



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

# Zborník vedeckých prác

Nitra, 2023

Adamčíková K., Golian J.  
(Eds.)



Ústav ekológie lesa SAV, v. v. i.

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



Nitra 2023

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

**Sekretariát Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV:**

**Fakulta biotechnológie a potravinárstva SPU v Nitre**

**Tr. A. Hlinku 2**

**949 01 Nitra**

Názov: **Recenzovaný zborník vedeckých prác**

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

Grafická úprava: MVDr. Boris Semjon, PhD.

Rok vydania: 2023

Rukopis neprešiel redakčnou úpravou vo vydavateľstve.

**ISBN 978-80-974779-0-5**

## POĽNOHOSPODÁRSKA SEKCIA

<b>BOJŇANSKÁ T. – VOLLMANNOVÁ A. - LIDIKOVÁ J. - URMINSKÁ D. - MORAVČÍKOVÁ D.</b>	<b>5</b>
Selected progressive practices for food of plant origin with added value	
<b>ČMIKOVÁ N. - VEREŠOVÁ A. - KAČÁNIOVÁ M.</b>	<b>16</b>
Jedľová rastlinná silica a jej antimikrobiálny potenciál pri predĺžovaní trvanlivosti ovocia a zeleniny	
<b>ČMIKOVÁ N. - VEREŠOVÁ A. - KAČÁNIOVÁ M.</b>	<b>22</b>
Antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice španielsky majorán	
<b>KAČÁNIOVÁ M. - VEREŠOVÁ A. - ŠTEFÁNIKOVÁ J. - ČMIKOVÁ N.</b>	<b>28</b>
Biologická aktivita koriandrovej rastlinnej silice proti Gram-pozitívnym a Gram-negatívnym baktériám	
<b>KAČÁNIOVÁ M. - VEREŠOVÁ A. - ŠTEFÁNIKOVÁ J. - ČMIKOVÁ N.</b>	<b>34</b>
Antimikrobiálna aktivita škoricovej cejlónskej rastlinnej silice v podmienkach <i>in vitro</i> a <i>in situ</i>	
<b>KALAFOVÁ A. – ŠIMONOVÁ N. – SCHNEIDGENOVÁ M. - ŠIMKOVÁ P. – CAPCAROVÁ M.</b>	<b>41</b>
Hlavné modely potkanov pre štúdium diabetes a ich stručná charakteristika	
<b>ŠIMKOVÁ P. – KALAFOVÁ A. – CAPCAROVÁ M.</b>	<b>49</b>
Nutraceutiká: zdravotné benefity a účinky	
<b>ŠIMKOVÁ P. – KALAFOVÁ A. – CAPCAROVÁ M.</b>	<b>54</b>
Rakytník rešetliakový a drieň obyčajný v terapii metabolických ochorení	
<b>VEREŠOVÁ A. - ČMIKOVÁ N. - KAČÁNIOVÁ M.</b>	<b>58</b>
Antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice <i>Citrus reticulata</i> Blanco v <i>in vitro</i> a <i>in situ</i> podmienkach	
<b>VEREŠOVÁ A. - ČMIKOVÁ N. - KAČÁNIOVÁ M.</b>	<b>65</b>
Antimikrobiálne vlastnosti rastlinnej silice <i>Citrus aurantium</i> Amara proti Gram-pozitívnym a Gram-negatívnym baktériám	
<b>BRITAŇÁK, N. – KIZEKOVÁ M. – ILAVSKÁ I. – POLLÁK Š. – JANČOVÁ E. – HANZES E.</b>	<b>71</b>
Stabilita produkcie sušiny d'atelinotrávnej miešanky a asynchrónnosť jej komponentov	
<b>ČUNDERLÍK J.</b>	<b>76</b>
Produkcia trávneho porastu po aplikácií digestátu	
<b>DUGÁTOVÁ Z. – JANČOVÁ M. – POLLÁK Š. – KIZEKOVÁ M.</b>	<b>82</b>
Optimalizácia botanického zloženia a produkcie trávnych porastov	
<b>JENDRIŠÁKOVÁ S.</b>	<b>88</b>
Potenciál nutričnej hodnoty horských pasienkov počas pastevnej sezóny v Národnom parku Veľká Fatra	
<b>POLLÁK Š. – JANČOVÁ M. – DUGÁTOVÁ Z. -KIZEKOVÁ M.</b>	<b>99</b>
Monetarizácia emisií z trávnych porastov	

<b>VARGOVÁ V.</b> Zmeny v diverzite trávneho porastu vplyvom rôznej výživy	<b>107</b>
---	------------

<b>VARGOVÁ V. - DUGÁTOVÁ Z.</b> Vplyv úhrnu zrážok a teploty na produkciu sušiny trávneho porastu	<b>113</b>
--	------------

## **POTRAVINÁRSKA SEKCIA**

<b>BOROTOVÁ P. – GALOVIČOVÁ L. – JOANIDIS P. – KUNOVÁ S. – TVRDÁ E. – KAČÁNIOVÁ M. – ŠTEFÁNIKOVÁ J.</b> Aktivita vybraných rastlinných silíc proti nádorovej bunkovej línii prsníka	<b>119</b>
--	------------

<b>JOANIDIS P. – BENEŠOVÁ L. – BOROTOVÁ P. – MEZEYOVÁ I. – KUNOVÁ S. – KAČÁNIOVÁ M. – ŠTEFÁNIKOVÁ J.</b> Vplyv rastlinných silíc na obsah vitamínu C, organoleptické a texturálne vlastnosti sous-vide mrkvy	<b>125</b>
---	------------

<b>KUNOVÁ S. – ŠTEFÁNIKOVÁ J. – JOANIDIS P. – BOROTOVÁ P. – GALOVIČOVÁ L. – KAČÁNIOVÁ M.</b> Vplyv koriandrovej rastlinnej silice v kombinácii so sous vide technológiou na mikrobiologickú kvalitu kuracieho mäsa	<b>132</b>
---	------------

## **VETERINÁRSKA SEKCIA**

<b>KORÉNEKOVÁ B. – SEMJON B. – MARCINČÁK S.</b> Kyselina askorbová a oxid siričitý a ich použitie v bielych vínach	<b>141</b>
---	------------

## **PEDOLOGICKÁ SEKCIA**

<b>KOBZA J. – BARANČÍKOVÁ G. – DODOK R. – MAKOVNÍKOVÁ J. – PÁLKA B. – STYK J. – ŠIRÁŇ M.</b> Súčasný stav a vývoj vlastností poľnohospodárskych pôd Slovenska podľa ich ohrozenia	<b>148</b>
--	------------

<b>KOCO Š. – BARANČÍKOVÁ G. – KOBZA J. – HALAS J.</b> Príprava databázy pôdnych údajov pre modelovanie zásob pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska	<b>155</b>
---	------------

<b>MAKOVNÍKOVÁ J. – KOLOŠTA S. – PÁLKA B.</b> Monetárne a nemonetárne hodnotenie regulačných ekosystémových služieb v pilotných regiónoch SR	<b>165</b>
---	------------

<b>STYK J. – PÁLKA B.</b> Vplyv procesov vodnej erózie na kvantitatívne zmeny pôdnych vlastností na eróznom transekte pri obci Smolinské (okr. Senica)	<b>174</b>
---	------------

<b>ŠIRÁŇ M.</b> Aktuálny fyzikálny stav pôd SR podľa údajov monitoringu pôd	<b>185</b>
--	------------

<b>ŠOLTYSOVÁ B. – DANILOVIČ M. -DANILOVIČOVÁ J.</b> Analýzy vybraných chemických parametrov pôdy po konverzii jej využitia	<b>191</b>
---	------------

<b>TAKÁČ J.</b> Produkčná účinnosť závlahovej vody poľných plodín na Podunajskej nížine	<b>201</b>
--	------------

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

# Poľnohospodárska sekcia



## Review article

### Selected progressive practices for food of plant origin with added value

Tatiana BOJŇANSKÁ<sup>1</sup>, Alena VOLLMANNOVÁ<sup>1</sup>, Judita LIDIKOVÁ<sup>1</sup>, Dana URMINSKÁ<sup>2</sup>, Danka MORAVČÍKOVÁ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Food Science, Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Biotechnology and Food Sciences, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

<sup>2</sup>Institute of Biotechnology, Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Biotechnology and Food Sciences, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

<sup>3</sup>Institute of Marketing, Trade and Social Studies, Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Economics and Management, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

#### Abstract

In the paper, which is a review study of publications resulting from research conducted within the Drive4SIFood project, the summarized results focus on the following: 1. The risks of possible contamination of selected vegetables of the genus *Allium*. Based on the outputs, it can be concluded that the genus *Allium* does not belong to the food accumulating hazardous metals from the soil. The evaluated varieties of garlic were distinguished by a higher content of zinc and copper. Higher levels of lead, cadmium, chromium, and nickel were found for leeks. 2. Improving the nutritional composition of food and increasing its positive factors that have a chemoprotective effect on the health of the consumer. Buckwheat seeds, legumes or other raw materials are valuable sources of polyphenol compounds and flavonoids such as rutin. Such raw materials as apples, young green barley, or beer can also be sources of antioxidant activity. 3. The development of value-added foods with addition of legume flours, non-traditional fruits and elder flowers and hemp flour. For durable food, enrichment with medicinal herbs or dried nettle leaves, carrot powder, etc. was also interesting. 4. The FODMAPs of foods that may be responsible for various digestive problems, and which need to be talked about and brought to the attention of consumers.

**Keywords:** heavy metals, biologically valuable substances, value-added foods, FODMAP

#### Introduction

The overview study focuses mainly on the results of research elaborated within the Drive4SIFood project. The results are summarized in order to present them to the scientific and professional public with the hope that they can have application potential for practice, as well as expand the spectrum of knowledge about food design possibilities with biologically valuable components of plant origin.

Food is an essential source of nutrients necessary for the body, so it is important that it is safe and adequate to nutritional needs. On the one hand, attention is paid to their possible contamination. On the other hand, the research focused on improving the nutritional composition of food, and thus on the overall recovery of the population by reducing risk factors contributing to the development of chronic non-infectious diseases, but also on increasing positive factors that have a chemoprotective effect on the health of the consumer.

