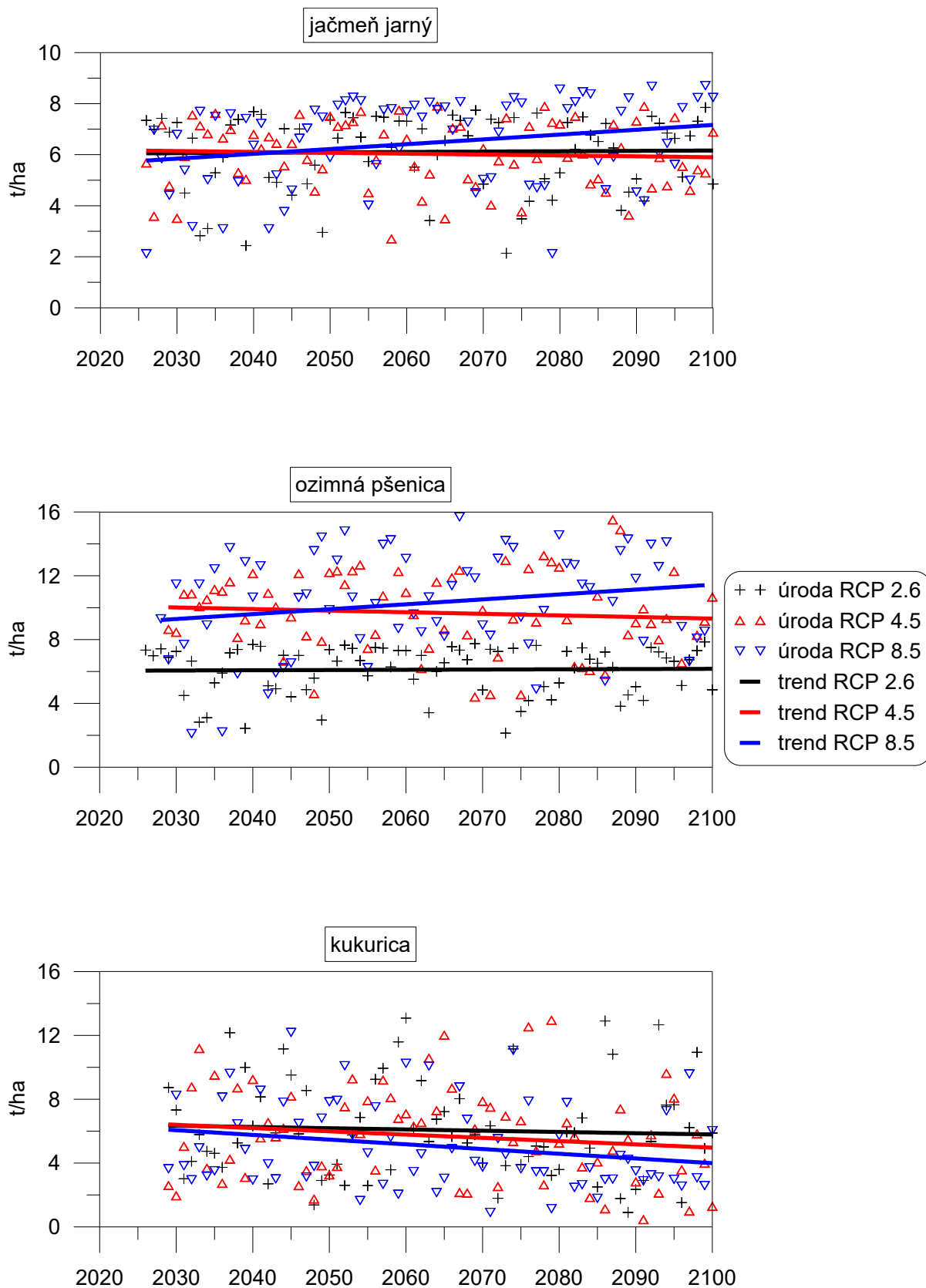
Obr. 1. Zmeny koeficientov využitia žiarenia porastom ozimnej pšenice a kukurice podľa emisných scenárov RCP 2.6, RCP 4.5 a RCP 8.5