#### Contaminated food

Contaminated food can cause serious health problems, especially in people with weakened immune systems, children, pregnant women, and the elderly, or with chronic intake and high levels of contamination. (Dokmeci et al., 2009; Nordberg et al., 2019). The basic prerequisite for healthy and safe foods is their composition without excessive content of agents that have a potential risk effect (Soudek et al., 2009; Amin et al., 2013; Rai et al., 2019). Adverse events in food include contamination with chemicals such as pesticides, herbicides, heavy

metals, or microorganisms that can cause disease (salmonellosis, listeriosis or *E. coli* infection) or can produce mycotoxins (Gall et al., 2015; Ahmad and Jae-Hyuk, 2019). EU countries have strict food contamination standards and regulations to minimize the risk to consumers and to assess the presence of undesirable ingredients in food. They are a prerequisite for food to be safe for all (DECREE No 18558/2006-SL, 2006; Regulation (EC) No 1881/2006).

Vegetables are an important group of commodities that are recommended for a healthy diet regime and should be consumed at the rate of approximately 130 kg per person per year (fresh) in terms of recommended food intake. Therefore, it is essential to pay attention to the safety of consumed vegetables. Lidiková et al. (2021) focused on the genus *Allium*, which is an important source of substances beneficial to human health (Zeng et al., 2017), and has a long tradition of cultivation in Slovakia. This genus includes well-known plant species such as onions (*Allium cepa* L.), garlic (*Allium sativum* L.), leeks (*Allium porrum* L.), chives (*Allium schoenoprasum* L.) or lesser-known wild garlic (*Allium ursinum* L.), and it belongs to the most widespread and most commonly grown vegetables in Slovakia. In their study, Lidiková et al. (Lidiková et al., 2021) dealt with the content of selected heavy metals (Zn, Mn, Cr, Cu, Ni, Pb and Cd) in cultivated garlic (varieties Záhorský, Lukan, Makoi), onions (varieties Amika, Red Matte, Diamant) and leeks (varieties Bavaria, Golem, Tango). The values of Cd content in the examined samples of garlic ranged from 0.045 mg.kg<sup>-1</sup> to 0.06 mg.kg<sup>-1</sup>, while a statistically significantly higher Cd content was found in the Lukan variety (0.07 g.kg<sup>-1</sup>), where it exceeded the limit value according to the Codex Alimentarius of the Slovak Republic, as well as maximum levels according to Commission Regulation (EC) 1881/2006.

Based on the evaluation of the Cd content of the onion samples, it can be concluded that the limit values were not exceeded in any of the samples. However, the opposite situation was found for leeks, since the limit values were exceeded in all the leek varieties evaluated. The Cd content of leek samples ranged from 0.07 mg.kg<sup>-1</sup> to 0.13 mg.kg<sup>-1</sup>. Statistically significantly the highest Cd content was found in the Tango variety (0.013 mg.kg<sup>-1</sup>), in which the limit values according to the Codex Alimentarius of the Slovak Republic as well as the maximum values according to Commission Regulation (EC) 1881/2006 were exceeded. The test varieties of the genus *Allium* based on cadmium content were ranked in descending order as follows: Tango (0.13 mg.kg<sup>-1</sup>) > Bavaria (0.09 mg.kg<sup>-1</sup>) > Golem (0.07 mg.kg<sup>-1</sup>) = Lukan (0.07 mg.kg<sup>-1</sup>) > Záhorský (0.05 mg.kg<sup>-1</sup>) > Makoi (0.03 mg.kg<sup>-1</sup>) = Amika (0.03 mg.kg<sup>-1</sup>) > Diamant (0.02 mg.kg<sup>-1</sup>).

The Pb content of garlic samples ranged from 0.02 mg.kg<sup>-1</sup> to 0.11 mg.kg<sup>-1</sup>. The statistically significantly highest Pb content was found in the Lukan variety (0.11 mg.kg<sup>-1</sup>), in which it exceeded the maximum permitted level (0.10 mg.kg<sup>-1</sup>). Based on the evaluation of the Pb content of onions, the authors conclude that the maximum permitted levels were exceeded twice in the yellow variety Amika and 1.4 times in the white variety Diamant. However, the Pb content exceeded the maximum level laid down by legislation for all the varieties tested. Similar to the cadmium content assessment, leeks also had the highest content of lead, which accumulated mainly in the roots, less in the leaves and aboveground parts.

The content of other heavy metals (Zn, Mn, Cr, Cu and Ni) in the tested species of the genus *Allium* did not exceed the limit values according to the Codex Alimentarius of the Slovak Republic. The values found did not reflect the intensity of soil contamination with these metals and indicate that the *Allium* species tested do not accumulate these heavy metals. The authors conclude that the genus *Allium* is not one of the foods accumulating dangerous metals from the soil. The evaluated varieties of garlic were distinguished by a higher content of zinc and copper. Higher levels of lead, cadmium, chromium, and nickel were found for leeks (Lidiková et al., 2021).



### Sources of biologically valuable substances

From the point of view of interesting sources of biologically valuable substances, buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) is certainly extremely valued. Buckwheat seeds are rich in proteins, polysaccharides, fibre, lipids, polyphenols, macro and microelements, vitamins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> and B<sub>6</sub>, vitamin E. They contain the natural flavonoid rutin, trace amounts of  $\beta$ -carotene, or other biologically valuable substances (Steadman et al., 2001; Vojtíšková et al., 2012; Stojilkovski et al., 2013). The protein content of buckwheat seeds ranges from 12% to 19%, and their high quality is due to the high concentration of essential amino acids, especially lysine, tryptophan, threonine, and sulphur-containing amino acids. The protein composition allows buckwheat products to be used as a source of gluten-free foods (Kreft et al., 2006; Christa and Soral-Smietana, 2008; Comino et al., 2013). The reintroduction into consumption of such crops with their exceptional chemical composition is one way of changing eating habits in order to contribute to improving the health of the population. Buckwheat is one of the crops with potential, which provides the possibility of using several parts of the plant, not only seeds, but also flowers and leaves.

Vollmannová et al. (2021a) elaborated on the issue concentrations of phenolic acids in leaves, flowers, and grain of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). The following varieties were evaluated: Pyra (Česko), Hrusowska (Poľsko), Pulawska (Poľsko), Kasho-2 (Japonsko), FAG 120/82 (Nemecko), Soldier Pond (USA), Pennline 10 (USA), Ballada (Rusko).

Phenolic acids are one of the two main classes of polyphenolic compounds in buckwheat seed, and their content in seeds of the studied buckwheat varieties was lower than in their leaves and flowers. Most abundant in buckwheat seeds are neochlorogenic acid and chlorogenic acid. Phenolic compounds accumulate mainly in the seed envelope layers; peeled buckwheat seeds are a poorer source of polyphenols. Of the varieties evaluated, the Ballada variety was distinguished by a significantly higher content of phenolic acids (neochlorogenic acid, trans-caffeic acid, trans-coumaric acid, trans-ferulic acid, trans-sinapic acid), and a significantly lower content of chlorogenic acid. Significantly lower levels of neochlorogenic acid, chlorogenic acid, trans-caffeic acid and trans-ferulic acid were found in the Pulawska variety. Significantly higher levels of neochlorogenic acid and chlorogenic acid were found in the Soldier Pond variety.

Flavonoids are the second major class of polyphenol compounds present in buckwheat seeds. The determined content of the dominant flavonoid rutin in the seeds of the studied buckwheat varieties ranged from 2,791 mg.g<sup>-1</sup> in dry matter (Pulawska) to 13,326 mg.g<sup>-1</sup> in dry matter (Ballada). Vitexin values ranged from 0.010 mg.g<sup>-1</sup> in dry matter (Ballada) to 0.212 mg.g<sup>-1</sup> in dry matter (Kasho-2).

For rutin and quercetin, no significant differences were found between the varieties evaluated, but the kaempferol content was variable (Vollmannová et al., 2021a).

Legumes can also be valuable raw materials, which play an important role in human nutrition and are part of the traditional diet of many regions around the world. They are cultivated mainly for their edible seeds, which have a remarkable content of protein, fibre, micronutrients, and many valuable phytochemicals (Messina, 1999; Bouchenak and Lamri-Senhadj, 2013; Prusinski, 2017). Legumes as part of the daily diet may show beneficial physiological effects and thus may help prevent chronic non-infectious diseases, e.g., diabetes mellitus, coronary heart disease and colon cancer (Kumar and Pandey, 2020). Vollmannová et al. (2021b) looked at white lupin as a promising source of antioxidant phenolics for functional food production. The aim of the research was to compare the total phenol content, antioxidant activity and content of selected phenolic compounds in 11 varieties of white lupin from 9 different countries of origin, which were grown on the same site and under the same conditions. The following varieties were evaluated: Alban (France), Astra (Chile), R-933,

POP I and WTD (Poland), Satmarean (Romania), Nelly (Hungary), Los Palacios (Spain), Primorsky (Russia), Solnecnyj (Slovenia) and Weibit (Germany).

The conducted research confirmed an interesting content of phenolic compounds (especially caffeic acid and myricetin) in the evaluated varieties of white lupin with a reported positive effect on the human body. Based on the results, the most valuable source of antioxidants appears to be the Alban and Nelly cultivars, which come from France and Hungary respectively, and which are a rich source of both phenolic acids and flavonoids. This remarkable content of phytochemicals with potential positive effects on human health makes these two varieties suitable for use in the production of innovative foods. In addition to the above, it should also be remembered that white lupin is a crop resistant to adverse climatic conditions.

Some other raw materials have also proven to be potential sources of antioxidant activity, to which can be attributed protective functions for the organism exposed to adverse environmental conditions, an unbalanced diet, stress, etc. Apples (*Malus domestica* Borkh.) are one of the most commonly consumed fruits, so the authors Valková et al. (2021) focused on comparing the total content of polyphenols (TPC) and antioxidant activity of fruits of seven varieties of apple trees growing under experimental (controlled) conditions of the Botanical Garden of the SUA in Nitra: Golden Delicious, Granny Smith, Goldcats, Rondo (greenish-yellow cultivars); Cordon (green cultivar with red spots); Redcats (red cultivar); Pompink (pink cultivar). In general, higher levels of total polyphenol content were found in apple varieties with greenish-yellow skins. Since the experimental growing conditions were the same, the obtained results suggest that the TPC content is related to the colour of the apple skin, the ripening period, and also the age of the apple trees. Descending order of varieties evaluated by the total polyphenols content: Granny Smith > Golden Delicious > Goldcats > Rondo > Redcats > Kordona > Pompink.

As with total polyphenols and antioxidant activity (AA determined by DPPH), the lowest values were found in the Pompink variety ( $35.03 \pm 3.49\%$ ) and the highest values in the Granny Smith variety ( $88.55 \pm 4.25\%$ ). Descending order of varieties evaluated by the antioxidant activity: Granny Smith > Golden Delicious > Redcats > Goldcats > Rondo > Kordona > Pompink.

The obtained results suggest that the TPC and AA values in apple fruits are strongly influenced by the variety. The results from the analysed varieties indicated that Granny Smith and Golden Delicious are best suited for daily consumption as well as for the development of fortified food products. Both evaluated parameters (TPC and AA) may contribute to an increase of biologically active substances in human nutrition (Valková et al., 2021).

Another remarkable food source with antioxidant potential can be such an unconventional raw material as young green barley, which is available on the market in several forms (tablets, powder, dissolved in beverages). Young barley (barley grass) is used as a supplement to promote weight loss, strengthen the immune function, and support overall health. Thanks to its high antioxidant activity, its consumption is associated with several potential health benefits. Drábová et al (Drábová et al., 2022) verified claims that the green mass of barley plants has antioxidant properties. Six malting varieties (Kangoo, Marthe, Odyssey, Tangoo, LG Tosca and Overture) were used to determine the antioxidant activity of young spring barley plants, with the highest antioxidant activity found in the Overture variety ( $891.6 \mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$ ) and the lowest antioxidant activity found in the Marthe variety ( $319.6 \mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Differences in their antioxidant activity were found between the tested varieties. However, in general, all samples of young barley showed a high antioxidant activity and can potentially be recommended as dietary supplements in human nutrition (Drábová et al., 2022).

In a nutritional context, beer can also be interesting, which is a globally consumed alcoholic beverage to which the presence of hops gives its typical flavour. Hops contain a number of

technologically important substances, which are represented primarily by hop resins (humulones, lupulones, humulinones, hulupons, etc.), essential oils (humulene, myrcene, etc.) and tannins (phenolic compounds quercetin, catechin, etc.) (Ayabe et al., 2018; Alfonso-Esteban et al., 2019; Bober et al., 2020). In addition to sensory properties, these molecules with their antiseptic and antioxidant properties contribute to the biological and colloidal stability of beer. Recently, however, increased attention has also been paid to prenylated hop flavonoids, especially xanthohumol, isoxanthohumol and 8-prenylnaringenin. Xanthohumol is a prenylated chalcone that exhibits antioxidant, anticancer, and chemoprotective effects (Cai et al., 2017; Campillo et al., 2018). Its only source in human nutrition is beer, yet a large part of the xanthohumol from hops is isomerized by heat to isoxanthohumol and desmethylxanthohumol, from which a racemic mixture of 6- and 8-prenylnaringenins is formed during the production of beer. Xanthohumol is also converted to isoxanthohumol by cleavage, resulting in the formation of 8-prenylnaringenin, which is catalyzed by enzymes of intestinal microorganisms, as well as liver enzymes. This substance is currently considered the most effective natural phytoestrogen (Urminská and Jedináková, 2021).

### **Value-added foods**

Value-added foods are characterized as foods to which biologically active ingredients are added to influence their nutritional value in a desirable way (Hlaváčová et al., 2022a). Bread is undoubtedly an important staple food, with a nutritional quality given by its traditional composition. The main raw material used for its production is wheat flour, which stands out especially for its high proportion of starch and its content of proteins poor in essential amino acids. However, wheat flour is the only cereal flour that, when mixed with water, can form gluten capable of retaining fermenting gases, responsible for the volume and porosity of bakery products (Bojňanská et al., 2013). Considerable efforts are currently being made to improve the nutritional quality of bread. One option is to partially replace wheat with non-bakery ingredients, which are valued thanks to the content of ingredients not found in traditional breads. This creates the possibility of products with the potential for beneficial effects on the health of consumers.

Bojňanská et al. (2021) investigated the effects of adding legume flours on the rheological and breadmaking properties of dough. The main goal of their research was to model experimental doughs containing different levels of wheat flour, rye flour and legume flour, and subsequently to study the influence of the raw materials used on the rheological dough properties, its ability to retain fermenting gases and the properties of the final product - bread. The results confirmed that the application of legume flour affects the evaluated properties, and flours with the addition of legumes behaved differently than wheat-rye flour. The properties of the final products (breads) had also changed, both from an objective and sensory point of view.

The addition of various legume flours (chickpea, common bean, broad bean, and red lentil flour) to the mixtures resulted in a change in the viscoelastic properties of the dough. The results showed a weakening of the protein network depending on the amount of legume flour added and the specific legume flour. As regards the interaction of the mechanical treatment and the thermal process, the most stable (at the level of the control wheat-rye flour) was the composite flour with the addition of common bean flour, in all applied proportions of this addition (5%, 10% and 15%). In all samples with a higher proportion of legume flour, an increased resistance to starch retrogradation was predicted, and a longer shelf life and slower ageing due to the drying out of the crumb can be assumed. The results of the sensory evaluation showed that the addition of legumes flour resulted in breads of acceptable sensory quality, in the case of additions of 5% on par with the control bread, or even better than the control samples, e.g., in bread with added chickpea flour. The aromas and tastes of the added

non-bakery ingredients improved the complex sensory profile of wheat-rye bread. Breads with the addition of chickpeas, common beans, and broad beans had a higher proportion of darker colours than the control bread and bread with the addition of red lentils (Bojňanská et al., 2021).

Other non-traditional raw materials have also been verified, and very interesting results came to light by research on monitoring the influence of non-traditional fruits and elder flowers on the rheological properties of the dough (Kolesárová et al., 2022). The effect of the addition of flowers and freeze-dried elderberry berries, blackcurrant fruits and chokeberry in amounts of 5%, 10% and 15% to wheat flour changed the physical properties of the dough. Rheological analyses showed a strong influence of the applied additions on the properties of the dough, namely, the addition of elderberry flowers, elderberry fruits and black currant significantly increased the development time of the dough. In samples with the addition of elderberry flowers, a higher dough stability was also found, while the addition of elderberry berries and the addition of chokeberry (15%) reduced the dough stability. Unlike composite flours with the addition of lyophilized fruits, the properties of flour with the addition of elderberry flowers were comparable to the control flour in protein strength, starch gelatinating and amylase activity.

The obtained results indicate that the verified additions can be used for the preparation of bakery products (including sweet variants) as well as durable pastries (biscuits). Also, in connection with the colour of the dough, these non-traditional ingredients can increase the attractiveness of the products. Further evaluation is needed in this area, but the obtained test results can be an important source of information for manufacturers when designing new products with increased health benefits (Kolesárová et al., 2022).

The influence of hemp flour on the rheology of wheat-rye dough was evaluated by Bojňanská et al. (2020). As part of the research, they verified the possibility of adding hemp flour obtained by milling skimmed hemp seeds to wheat-rye flour, while maintaining the proportion of wheat flour and gradually replacing a part of rye flour with hemp, in amounts of 5%, 10%, 15% and 20%. The addition of hemp flour did not significantly affect the binding of the composite flours, but the influence of hemp flour on the dough development and its stability was interesting, because the values of these parameters were prolonged by the addition of hemp flour compared to the wheat-rye flour, not only at the stage of dough development, but also in its stability. This finding can be considered positive, since the addition of hemp flour improved the weaker stability of wheat-rye flour, mainly due to the properties of rye flour. Additions of non-bakery ingredients introduce nutritionally important ingredients into cereal products, in the case of used hemp flour, especially fibre, protein and minerals. The findings showed that the properties of doughs with the addition of hemp flour up to 20% resulted in doughs with fully comparable or even better parameters than the standard bakery mixture of dark wheat and dark rye flour (Bojňanská et al., 2020).

It is also possible to design durable products with a low water content. Thanks to that they can be stored for a long time under normal conditions and are available practically anywhere and anytime, while being a source of standby energy for the body, which is their great strategic advantage. Ivanišová et al. (2020) conducted research on the application of medicinal herbs as a functional ingredient for biscuits, which aimed to describe the nutritional and sensory profile of cookies enriched with lemon balm, mint, sage, lavender, and oregano powder at the rate of an addition of 5%. Biscuits enriched with selected medicinal herbs had a higher content of minerals and phenols and had a higher antioxidant activity compared to the control group of biscuits without additives. In biscuits enriched with dried and pulverised mint at 5% the following levels of antioxidant activity DPPH, 54.41 mg TEAC.g<sup>-1</sup> were found. Oregano-enriched biscuits had the highest total phenol content (288.46 mg GAE.g<sup>-1</sup>). In lavender biscuits, the most minerals were determined as ashes, and from a sensory point of view,

cookies enriched with mint and lemon balm were the best evaluated, especially in taste, aroma, and pleasant aftertaste. The results show that adding medicinal herbs modified appropriately to cereal products, can increase the nutritional value of these products, but also their attractiveness to the consumer (Ivanišová et al., 2020).

Pasta is also a popular durable cereal product, mainly for its quick and easy preparation and good shelf life. On the market there are different types of pasta with different ingredients, shapes, and sizes available containing various ingredients (Bojňanská et al., 2013). In general, pasta is characterized by a low content of bioactive compounds (vitamins and polyphenols) and fibre, and at the same time it is a very good product suitable for the development of value-added foods (Zarzycki et al., 2020; Dziki, 2021). Hlaváčová et al. (Hlaváčová et al., 2022b) monitored nutritional properties, antioxidant properties (antioxidant activity; total content of polyphenols, flavonoids, and phenolic acids; total content of carotenoids, chlorophyll, and anthocyanin) and the sensory profile of pasta enriched with nettle leaves, elderberry fruits and carrots in powder supplements of 3%.

The addition of nettle, carrot and elderberry leaf powder positively affected the pasta's nutritional, antioxidant and sensory profiles. The addition of nettle powder increased the amount of ash most significantly, but even in the case of carrots and elderberries, the sum of ashes was higher compared to the control variant. The fat content was significantly higher in pasta with an addition of elderberry powder, which is not surprising since elderberry fruits are a very good source of bioactive compounds and fatty acids, especially  $\alpha$ -linolenic, linoleic, and oleic acids (Domínguez et al., 2020). The antioxidant activity (DPPH) was highest in pasta enriched with nettle leaf powder and elderberry fruits. These samples also had a higher content of total polyphenols as well as total phenolic acids compared to the control sample. The addition of nettle, carrots and elderberry also positively affected the content of natural dyes in the prepared pasta. Natural dyes belong to biologically active compounds that are very attractive, and pasta with the natural original colour is appealing to consumers nowadays. The sensory evaluation results showed no significant differences between the evaluated pasta samples. In general, it can be concluded that all samples were harmonious, with pleasant properties. The best rating was found for pasta enriched with nettle powder (Hlaváčová et al., 2022b).