Výsledky a diskusia

Výsledky simulácií preukázali, že pôsobenie jednotlivých uvažovaných faktorov na úrody je interaktívne. Podľa všetkých scenárov je účinok zvýšeného obsahu CO₂ na tvorbu biomasy a úrody v neskorších časových horizontoch nepostačujúci na kompenzáciu negatívnych vplyvov ostatných faktorov prostredia, najmä nedostatku vlhky. V prípade obilnín po počiatočnom náraste úrod v porovnaní s referenčným obdobím bol v neskoršom časovom horizonte simulovaný pokles úrod. V prípade plodín pestovaných v letnom období bol podľa všetkých scenárov simulovaný pokles úrod v porovnaní s referenčným obdobím. Pri obilninách, kde je vplyv zvýšenej koncentrácie CO₂ v atmosfére výraznejší (Obr. 1), bol simulovaný trend nárastu úrod podľa scenára RCP 8.5. Pri kukurici na zrno, kde efekt koncentrácie CO₂ na fotosyntézu zo všetkých uvažovaných plodín najnižší, podľa všetkých scenárov úrody klesali (Obr. 2). Rovnako bol simulovaný pokles úrod cukrovej repy a zemiakov.

Tab. 1. Vodou limitovaná hospodárska úroda [sušina t/ha] v referenčnom období a podľa scenárov zmeny klímy

Scenár	Obdobie	Jarný jačmeň	Ozimná pšenica	Kukurica	Cukrová repa	Zemiaky
Referenčné obdobie	1961-1990	5.34	7.80	7.35	8.37	7.48
	1991-2020	4.81	6.82	7.37	8.73	7.99
RCP 2.6	2026-2050	5.83	8.71	5.90	6.81	6.06
	2051-2075	6.42	10.34	6.47	7.82	7.44
	2076-2100	5.99	9.11	5.79	7.85	6.95
RCP 4.5	2026-2050	6.12	10.09	5.54	7.57	6.50
	2051-2075	5.87	9.10	6.69	8.37	7.45
	2076-2100	5.93	9.45	4.71	5.82	5.20
RCP 8.5	2026-2050	5.72	9.53	5.98	7.69	7.33
	2051-2075	7.14	10.50	5.05	7.76	6.90
	2076-2100	6.45	9.16	3.94	6.41	6.35



Obr. 2. Simulované hospodárske úrody jarného jačmeňa, ozimnej pšenice a kukurice na zrno v období 2025-2100 podľa vybraných scenárov

Je zrejmé, že simulovaný pokles úrod bol spôsobený klimatickými faktormi, predovšetkým úhrnom a rozložením zrážok a teplotami. Vysoké teploty ovplyvňujú vodnú bilanciu zvyšovaním výparu a majú aj priamy vplyv na úrody, nakoľko vysoké teploty v čase dozrievania obilnín môžu spôsobiť zahorenie zrna a tým aj zníženie úrod a ich kvality. Podľa použitých scenárov priemerné teploty stúpajú, doterajšie rekordné teploty by však nemali byť prekonané.

Determinujúcimi faktormi vodnej bilancie poľnohospodárskej krajiny sú atmosférické zrážky a evapotranspirácia. Zrážkové úhrny vo všetkých scenároch spočiatku stúpajú, najvyššie sú v období 2051-2075 a potom mierne klesajú. Vyskytujú sa aj extrémne denné úhrny zrážok nad 100 mm. Rekordný denný úhrn zrážok 240 mm predpovedá scenár RCP 2.6 v polovici storočia. Na druhej strane, len v jednom z desiatich dní dosahujú denné úhrny zrážok viac ako 5 mm.

Významnou zložkou vodnej bilancie je evapotranspirácia charakterizujúca tok vody zo zemského povrchu do atmosféry. Vzhľadom na vodnú bilanciu je evapotranspirácia dominujúcou stratovou zložkou. Tvorí ju výpar z pôdy spolu s transpiráciou z plochy pokrytej vegetáciou.