## FODMAP

Oligosaccharides containing fructose (fructans, inulin), galactose (galactans, stachyose, raffinose), disaccharides surrounding galactose (lactose), monosaccharides, mixtures of monosaccharides containing fructose (fruit sugar, honey) and carbohydrate polyols (mannitol, malbitol, sorbitol) are considered to be safe for consumption and beneficial to health. Gradually, however, their presence in the human diet reaches amounts that are indigestible by the small intestine, subsequently passing to the large intestine, where they are fermented by intestinal bacteria into products such as carbon dioxide gas, hydrogen, methane, sulfan and short-chain fatty acids (Urminská et al., 2022).

It is a fact that in recent years, consumers have increasingly experienced various digestive problems, the manifestation of which is increased flatulence, soreness, cessation of peristalsis or, conversely, diarrhoea. Although carbohydrate intolerance is becoming increasingly evident in the human population, its exact prevalence is unknown. Nevertheless, it is estimated that in developed countries these problems affect one in five adults, with a higher proportion of women. One of the causes may be the high intake of fermentable disaccharides, oligosaccharides, polysaccharides, and polyols (FODMAPs) in the consumed staple foods, since the intestinal microbiome produces from these various organic acids and gaseous substances in the large intestine responsible for the described difficulties. These symptoms reduce the quality of life, so it is necessary to pay attention to FODMAPs so that these can be

identified in the diet and subsequently excluded in the affected patients. In this sense, several authors point to the role of the gut microbiome and subsequent changes in gut microbial diversity (Lacy and Patel, 2017; Losurdo et al., 2018).

Prebiotics are among the healthy components of foods whose consumption is supported and justified by nutritional benefits. They are defined as substances of a carbohydrate nature that the human body cannot digest or that only partially break down. On the other hand, they serve as good substrates for intestinal microorganisms. FODMAPs also belong to this heterogeneous group. They are found in foods such as fruits, vegetables, dairy products, cereals and legumes, but also in processed foods to which these ingredients have been added. Despite recommendations for their consumption, their high intake can have a negative impact on human health.

Fermentable disaccharides, oligosaccharides, polysaccharides, and polyols are commonly found in a wide variety of foods and play an important role in nutrition. They are part of fibre, which contributes to the healthy function of the entire gastrointestinal tract. On the other hand, their ingestion can cause various unpleasant difficulties for sensitive individuals. A possible solution lies in a low FODMAP diet, which also does not only bring benefits. As such, the exclusion of FODMAPs from the diet may result in disproportionately low fibre intake, reduction of prebiotic substances, and thus undesirable changes in the composition of the gut microbiome towards the reduction of beneficial bacteria (Hill et al., 2017). Stool analysis revealed that a very low-FODMAP diet lasting 3-4 weeks resulted in a reduction in bifidobacteria counts (Kerckhoffs et al., 2009; Halmos et al., 2014).

Further scientific research is needed to ensure the healthy functioning of the digestive tract (Urminská et al., 2022), but nevertheless it is necessary to talk about and educate the ordinary consumer in this context.

## Conclusions

Research activities focused on the development of value-added food resulted in a number of new findings and promising directions. From the amount of published information, it is necessary to specify the most promising ones, and it is also desirable to put it into practice in an appropriate way. Based on the study of publications created in the framework of the Drive4SIFood project focused on progressive technologies for food with high added value and a positive effect on human health, it can be stated that this issue is adequately covered by the research at the Slovak University of Agriculture and is oriented on both health safety of food and nutritionally interesting innovative foods.

**Acknowledgement:** This article was created thanks to support under the Operational Program Integrated Infrastructure for the project: National infrastructure for supporting technology transfer in Slovakia II – NITT SK II, co-financed by the European Regional Development Fund.

**Contact address:** Tatiana Bojnanská, Institute of Food Science, Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Biotechnology and Food Sciences, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia, e-mail: tatiana.bojnanska@uniag.sk

## References

- Alfonso-Esteban, J., Pinela, J., Barros, L., Ciric, A., Sokovic, M., Calhella, R. C., Torija-Isasa, E., Sánchez-Mata, M., Ferreira, I. 2019. Phenolic composition and antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties of hop (*Humulus lupulus* L.) Seeds. In *Industrial Crops and Products*, vol. 134, pp. 154-159. Available on: [doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.001](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.001)
- Alshannaq, A., Yu, J. H. 2017. Occurrence, Toxicity, and Analysis of Major Mycotoxins in Food. In *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, no. 6, article ID 632. Available on: doi:10.3390/ijerph14060632

- Amin, N., Hussain, A., Alamzeb, S., Begum, S. 2013. Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children, District Mardan, Pakistan. In *Food Chemistry*, vol. 136, pp. 1515–1523. Available on: [doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.05](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.05)
- Ayabe, T., Ohya, R., Kondo, K., Ano, Y. 2018. Iso- $\alpha$ -acids, bitter components of beer, prevent obesity-induced cognitive decline. In *Scientific Reports*, vol. 8, no. 1. Available on: [doi.org/10.1038/s41598-018-23213-9](https://doi.org/10.1038/s41598-018-23213-9)
- Bober, A., Liashenko, M., Prostenko, L., Slobodyanyuk, N., Matseiko, L., Yashchuk, N., Gunko, S., Mushtruk, M. 2020. Biochemical composition of the hops and quality of the finished beer. In *Slovak Journal of Food Science*, vol. 14. Available on: [doi.org/10.5219/1311](https://doi.org/10.5219/1311)
- Bojňanská T, Muchová Z, Frančáková H, Urmínská D, Mendelová A, Mareček J, Solgajová M, Vietoris V, Czako P. 2013. Evaluation of raw materials and foods of plant origin. 1st ed Nitra: Slovak University of Agriculture; 2013. 335 p. ISBN 978-80-552-1086-5
- Bojňanská, T., Ivanišová, E., Vollmannová, A. 2020. Influence of hemp flour on the rheology of wheat-rye dough. In *Food Quality and Texture in Sustainable Production and Healthy Consumption*. Bucuresti: Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară, pp. 110. ISBN 978-606-072-022-5. Available on: <https://www.iseki-food.net>
- Bojňanská, T., Musilová, J., Vollmannová, A. 2021. Effects of adding legume flours on the rheological and breadmaking properties of dough. In *Foods*, vol. 10, no. 5, article ID 1087. Available on: [doi.org/10.3390/foods10051087](https://doi.org/10.3390/foods10051087)
- Bouchenak, M., Lamri-Senhadj, M. 2013. Nutritional quality of legumes, and their role in cardiometabolic risk prevention: a review. In *Journal of Medicinal Food*, vol. 16, no. 3. Available on: [doi.org/10.1089/jmf.2011.0238](https://doi.org/10.1089/jmf.2011.0238)
- Cai, Ch., Rao, L., Rao, Y., Guo, J., Xiao, Z., Cao, J., Huang, Z., Wang, B. 2017. Analogues of xanthon-chalcones and bis-chalcones as  $\alpha$ -glucosidase inhibitors and anti-diabetes candidates. In *European Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 130, pp. 51-59. Available on: [doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.02.007](https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.02.007)
- Christa, K., Soral-Smietana, M. 2008. Buckwheat grains and buckwheat products—Nutritional and prophylactic value of their components - A review. In *Czech Journal of Food Sciences*, vol. 26, pp. 153–162
- Campillo, S., Rancan, L., Paredes, S. D., Higuera, M., Izquierdo, A., García, C., Forman, K., Tresguerres, J. A. F., & Vara, E. 2018. Effect of treatment with xanthohumol on cardiometabolic alterations secondary to ageing. In *Journal of Functional Foods*, vol. 49, pp. 44–51. Available on: [doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.059](https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.059)
- Comino, I., Moreno, M., Real, A., Rodríguez-Herrera, A., Barro, F., Sousa, C. 2013. The gluten-free diet: Testing alternative cereals tolerated by celiac patients. In *Nutrients*, vol. 5, pp. 4250–4268
- Decree of the Ministry of Agriculture of the Slovak Republic and the Ministry of Health of the Slovak Republic of 11 September 2006 No. 18558/2006-SL issuing the Title of the Codex alimentarius of the Slovak Republic regulating contaminants in foodstuffs. Available on: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2006/558/Dokmeci>
- Dokmeci, A. H., Ongen, A., Dagdeviren, S. 2009. Environmental toxicity of Cd and health effect. In *Journal Environmental Protection Ecology*, vol. 10, no. 1., pp. 84–93
- Domínguez, R., Zhang, L., Rocchetti, G., Lucini, L., Pateiro, M., Munekata, P. E. S., Lorenzo, J. M. 2020. Elderberry (*Sambucus nigra* L.) as potential source of antioxidants. Characterization, optimization of extraction parameters and bioactive properties. in *Food Chemistry*, vol. 330, article ID 127266. Available on: [doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127266](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127266)
- Drábová, B., Hlavatá, A., Haring, N., Urmínská, D. 2022. Antioxidant activity of young green barley (*Hordeum vulgare* L.) In *Food/Bio/Tech*. Nitra: Slovak University of Agriculture, pp. 39. ISBN 978-80-552-2517-3. Available on: [doi.org/10.15414/2022.9788055225173](https://doi.org/10.15414/2022.9788055225173)
- Dziki, D. 2021. Current Trends in Enrichment of Wheat Pasta: Quality, Nutritional Value and Antioxidant Properties. In *Processes*, vol. 9, article ID 1280. Available on: [doi.org/10.3390/pr9081280](https://doi.org/10.3390/pr9081280)
- Gall, J. E., Boyd, R. S., Rajakaruna, N. 2015. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. In *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 187, no. 7, article ID 201. Available on: [doi.org/10.1007/s10661-015-4436-3](https://doi.org/10.1007/s10661-015-4436-3)
- Halmos, E. P., Christophersen, C. T., Bird, A. R., Shepherd, S. J., Gibson, P. R., Muir, J. G. 2014. Diets that differ in their FODMAP content alter the colonic luminal microenvironment. In *Gut*, vol. 64, no. 1, pp. 93–100. Available on: [doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307264](https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307264)
- Hill, P., Muir, J. G., Gibson, P. R. 2017. Controversies and Recent Developments of the Low-FODMAP Diet. In *Gastroenterology & Hepatology*, vol. 13, no. 1, pp. 36–45. Available on: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5390324/>
- Hlaváčová, Z., Ivanišová, E., Hlaváč, P., Kubík, L., Kunecová, D., Božiková, M., Vozárová, V. 2022a. Value-Added Foods: Characteristic, Benefits, and Physical Properties. In *Trends and Innovations in Food Science*. London: IntechOpen, pp. 1-36. ISBN 978-1-80356-066-3. Available on: [doi.10.5772/intechopen.104971](https://doi.org/10.5772/intechopen.104971)
- Hlaváčová, Z., Madola, V., Ivanišová, E., Kunecová, D., Gálik, B., Hlaváč, P., Božiková, M., Žíková, M., Vozárová, V. 2022b. Nutritional, antioxidant, sensory, energetic, and electrical properties of enriched pasta. In *Applied Sciences-Basel*, vol. 12, article ID 12672. Available on: [doi.org/10.3390/app122412672](https://doi.org/10.3390/app122412672)

- Ivanišová, E., Krajger, E., Bojňanská, T. 2020. Medicinal herbs as a functional ingredient for biscuits. In *Food Quality and Texture in Sustainable Production and Healthy Consumption*. Bucuresti: Universitatea de Stiinte Agronomice si Medicina Veterinara, pp. 109. ISBN 978-606-072-022-5. Available on: <https://www.iseki-food.net>
- Kerckhoffs, A. P., Samsom, M., Rest, M. E. van der, Vogel, J. de, Knol, J., Ben-Amor, K., Akkermans, L. M. 2009. Lower Bifidobacteria counts in both duodenal mucosa-associated and fecal microbiota in irritable bowel syndrome patients. In *World Journal of Gastroenterology*, vol. 15, no. 23, article ID 2887. Available on: [doi.org/10.3748/wjg.15.2887](https://doi.org/10.3748/wjg.15.2887)
- Kolesárová, A., Bojňanská, T., Kopčková, J., Kolesárová, Adriana. 2022. The influence of non-traditional fruits and elder flowers on rheological properties of the dough. In *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, vol. 11, no. 6, article ID e4671. Available on: [doi.org/10.55251/jmbfs.4671](https://doi.org/10.55251/jmbfs.4671)
- Kreft, I., Fabjan, N., Yasumoto, K. 2006. Rutin content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) food materials and products. In *Food Chemistry*, vol. 98, pp. 508–512
- Kumar, S., Pandey, G. 2020. Biofortification of pulses and legumes to enhance nutrition. In *Heliyon*, vol. 6, article ID e03682. Available on: [doi:10.1016/j.heliyon.2020.e03682](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03682)
- Lacy, B. E., Patel, N. K. 2017. Rome Criteria and a Diagnostic Approach to Irritable Bowel Syndrome. In *Journal of Clinical Medicine*, vol. 6, no. 11, article ID 99. Available on: [doi.org/10.3390/jcm6110099](https://doi.org/10.3390/jcm6110099)
- Lidiková, J., Čeryová, N., Šnirc, M., Vollmannová, A., Musilová, J., Brindza, J., Grygorieva, O., Fehér, A. 2021. Comparison of heavy metal intake by different species of genus *Allium* L. In *Biological Trace Element Research*, vol. 199, pp. 4360-4369. ISSN 1559-0720. Available on: [doi.org/10.1007/s12011-020-02536-7](https://doi.org/10.1007/s12011-020-02536-7)
- Losurdo, G., Principi, M., Iannone, A., Amoruso, A., Ierardi, E., Di Leo, A., Barone, M. 2018. Extra-intestinal manifestations of non-celiac gluten sensitivity: An expanding paradigm. In *World journal of gastroenterology*, vol. 24, no. 14, pp. 1521–1530. Available on: [doi.org/10.3748/wjg.v24.i14.1521](https://doi.org/10.3748/wjg.v24.i14.1521)
- Messina, M. J. Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects. 1999. In *The American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 70, no. 3, pp. 439–450
- Nordberg, G.F., Bernard, A., Diamond, G.L., Duffus, J.H., Illing, P. 2018. Risk assessment of effects of Cd on human health (IUPAC Technical Report). In *Pure and Applied Chemistry*, vol. 90, no. 4, pp. 755–808. Available on: [doi.org/10.1515/ci-2018-0226](https://doi.org/10.1515/ci-2018-0226)
- Prusinski, J. 2017. White lupin (*Lupinus albus* L.) - nutritional and health values in human nutrition – a review, In *Czech Journal of Food Sciences*, vol. 35, pp. 95–105. Available on: [doi.org/10.17221/114/2016-CJFS](https://doi.org/10.17221/114/2016-CJFS)
- Rai, P.K., Lee, S.S., Zhang, M., Tsang, Y.F., Kim, K.H. 2019. Heavy metals in food crops: health risks, fate, mechanisms, and management. In *Environment international*, vol. 125, pp- 365–385. Available on: [doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067)
- Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Available on: <https://leap.unep.org/about>
- Soudek, P., Kotyza, J., Lenikusová, I., Petrová, Š., Benešová, D., Vaněk, T. 2009. Accumulation of heavy metals in hydroponically cultivated garlic (*Allium sativum* L.), onion (*Allium cepa* L.), leek (*Allium porrum* L.) and chive (*Allium schoenoprasum* L.). In *Journal of Food, Agriculture and Environment*, vol. 7, pp. 761–769
- Steadman, K.J., Burgoon, M. S., Lewis, B. A., Edwardson, S. E., Obendorf, R. L. 2001. Buckwheat seed milling fraction: Description, macronutrient composition and dietary fibre. In *Journal of Cereal Science*, vol. 33, pp. 271–278
- Stojilkovski, K., Kočevár Glavač, N., Kreft, S., Kreft, I. 2013. Fagopyrin and flavonoid contents in common, Tartary, and cymosum buckwheat. In *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 32, pp. 126–130
- Urminská, D., Jedináková, N. 2021. Beer as a source of hop prenylated flavonoids, compounds with antioxidant, chemoprotective, and phytoestrogen activity. In *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. vol. 11, no. 1, article ID e4426. Available on: [doi.org/10.15414/jmbfs.4426](https://doi.org/10.15414/jmbfs.4426)
- Urminská, D., Haring, N., Fábry, V., Urminská, J. 2022. Fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides and polyols and their role in food digestion. In *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, vol. 11, no. 4, article ID e5521. Available on: [doi.org/10.55251/jmbfs.5521](https://doi.org/10.55251/jmbfs.5521)
- Valková, V., Ďúranová, H., Ivanišová, E., Kravárová, A., Hillová, D., Gabríny, L. 2021. Influence of variety on total polyphenols content and antioxidant activity in apple fruits (*Malus domestica* Borkh.) In *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, vol. 5, no. 2, pp. 227-232. ISSN 2585-8246
- Vojtíšková, P., Kmentová, K., Kubáň, V., Kráčmar, S. 2012. Chemical composition of buckwheat plant (*Fagopyrum esculentum*) and selected buckwheat products. In *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, vol. 1, pp. 1011–1019
- Vollmannová, A., Musilová, J., Lidiková, J., Árvay, J., Šnirc, M., Tóth, T., Bojňanská, T., Čičová, I., Kreft, I., Germ, M. 2021a. Concentrations of phenolic acids are differently genetically determined in leaves, flowers, and grain of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) In *Plants*, vol. 10, no. 6, pp. 1142. ISSN 2223-7747



**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

- Vollmannová, A., Lidiková, J., Musilová, J., Šnirc, M., Bojňanská, T., Urminská, D., Tirdilová, I., Zetochová, E. 2021b. White lupin as a promising source of antioxidant phenolics for functional food production. In *Journal of Food Quality*, vol. 2021, article ID 5512236. Available on: [doi.org/10.1155/2021/5512236](https://doi.org/10.1155/2021/5512236)
- Zarzycki, P., Sykut-Domanska, E., Sobota, A., Teterycz, D., Krawecka, A., Blicharz-Kania, A., Andrejko, D., Zdybel, B. 2020. Flaxseed Enriched Pasta - Chemical Composition and Cooking Quality. In *Foods*, vol. 9, no. 4, article ID 404. Available on: [doi.org/10.3390/foods9040404](https://doi.org/10.3390/foods9040404)
- Zeng, Y., Li, Y., Yang, J., Pu, X., Du, J., Yang, X., Yang, S. 2017. Therapeutic role of functional components in *Alliums* for preventive chronic disease in human being. In *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, vol. 7, pp. 1–13. Available on: [doi.org/10.1155/2017/9402849](https://doi.org/10.1155/2017/9402849)

## Jedľová rastlinná silica a jej antimikrobiálny potenciál pri predlžovaní trvanlivosti ovocia a zeleniny

Fir essential oil and its antimicrobial potential in extending the shelf life of fruits and vegetables

Natália ČMIKOVÁ, Andrea VEREŠOVÁ, Miroslava KAČÁNIOVÁ

Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

### Abstract

The silver fir, *Abies alba* Mill. (Pinaceae) is a common gymnosperm species in Europe that is important ecologically, economically, socially, and culturally, as well as for its use in agriculture and bioremediation. The individual components of the plant (leaves, branches, cones, wood, and bark) are also of pharmaceutical importance due to their composition of active chemicals. The aim of this study was the antimicrobial potential of fir essential oil against (AAEO) Gram-positive bacteria of the genus *Listeria* and yeasts of the genus *Candida*. In our study, the disc diffusion method and minimum inhibitory concentration were evaluated in an *in vitro* study and vapor phase on pear and radish in an *in situ* study. *L. innocua* was the most sensitive of all Gram-positive bacteria tested, while AAEO showed intermediate inhibitory activity. Among the yeasts, *C. krusei* was the most sensitive. The lowest MIC 50 (13.45 µl/ml) and MIC 90 (15.67 µl/ml) values were found for *L. innocua*, and for yeasts, the lowest MIC 50 (8.47 µl/ml) and MIC 90 (9.37 µl/ml) values were found for *C. albicans* and *C. glabrata*. At the highest concentration of essential oil (500 µl/l), *L. innocua* was the most strongly inhibited bacterium (56.75 %). For yeasts, the highest inhibition of yeast growth was recorded at 500 µl/l concentration for *C. glabrata*. Using the radish model, the highest inhibition against *L. ivanovii* was recorded at a concentration of 500 µl/l, while for the other listeria, probacterial growth of the bacterium was shown at the lowest concentration. For yeasts, the greatest growth inhibition at the highest concentration was for *C. krusei* and the lowest for *C. glabrata*.