Klimatická vodná bilancia, definovaná ako rozdiel medzi atmosférickými zrážkami a potenciálnou evapotranspiráciou je v nížinných oblastiach Slovenska záporná. K jej zhoršeniu v porovnaní s referenčným obdobím pri jarnom jačmeni príde pri scenári RCP 2.6 na začiatku hodnoteného obdobia, pri scenári RCP 4.5 v druhej polovici hodnoteného obdobia a pri scenári RCP 8.5 na začiatku a na konci hodnoteného obdobia (Tab. 2). Čo sa týka ozimnej pšenice, scenáre predpokladajú zlepšenie klimatickej vodnej bilancie, scenár RCP 8.5 dokonca predpokladá v období 2051-2075 jej kladnú hodnotu. Pri plodinách pestovaných v letnom období sa podľa všetkých scenárov predpokladá zhoršenie klimatickej vodnej bilancie.

Tab. 2. Klimatická vodná bilancia [mm] v období od sejby do zberu plodín

Scenár	Obdobie	Jarný jačmeň	Ozimná pšenica	Kukurica	Cukrová repa	Zemiaky
referenčné obdobie	1961-1990	-202	-86	-288	-320	-297
	1991-2020	-204	-72	-299	-334	-328
RCP 2.6	2026-2050	-219	-67	-467	-494	-489
	2051-2075	-159	-28	-407	-433	-400
	2076-2100	-183	-46	-454	-468	-460
RCP 4.5	2026-2050	-189	-7	-472	-473	-473
	2051-2075	-233	-44	-449	-452	-459
	2076-2100	-219	-54	-495	-525	-514
RCP 8.5	2026-2050	-220	-79	-433	-454	-445
	2051-2075	-161	37	-424	-429	-421
	2076-2100	-220	-6	-548	-585	-571

Atmosférické zrážky pokrývali v referenčnom období s výnimkou ozimnej pšenice len do 50% vlahovej potreby plodín (tab. 3). Vlahová potreba ozimnej pšenice bola v referenčnom období vďaka zimným zrážkam vykrytá na viac ako tri štvrtiny. V prípade obilnín k zníženiu pokrytia vlahovej potreby zrážkami podľa scenárov nehrozí, dokonca sa mierne zlepši, v prípade ozimnej pšenice podľa scenára RCP 8.5 dokonca na viac ako 90%. Pri plodinách pestovaných v lete príde k zníženiu pokrytia vlahovej potreby plodín.

Nedostatočné pokrytie vlahovej potreby plodín zrážkami sa prejavuje zníženými zásobami využiteľnej vody v pôde (Tab. 4). Z hľadiska dopadov na pestované plodiny je rozhodujúce trvanie obdobia s vlhkosťou pôdy v koreňovej zóne pod 50 % využiteľnej vodnej kapacity (VVK) v kritických vývojových fázach pestovaných plodín. V priemere sa pod touto hodnotou z hodnotených plodín vyskytujú len kukurica, cukrová repa a v určitých obdobiach aj zemiaky. V niektorých rokoch však poklesla zásoba využiteľnej vody v pôde aj pod 30%.

Tab. 3. Pokrytie vlhovej potreby plodín atmosférickými zrážkami [%]

Scenár	Obdobie	Jarný jačmeň	Ozimná pšenica	Kukurica	Cukrová repa	Zemiaky
Referenčné obdobie	1961-1990	47	78	47	48	45
	1991-2020	48	77	48	50	48
RCP 2.6	2026-2050	50	79	37	40	38
	2051-2075	60	85	43	45	46
	2076-2100	56	82	39	43	41
RCP 4.5	2026-2050	56	87	37	42	40
	2051-2075	47	82	39	43	40
	2076-2100	50	79	35	39	37
RCP 8.5	2026-2050	50	77	40	44	42
	2051-2075	59	94	42	47	46
	2076-2100	51	90	31	36	35

Tab. 4 Priemerná zásoba využiteľnej vody v pôde [% využiteľnej vodnej kapacity]