**Keywords:** Gram-positive bacteria, yeast, *Abies alba*, antimicrobial activity, *in vitro*, *in situ*

### Úvod

Jedľa horská (*Abies alba* Mill.) je veľký ihličnan, ktorý sa vyskytuje v strednej Európe a niektorých častiach južnej a východnej Európy. Je to jeden z najvyšších druhov stromov rodu *Abies* v Európe. Tento strom je považovaný za dôležitého ekologického a funkčného vyrovnávača európskych lesov a za základný druh pre udržanie vysokej biodiverzity v zalesnených ekosystémoch (Mauri et al., 2016). Rastlinné silice sú komplexné zmesi zlúčenín, najmä monoterpenových a seskviterpenových uhľovodíkov (10 a 15 atómov uhlíka v uvedenom poradí) a ich kyslíkatých derivátov (alkoholy, aldehydy, estery, ketóny), ako aj fenylypropanoidov (Lee, 2009; Saad et al., 2013), ktoré majú protinádorové, antioxidantné, anti-aging, antimutagené a sedatívne účinky (Kwak et al., 2006; Lee et al., 2007). Rastlinné silice sa získavajú z rastlinných materiálov (listy, puky, plody, kvety, bylinky, vetvičky, kôra, drevo, korene a semená). Rastlinné silice z rôznych druhov rastlín obsahujú viac ako 200 zložiek, ktoré sa skladajú z prchavých a neprchavých zložiek. Aplikácia rastlinných silíc ako antimikrobiálnych, protirakovinových, protizápalových a antivírusových látok je okrem iného vďaka ich účinným vlastnostiam (Aziz et al., 2018). Vďaka hydrofóbnosti zložiek rastlinných silíc ľahko prechádzajú cez membránu bakteriálnej bunky a interferujú s molekulárnymi transportnými mechanizmami vedúcimi k inaktivácii bunky (Burt, 2004; Chouhan et al., 2017; Khorshidian et al., 2018). To nakoniec vedie do značnej miery k smrti bakteriálnej bunky v dôsledku úniku kritických molekúl a iónov. Niektoré zlúčeniny modulujú liekovú

rezistenciu zacielením na efluxné mechanizmy u niekoľkých druhov Gram-negatívnych baktérií (Chouhan et al., 2017). Mnohé experimentálne štúdie potvrdili inhibičný účinok rastlinných silíc na baktérie, huby, kvasinky, vírusy a prvoky. Uvádza sa tiež, že vykazujú protizápalové a imunostimulačné aktivity (Dorman a Deans, 2000; Król et al., 2013). Cieľom našej práce bolo zhodnotenie antimikrobiálnej aktivity jedľovej rastlinnej silice proti Gram-pozitívnym baktériám a kvasinkám v *in vitro* a *in situ* podmienkach.

## **Materiál a metodika práce**

### **Rastlinná silica**

Rastlinná silica *Abies alba* (AARS) bola zakúpená od firmy Hanus, s.r.o. (Nitra, Slovensko). Rastlinná silica (RS) bola pripravená destiláciou čerstvého ihličia vodnou parou. RS bola skladovaná v tme pri teplote 4 °C. Výrobca uvádza chemické zloženie silice nasledovne, bornylacetát 4-11 %,  $\alpha$  a  $\beta$ -pinény, kampfén, gáfor, borneol.

### **Testované mikroorganizmy**

Gram-pozitívne baktérie (*Listeria innocua* CCM 4030, *Listeria ivanovii* CCM 5884, *Listeria monocytogenes* CCM 4699), kvasinky (*Candida albicans* CCM 8186, *Candida glabrata* CCM 8270, *Candida krusei* CCM 8271). Čisté kultúry mikroorganizmov boli získané z českej zbierky mikroorganizmov (Brno, Česká republika).

### **Disková difúzna metóda**

Antimikrobiálna aktivita jedľovej rastlinnej silice *Abies alba* (AARS) bola stanovená diskovou difúznou metódou. Bakteriálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín na Mueller Hinton agare (MHA, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 37 °C a kvasinky na Sabouraud Dextrose agar (SDA, Oxoid, Basingstoke, UK). Inokulum sa upravilo na optickú hustotu 0,5 McFarlandovho štandardu ( $1,5 \times 10^8$  KTJ/ml) a 100  $\mu$ l sa pridalo na platne s MHA a SDA. Sterilné papierové disky 6 mm boli nasýtené 10  $\mu$ l AARS a umiestnili sa na vrstvu agaru obsahujúcu suspenziu mikroorganizmov. Baktérie sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C a kvasinky 24 hodín pri teplote 25 °C. Dve antibiotiká ATB (Gentamicin, Fluconazol, Oxoid, Basingstoke, UK) boli použité ako pozitívne kontroly pre Gram-pozitívne baktérie a kvasinky. Ako negatívna kontrola slúžili disky impregnované 0,1 % DMSO (dimetylsulfoxid, Centralchem, Bratislava, SK). Antimikrobiálna aktivita bola kategorizovaná ako veľmi silná, stredná a slabá, keď bola zóna inhibície rastu väčšia ako 15, 10 a 5 mm, v tomto poradí. Analýzy sa uskutočňovali v triplicate.

### **Minimálna inhibičná koncentrácia (MIC)**

Mikrobiálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín v Mueller Hinton Broth (MHB, Oxoid, Basingstoke, UK) pre baktérie pri teplote 37 °C a v Sabouraud Dextrose Broth (SDB, Oxoid, Basingstoke, UK) pre kvasinky pri teplote 25 °C. Alikvotná časť 50  $\mu$ l inokula s optickou hustotou 0,5 McFarland sa pridala na 96-jamkovú mikrotitračnú platňu. Následne sa AARS pripravila sériovým riedením na koncentračný rozsah od 400  $\mu$ l/ml do 0,2  $\mu$ l/ml v MHB, SDB a 100  $\mu$ l suspenzie sa dôkladne premiešalo s bakteriálnym inokulom v jamkách. Bakteriálne vzorky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C a kvasinky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 25 °C. MHB, SDB s RS bol použitý ako negatívna kontrola a MHB, SDA s inokulom bol použitý ako pozitívna kontrola reprezentujúca neinhibovaný rast. Pre neadherentné mikroorganizmy sa absorbancia merala po inkubačnej perióde pri 570 nm spektrofotometrom Glomax (Promega Inc., Madison, WI, USA).

### ***In situ* analýzy**

Antimikrobiálna analýza parnej fázy AARS *in situ* bola testovaná na všetkých baktériách a kvasinkách na modeli hrušky a reďkovky. Zahriaty MHA, SDA sa nalial do 60 mm Petriho misiek (PD) a do veka PD. Nakrájané jablká a kaleráby na plátky (o veľkosti 0,5 mm) sa umiestnili na agar. Potom sa pripravilo inokulum, ako bolo opísané vyššie. AARS sa zriedila v etylacetáte na 500, 250, 125 a 62,5 µl/l a naniesla sa na sterilný filtračný papier. Po odparení zostávajúceho etylacetátu (1 minúta) sa misky uzavreli a inkubovali pri teplote 37 °C pre baktérie a 25 °C pre kvasinky počas 7 dní. Inhibícia rastu baktérií a kvasiniek bola hodnotená stereologickou metódou.

*In situ* mikrobiálny rast bol stanovený pomocou stereologických metód. V tomto koncepte sa objemová hustota (Vv) mikrobiálnych kolónií najprv odhadla pomocou softvéru ImageJ počítaním bodov stereologickej mriežky zasahujúcich kolónie (P) a tie (p) spadajúce do referenčného priestoru (použitý rastový substrát). Objemová hustota mikrobiálnych kolónií sa následne vypočítala nasledovne:  $Vv (\%) = P/p$ . Antimikrobiálna aktivita EO bola definovaná ako percento inhibície rastu mikroorganizmov (BGI)  $BGI = [(C - T)/C] \times 100$ , kde C a T bol mikrobiálny rast (vyjadrené ako Vv) v kontrolnej skupine a experimentálnej skupine, resp. negatívne výsledky predstavovali stimuláciu rastu.

### **Štatistické vyhodnotenie**

Všetky analýzy boli vykonané v trojnásobnom opakovaní. Štatistická variabilita údajov bola spracovaná pomocou softvéru Microsoft-Excel.

### **Výsledky a diskusia**

Šandru (2015) hodnotila 12 rastlinných silíc z rôznych druhov rastlín z hľadiska ich účinku na *E. coli* pomocou metódy diskovej difúzie. Silica *A. alba* (časti rastlín neuvedené, chemické zloženie nie je uvedené) patrila medzi najaktívnejšie s inhibičnými zónami 17,3-18,1 mm (v závislosti od času merania). Autorka však použila vysoké množstvá RS, 100 µl/disk, čo zodpovedá približne koncentrácii 80 mg/disk. Bağcı a Diğrak (1996) použili metódu diskovej difúzie; pre rôzne bakteriálne druhy bola rastlinná silica *A. alba* (vetvičky a lístie) úplne neaktívna, alebo vykazovala inhibičné zóny 9 mm, alebo menej (iba pri koncentráciách 6,0-9,0 µg/disk; pri nižších koncentráciách bol bez akejkoľvek aktivity. Výsledky sú vo všeobecnosti v súlade so štúdiou diskovej difúzie vykonanej na rastlinnej silici získanej z vetvičiek a listov z kórejských vzoriek. Na piatich druhoch baktérií neboli zistené žiadne antibakteriálne účinky, zatiaľ čo u *S. aureus* 25 µl RS preukázalo asi 70 % inhibičného účinku gentamicínu (25 µg) (Yang et al., 2009). Treba však vziať do úvahy, že 25 µl rastlinnej silice zodpovedá hmotnosti asi 20 mg, nie 25 µg, to znamená koncentráciu asi 800-krát vyššiu (za predpokladu hustoty rastlinnej silice okolo 0,8 g/ml). Mitić et al. (2022) hodnotili RS pripravené z listov troch rodov *Abies* proti 17 mikrobiálnym druhom a vo všetkých z nich silica z *A. alba* nepreukázala žiadny antimikrobiálny účinok až do veľmi vysokých koncentrácií (20 mg/ml). Antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice *A. alba* (AARS) bola uskutočnená diskovou difúznou metódou a minimálnou inhibičnou koncentráciou a výsledky sú uvedené v tabuľke 1. Silná až stredná inhibičná aktivita AARS bola pozorovaná v prípade všetkých testovaných baktérií a kvasiniek. *L. innocua* bola najcitlivejšia zo všetkých testovaných Gram-pozitívnych baktérií, pričom AARS vykazovala stredne silnú inhibičnú aktivitu. Z kvasiniek bola najcitlivejšia *C. krusei*. MIC 50 a MIC 90 boli stanovené analýzou minimálnych inhibičných koncentrácií. Pre *L. innocua* sme zistili najnižšie hodnoty MIC 50 (13,45 µl/ml) a MIC 90 (15,67 µl/ml) a pre kvasinky bola najnižšia hodnota pre *C. albicans* a *C. glabrata* MIC 50 (8,47 µl/ml) a MIC 90 (9,37 µl/ml). Najvyššie hodnoty MIC 50 a MIC 90 boli stanovené pre *L. ivanovii* a *L. monocytogenes*.