Scenár	Obdobie	Jarný jačmeň	Ozimná pšenica	Kukurica	Cukrová repa	Zemiaky
Referenčné obdobie	1961-1990	55.0	50.3	41.4	45.4	57.2
	1991-2020	56.3	52.4	41.6	47.6	59.0
RCP 2.6	2026-2050	58.4	65.7	33.6	44.5	47.9
	2051-2075	64.8	69.0	38.8	49.7	52.5
	2076-2100	57.8	57.8	34.9	46.1	48.0
RCP 4.5	2026-2050	63.6	66.9	36.3	49.2	52.8
	2051-2075	58.2	68.1	33.5	46.5	51.0
	2076-2100	58.1	60.5	33.7	45.8	49.5
RCP 8.5	2026-2050	50.5	57.3	32.3	43.9	45.6
	2051-2075	67.5	77.4	40.0	50.7	55.2
	2076-2100	61.9	69.5	35.2	45.5	51.5

Tab. 5. Vodný stres [počet dní]

Scenár	Obdobie	Jarný jačmeň	Ozimná pšenica	Kukurica	Cukrová repa	Zemiaky
Referenčné obdobie	1961-1990	13	13	29	67	62
	1991-2020	20	16	32	61	57
RCP 2.6	2026-2050	13	13	52	61	60
	2051-2075	12	7	50	61	62
	2076-2100	14	11	46	58	59
RCP 4.5	2026-2050	13	11	56	75	73
	2051-2075	17	14	47	61	58
	2076-2100	6	5	45	64	64
RCP 8.5	2026-2050	13	14	51	72	68
	2051-2075	15	12	50	67	62
	2076-2100	11	11	45	61	57

Nedostatok vody v pôde sa prejaví vodným stresom, ktorý má nepriaznivý vplyv na úrody plodín (Tab. 5). Podľa hodnôt korelačného koeficientu zo simulácií vykonaných pre región Bratislavy vyplynula veľmi veľká štatistická závislosť medzi počtom dní s vodným stresom a úrodami, ktorá sa pohybovala od 0,76 do 0,82 (Takáč et al., 2024).

Záver

Hodnotenie dôsledkov zmeny klímy na úrody plodín bolo založené na numerických simuláciách agroekologickým modelom DAISY. Výsledky simulácií preukázali, že pôsobenie jednotlivých uvažovaných faktorov na úrody je interaktívne. Podľa všetkých scenárov je efekt CO₂ v neskorších časových horizontoch nepostačujúci na kompenzáciu negatívnych vplyvov klimatických faktorov. V prípade obilnín k zníženiu pokrytia vlahovej potreby zrážkami podľa scenárov nehrozí, dokonca sa mierne zlepši. Pri plodinách pestovaných v lete príde k zníženiu pokrytia vlahovej potreby plodín.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Údajová a vedomostná podpora pre systémy rozhodovania a strategického plánovania v oblasti adaptácie poľnohospodárskej krajiny na klimatické zmeny a minimalizáciu degradácie poľnohospodárskych pôd – URANOS 313011W580 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- Abrahamsen, P., Hansen, S. (2000). Daisy: An Open Soil – Plant - Atmosphere System Model. *Environmental Modelling & Software*, vol. 15: 313–330.
- Eitzinger, J., Trnka, M., Semerádová, D., Thaler, S., Svobodová, E., Hlavinka, P., Šiška, B., Takáč, J., Malatinská, L., Nováková, M., Dubrovský, M., Žalud, Z. (2013). Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe – hotspots, regional differences and common trends. *The Journal of Agricultural Science*, vol.: 151 (6): 782–812.
- Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E., Svendsen, H. (1990). *DAISY – A Soil Plant System Model. Danish simulation model for transformation and transport of energy and matter in the soil-plant-atmosphere system*. Copenhagen. The National Agency for Environmental Protection, 272 p. ISBN 87-503-8790-1.
- Kröbel, R., Sun, Q., Ingwersen, J., Chen, X., Zhang, F., Müller, T., Römhild, V. (2020). Modelling water dynamics with DNDC and DAISY in a soil of the North China Plain: A comparative study. *Environmental Modelling & Software*, vol. 25: 583–601. DOI: 10.1016/j.envsoft.2009.09.003.
- Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Rumbaur, Ch., Takáč, J., Trnka, M., Bindi, M., Caldag, B., Ewert, F., Ferrise, R., Mirschel, W., Saylan, L., Šiška, B., Rötter, R. (2011). Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. In *European journal of agronomy*, vol. 35, no. 3, pp. 103–114. DOI: 10.1016/J.EJA.2011.05.001.
- Pohanková, E., Hlavinka, P., Kersebaum, K.C., Rodríguez, A., Balek, J., Bednařík, M., Dubrovský, M., Gobin, A., Hoogenboom, G., Moriondo, M., Nendel, C., Olesen, J.E., Rötter, R.P., Ruiz-Ramos, M., Shelia, V., Stella, T., Hoffmann, M.P., Takáč, J., Eitzinger, J., Dibari, C., Ferrise, R., Bláhová, M., Trnka, M. (2022). Expected effects of climate change on the production and water use of crop rotation management reproduced by crop model ensemble for Czech Republic sites. *European Journal of Agronomy*. Vol. 134 (2022) 126446. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126446>
- Rötter, R., Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Bindi, M., Ewert, F., Ferrise, R., Hlavinka, P., Moriondo, M., Nendel, C., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Takáč, J., Trnka, M. (2012). Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models. *Field Crops Research*, vol. 13: 23–36. ISSN 0378-4290.
- Šiška, B., Takáč, J. (2009). Drought Analyse of Agricultural Regions as Influenced by Climatic Conditions in the Slovak Republic. *Időjárás*, Vol. 113(1-2): 135–143. ISSN: 0324-6329.
- Takáč, J. (2001). *Dôsledky zmeny klímy na bilanciu vody v poľnohospodárskej krajine*. Národný klimatický program SR 10/01, SHMÚ, Bratislava, s. 16 - 26. ISBN 80-88907-24-1. (in SK)
- Takáč, J., Sobocká, J., Bezák, P. (2024). Water use efficiency in agricultural areas of Slovakia in the period 1961–2020 and according to climate change scenarios. *Pedosphere Research*, vol. 1: 55–75. NPPC – VÚPOP Bratislava. ISSN 2729-8728.
- Takáč, J., Šiška, B. (2011). Kalibrácia a validácia modelu DAISY pre podmienky Slovenska. *Vedecké práce VÚPOP*, č. 33, Bratislava. 161-172. ISBN 978-80-89128-91-4.
- Tomlain, J. (1997). *Modelový výpočet dôsledkov očakávanej zmeny klímy na obsah vody v pôde na Slovensku*. NKP 7/97. Bratislava: MŽP SR, SHMU, 1997, s. 68–83. ISBN 80–88907–02–0.

Trnka, M., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Skjelvag, A.O., Eitzinger, J., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R., Iglesias, A., Orlandini, S., Dubrovský, M., Hlavinka, P., Balek, J., Eckersten, H., Cloppet, E., Calanca, P., Gobin, A., Vučetić, V., Nejedlík, P., Kumar, S., Lalič, B., Mestre, A., Rossi, F., Kozyra, J., Alexandrov, V., Semerádová, D., Žalud, Z. (2011). Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology* (2011) 17, 2298–2318, doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x

Kontaktná adresa autora:

RNDr. Jozef Takáč, PhD., Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Trenčianska 55, 821 09 Bratislava, e-mail: jozef.takac@nppc.sk

Názov publikácie: Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri Slovenskej akadémii vied v Bratislave

Zostavili: Adamčíková Katarína, Golian Jozef

Grafická úprava: Semjon Boris

Vydavateľ: Ústav ekológie lesa SAV, v. v. i., Zvolen

Rok vydania: 2025

Miesto vydania: Nitra

Počet strán: 373

Vydanie: prvé

Forma vydania: online

ISBN 978-80-89408-40-5