Rastlinné silice z rôznych rastlinných druhov boli skúmané pre ich potenciálne antimikrobiálne účinky už v roku 1924 (Bažci a Dižrak, 1996). Uvádza sa, že vo všeobecnosti majú rastlinné silice tendenciu byť aktívnejšie proti kvasinkám ako proti baktériám, ale v štúdiu hodnotiacej antimikrobiálne účinky rastlinných silíc z deviatich druhov a poddruhov taxónov patriacich do rodu *Abies* (vetvičky s listami), rastlinná silica *A. alba* nemala žiadnu aktivitu proti kvasinkám

**Tabuľka 1.** Antimikrobiálna aktivita AARS

Baktéria	Inhibičná zóna (mm)	ATB (mm)	MIC 50 (µl/ml)	MIC 90 (µl/ml)
<i>L. innocua</i>	12,67±0,58	25,67±0,58	13,45	15,67
<i>L. ivanovii</i>	10,67±0,58	25,33±0,58	16,78	18,76
<i>L. monocytogenes</i>	11,33±1,15	27,33±0,58	16,78	18,76
<b>Kvasinka</b>				
<i>C. albicans</i>	14,67±0,58	27,67±0,58	8,47	9,32
<i>C. glabrata</i>	15,33±0,58	28,33±0,58	8,47	9,32
<i>C. krusei</i>	16,67±1,15	27,33±0,58	9,64	11,78

ani proti baktériám (Bažci a Dižrak, 1996). V *in vitro* teste pomocou diskovej difúznej metódy boli RS listov *A. alba*, *Melaleuca armillaris* subsp. *armillaris* Sm. s *M. quinquenervia* (Cav.) S. T. Blake mierne aktívne proti trom druhom *Penicillium*; aktivita silice z listov *A. alba* sa však zdala najnižšia.

V testovaní *In situ*, na niekoľkých potravinách, pri najvyššej testovanej koncentrácii (500 µl/l), mali tri rastlinné silice antimikrobiálne účinky proti *Penicillium citrinum*; rastlinná silica z listov *A. alba* mala strednú aktivitu (medzi týmito tromi silicami) proti *P. expansum*; a najnižšiu aktivitu proti *P. crustosum*. Každopádne, 500 µl/l je dosť vysoká hodnota koncentrácie RS (Valková et al., 2022). Proti *Penicillium verrucosum* bola rastlinná silica pripravená zo šišíek účinnejšia ako rastlinná silica pripravená z ihličia (MIC 6,25 µl/ml oproti 9,38 µl/ml). Obe aktivity však boli mierne aj v porovnaní s rastlinnou silicou z oregana (*Origanum vulgare* L., 1,17 µl/ml), alebo čistým tymolom (125 µg/ml) (Jeršek et al., 2014). Salamon (2019) testoval jedenásť rastlinných silíc z rôznych druhov rastlín, vrátane *A. alba*, metódou diskovej difúzie.

**Tabuľka 2.** *In situ* analýza na hruške a reďkovke

Potravinový model	Mikroorganizmus	Inhibícia bakteriálneho rastu			
		Koncentrácia RS v µl/l			
		62.5	125	250	500
<b>Hruška</b>	<i>L. innocua</i>	15,67±5,67	27,56±5,34	38,98±4,78	56,75±4,32
	<i>L. ivanovii</i>	12,43±5,43	23,53±3,56	35,67±3,57	45,78±4,76
	<i>L. monocytogenes</i>	16,78±4,65	27,83±3,56	38,56±5,43	49,67±4,32
	<i>C. albicans</i>	34,56±5,43	47,56±3,56	67,54±4,36	89,67±3,56
	<i>C. glabrata</i>	41,56±4,67	62,54±5,67	83,12±4,57	94,56±4,76
	<i>C. krusei</i>	42,56±5,76	59,78±5,76	74,63±6,45	91,36±4,34
<b>Reďkovka</b>	<i>L. innocua</i>	-8,76±3,67	7,23±4,65	14,67±5,34	23,43±5,67
	<i>L. ivanovii</i>	5,78±6,63	11,54±5,78	22,54±4,36	32,56±5,73
	<i>L. monocytogenes</i>	-12,34±3,56	-4,35±2,56	6,78±5,43	12,45±4,34

Potravinový model	Mikroorganizmus	Inhibícia bakteriálneho rastu			
		Koncentrácia RS v µl/l			
		62.5	125	250	500
	<i>C. albicans</i>	34,45±4,76	47,67±4,32	65,78±4,78	84,34±4,76
	<i>C. glabrata</i>	33,56±5,34	52,65±5,28	65,74±4,67	83,87±4,76
	<i>C. krusei</i>	26,78±5,75	46,78±4,98	67,54±4,62	88,67±4,87

V jeho práci sa zistilo, že rastlinná silica má slabú, alebo žiadnu aktivitu proti baktériám, ale má druhú najsilnejšiu aktivitu proti *Candida albicans* (ATCC 885-653); tento účinok bol však menej ako polovičný v porovnaní s účinkom pre rastlinnú silicu *Thymus vulgaris* L. Podobné výsledky boli pozorované, keď boli rovnaké rastlinné silice testované proti klinickým izolátom, s tým rozdielom, že v tomto prípade bola silica získaná z *A. alba* mala tretiu najsilnejšiu aktivitu proti *Candida albicans*, pričom bol len o málo nižší ako účinok pozorovaný pre rastlinnú silicu získanú z *Pinus sylvestris* L. (Salamon, 2019).

Antimikrobiálna analýza *in situ* s použitím hrušky ukázala, že väčšina baktérií a kvasiniek bola inhibovaná výparmi AARS vo všetkých testovaných koncentráciách (tabuľka 2). Pri najvyššej koncentrácii silice (500 µl/l) bola *L. innocua* najsilnejšie inhibovaná baktériou (56,75 %). Najslabšia inhibícia pri tejto koncentrácii bola pozorovaná pre *L. ivanovii*. U kvasiniek sa najvyššia inhibícia rastu kvasinky zaznamenala pri koncentrácii 500 µl/l u *C. glabrata*. Pri použití modelu red'kovky bola zaznamenaná najvyššia inhibícia proti *L. ivanovii* pri koncentrácii 500 µl/l, zatiaľ čo u ostatných listérií bol dokázaný v najnižšej koncentrácii probakteriálny rast baktérie. U kvasiniek bola najväčšia inhibícia rastu pri najvyššej koncentrácii u *C. krusei* a najnižšia u *C. glabrata*.

### Záver

Cieľom našej práce bolo sledovanie antimikrobiálnej aktivity jedľovej rastlinnej silice proti Gram-pozitívnym baktériám a kvasinkám. Jedľová rastlinná silica preukázala antimikrobiálny vplyv proti obojm skupinám mikroorganizmov, ale vyššia aktivita bola zaznamenaná proti kvasinkám. Použitím jedľovej rastlinnej silice na modeloch hrušky a red'kovky sme zaznamenali lepší antimikrobiálny potenciál silice proti kvasinkám z rodu *Candida*. Z tohto dôvodu môžeme jedľovú rastlinnú silicu považovať za prostriedok s dobrým antimikrobiálnym efektom a rovnako môže slúžiť ako prostriedok na predĺžovanie trvanlivosti hrušiek a red'kovky.

### Pod'akovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu Agentúry na výskum a vývoj SR na základe Zmluvy č. APVV-20-0058 „Potenciál rastlinných silíc z aromatických rastlín na lekárske použitie a konzerváciu potravín“.

**Kontaktná adresa:** Ing. Natália Čmiková, Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, n.cmikova@gmail.com

### Literatúra

- Aziz, Z.A.A., Ahmad, A., Setapar, S.H.M., Karakucuk, A., Azim, M.M., Lokhat, D., Rafatullah, Mohd., Ganash, M., Kamal, M.A., Ashraf, G.M. 2018. Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential - A Review. In *Current Drug Metabolism*, vol. 19, no. 13, pp. 1100–1110. ISSN: 13892002. Dostupné na: doi:10.2174/1389200219666180723144850
- Bağcı, E., Diğrak, M. 1996. Antimicrobial Activity of Essential Oils of some Abies (Fir) Species from Turkey. In *Flavour and Fragrance Journal*, vol. 11, no. 4, pp. 251–256. ISSN: 0882-5734. Dostupné na: doi:10.1002/(SICI)1099-1026(199607)11:4<251::AID-FFJ577>3.0.CO;2-K

- Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. In *International Journal of Food Microbiology*, vol. 94, no. 3, pp. 223–253. ISSN: 01681605. Dostupné na: doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022
- Chouhan, S., Sharma, K., Guleria, S., 2017. Antimicrobial Activity of Some Essential Oils—Present Status and Future Perspectives. In *Medicines*, vol. 4, no. 3, pp. 58. ISSN: 2305-6320. Dostupné na: doi:10.3390/medicines4030058
- Dorman, H.J.D., Deans, S.G., 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. In *Journal of Applied Microbiology*, vol. 88, no. 2, pp. 308–316. ISSN: 1364-5072, 1365-2672. Dostupné na: doi:10.1046/j.1365-2672.2000.00969.x
- Jeršek, B., Poklar Ulrih, N., Skrt, M., Gavarić, N., Božin, B., Smole Možina, S., 2014. Effects of selected essential oils on the growth and production of ochratoxin A by *Penicillium verrucosum*. In *Arhiv Za Higijenu Rada I Toksikologiju*, vol. 65, no. 2, pp. 199–208. ISSN: 1848-6312. Dostupné na: doi:10.2478/10004-1254-65-2014-2486
- Khorshidian, N., Yousefi, M., Khanniri, E., Mortazavian, A.M., 2018. Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese. In *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 45, pp. 62–72. ISSN: 14668564. Dostupné na: doi:10.1016/j.ifset.2017.09.020
- Król, S.K., Skalicka-Woźniak, K., Kandfer-Szerszeń, M., Stepulak, A., 2013. The biological and pharmacological activity of essential oils in the treatment and prevention of infectious diseases. In *Postępy Higieny I Medycyny Doswiadczalnej*, vol. 67, pp. 1000–1007. ISSN: 1732-2693. Dostupné na: doi:10.5604/17322693.1067687
- Kwak, C.S., Moon, S.C., Lee, M.S., 2006. Antioxidant, Antimutagenic, and Antitumor Effects of Pine Needles (*Pinus densiflora*). In *Nutrition and Cancer*, vol. 56, no. 2, pp. 162–171. ISSN: 0163-5581, 1532-7914. Dostupné na: doi:10.1207/s15327914nc5602\_7
- Lee, J.-H., 2009. Comparative Analysis of Chemical Compositions and Antimicrobial Activities of Essential Oils from *Abies holophylla* and *Abies koreana*. In *Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 19, no. 4, pp. 372–377. ISSN: 10177825, 17388872. Dostupné na: doi:10.4014/jmb.0811.630
- Lee, S.J., Lee, K.W., Hur, H.J., Chun, J.Y., Kim, S.Y., Lee, H.J., 2007. Phenolic Phytochemicals Derived from Red Pine (*Pinus densiflora*) Inhibit the Invasion and Migration of SK-Hep-1 Human Hepatocellular Carcinoma Cells. In *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1095, no. 1, pp. 536–544. ISSN: 0077-8923. Dostupné na: doi:10.1196/annals.1397.058
- Mauri, A., de Rigo, D., Caudullo, G., 2016. *Abies alba* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. ISBN 978-92-79-36740-3.
- Mitić, Z.S., Stojanović- Radić, Z.Z., Jovanović, S.Č., Cvetković, V.J., Nikolić, J.S., Ickovski, J.D., Mitrović, T.Lj., Nikolić, B.M., Zlatković, B.K., Stojanović, G.S., 2022. Essential Oils of Three Balkan *Abies* Species: Chemical Profiles, Antimicrobial Activity and Toxicity toward *Artemia salina* and *Drosophila melanogaster*. In *Chemistry & Biodiversity*, vol. 19, no. 6, pp. 202-235. ISSN: 1612-1872, 1612-1880. Dostupné na: doi:10.1002/cbdv.202200235
- Saad, N.Y., Muller, C.D., Lobstein, A., 2013. Major bioactivities and mechanism of action of essential oils and their components. In *Flavour and Fragrance Journal*, vol. 28, no. 5, pp. 269. ISSN: 0882-5734. Dostupné na: [https://www.academia.edu/7878209/Major\\_bioactivities\\_and\\_mechanism\\_of\\_action\\_of\\_essential\\_oils\\_and\\_their\\_components](https://www.academia.edu/7878209/Major_bioactivities_and_mechanism_of_action_of_essential_oils_and_their_components)
- Salamon, I., 2019. Chemical characterization and antimicrobial activity of some essential oils after their industrial large-scale distillation. In *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, vol. 8, pp. 984–988. Dostupné na: doi:10.15414/jmbfs.2019.8.4.984-988
- Şandru, D.M., 2015. Antimicrobial Effect of *Escherichia Coli* on Essential Oils Derived from Romanian Aromatic Plants. In *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, vol. 19, no. 1, pp. 87–92. Dostupné na: doi:10.1515/auaft-2015-0009
- Valková, V., Ďuranová, H., Vukovic, N.L., Vukic, M., Kluz, M., Kačániová, M., 2022. Assessment of Chemical Composition and Anti-*Penicillium* Activity of Vapours of Essential Oils from *Abies Alba* and Two *Melaleuca* Species in Food Model Systems. In *Molecules*, vol. 27, no. 10, pp. 3101. ISSN: 1420-3049. Dostupné na: doi:10.3390/molecules27103101
- Yang, S.-A., Jeon, S.-K., Lee, E.-J., Im, N.-K., Jhee, K.-H., Lee, S.-P., Lee, I.-S., 2009. Radical Scavenging Activity of the Essential Oil of Silver Fir (*Abies alba*). J. Clin. Radical Scavenging Activity of the Essential Oil of Silver Fir (*Abies alba*). In *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, vol. 44, no. 3, pp. 253–259. ISSN: 1880-5086. Dostupné na: doi:10.3164/jcfn.08-240

## Antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice španielsky majorán

Antimicrobial activity of Spanish marjoram essential oil

Natália ČMIKOVÁ, Andrea VEREŠOVÁ, Miroslava KAČÁNIOVÁ

Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

### Abstract

*Thymus mastichina* essential oil has a wide range of biological activities and is also low toxicity and easily degraded in the human body. These properties make it a good candidate for the protection and shelf-life extension of agricultural products. The aim of our work was to investigate the antimicrobial activity of Spanish marjoram essential oil against Gram-positive bacteria of the genus *Bacillus* and yeasts of the genus *Candida* using the disc diffusion method and the minimum inhibition concentration method. In addition, we investigated the antimicrobial activity on a food model using the method of evaporation of the plant essential oil at different concentrations. The highest antimicrobial activity by disk diffusion method was recorded for *C. glabrata* 17.67±0.58 mm and the lowest for *B. cereus* 10.33±0.58 mm. The lowest MIC 50 (4.22 µl/ml) and MIC 90 (5.68 µl/ml) values were recorded for *C. glabrata* and i yeasts. The highest concentration of vegetable essential oil (500 µl/l) inhibited the growth of *B. cereus* and *C. krusei* yeasts on apple. Similarly, the highest antimicrobial activity was observed at the highest concentration of plant essential oil at the highest concentration of 500 µl/l using kohlrabi as a model food.

**Keywords:** *Thymus mastichina*, antimicrobial activity *in vitro* and *in situ*, bacteria, yeast

### Úvod

*Thymus mastichina* L. je endemický druh Pyrenejského polostrova, bežne známy ako „Bela-Luz“, „Sal-Puro“, „Tymián mastichový“, alebo ako „španielsky majorán“ a patrí do čeľade Lamiaceae (Cutillas et al., 2018; Macedo Arantes et al., 2019; Rodrigues et al., 2020). Táto aromatická rastlina je polo drevnatý ker, ktorý dorastá do výšky 50 cm a vyznačuje sa jednoduchými a protíahlými listami a dvojlaločnými skupinami kvetov v hlavičke, alebo kapitule, ktoré kvitnú od apríla do júna (Miguel et al., 2002). *T. mastichina* možno nájsť v džungli, neobrábanej, ruderalnej a rupikolóznej krajine a na suchých kamenistých otvorených miestach, s výnimkou vápenatých oblastí (Miguel et al., 2004), pretože je veľmi odolná voči mrazu, chorobám a škodcom. *T. mastichina* je známa pre svoju silnú tymianovú vôňu a používa sa pri rôznych zdravotných problémoch vďaka svojim antiseptickým, tráviciam, antireumatickým a antitusickým účinkom (Méndez-Tovar et al., 2015a, 2015b; Taghouti et al., 2020). *T. mastichina* sa môže používať v čerstvej, alebo suchej forme a jej listy sa tradične používajú ako ochucovadlo/korenie, pri dochucovaní tradičných jedál a šalátov, na konzervovanie olív, na aromatizáciu olivového oleja a ako náhrada soli (Barros et al., 2011). Táto liečivá a aromatická rastlina sa využíva aj ako zdroj silice v kozmetickom a voňavkárskom priemysle (Asensio et al., 2014). Zelenina a ovocie patria medzi produkty podliehajúce skaze s krátkou trvanlivosťou po zbere. Tieto komodity sú vystavené riziku mechanického poškodenia, zmeny fyzikálnych parametrov a kontaminácie pri manipulácii rôznymi mikrobiálnymi patogénmi (Ding a Lee, 2019). Cieľom našej práce bolo sledovanie antimikrobiálnej aktivity rastlinnej silice španielsky majorán proti baktériám z rodu *Bacillus* a kvasinkám z rodu *Candida*.



## **Materiál a metodika práce**

### **Rastlinná silica**

Rastlinná silica *Thymus mastichina* (TMRS) bola zakúpená od firmy Hanus, s.r.o. (Nitra, Slovensko). Rastlinná silica (RS) bola vyrobená destiláciou kvitnúcej vňate vodnou parou. RS pred použitím bola skladovaná v tme pri teplote 4 °C. Výrobca uvádza chemické zloženie silice nasledovne, cineol 45-65 %, linalol 8-30 %, 4-terpinenol, beta-pinén, alfa-pinén, limonén, alfa-terpineol.

### **Testované mikroorganizmy**

Gram-pozitívne baktérie (*Bacillus cereus* CCM 2010, *Bacillus subtilis* subs. *Spizizenii* CCM 1999, *Bacillus thuringiensis* CCM 19), kvasinky (*Candida albicans* CCM 8186, *Candida glabrata* CCM 8270, *Candida krusei* CCM 8271). Čisté kultúry mikroorganizmov boli získané z českej zbierky mikroorganizmov (Brno, Česká republika).

### **Disková difúzna metóda**

Antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice španielsky majorán *Thymus mastichina* (TMRS) bola stanovená diskovou difúznou metódou. Bakteriálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín na Mueller Hinton agare (MHA, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 37 °C a kvasinky na Sabouraud Dextrose agare (SDA, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 25 °C. Inokulum sa upravilo na optickú hustotu 0,5 McFarlandovho štandardu ( $1,5 \times 10^8$  KTJ/ml) a 100 µl sa pridalo na platne s MHA a SDA. Sterilné papierové disky 6 mm boli nasýtené 10 µl TMRS a umiestnili sa na vrstvu agaru obsahujúcu suspenziu mikroorganizmov. Baktérie sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C a kvasinky 24 hodín pri teplote 25 °C. Dve antibiotiká (ATB) (Gentamicin, Fluconazol, Oxoid, Basingstoke, UK) boli použité ako pozitívne kontroly pre Gram-pozitívne baktérie a kvasinky. Ako negatívna kontrola slúžili disky impregnované 0,1 % DMSO (Dimetylsulfoxid, Centralchem, Bratislava, SK). Antimikrobiálna aktivita bola kategorizovaná ako veľmi silná, stredná a slabá, keď bola zóna inhibície rastu väčšia ako 15, 10 a 5 mm, v tomto poradí. Analýzy sa uskutočňovali v troch opakovaníach.

### **Minimálna inhibičná koncentrácia (MIC)**

Mikrobiálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín v Mueller Hinton Broth (MHB, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 37 °C pre baktérie a v Sabouraud Dextrose Broth (SDB, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 25 °C pre kvasinky. Alikvotná časť 50 µl inokula s optickou hustotou 0,5 McFarland sa pridala na 96-jamkovú mikrotitračnú platňu. Následne sa TMRS pripravila sériovým riedením na koncentračný rozsah od 400 µl/ml do 0,2 µl/ml v MHB, SDB a 100 µl suspenzie sa dôkladne premiešalo s mikrobiálnym inokulom v jamkách. Bakteriálne vzorky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C a kvasinky pri teplote 25 °C počas 24 hodín. MHB, SDB s RS bol použitý ako negatívna kontrola a MHB, SDA s inokulom bol použitý ako pozitívna kontrola reprezentujúca neinhibovaný rast. Pre neadherentné mikroorganizmy sa absorbancia merala po inkubačnej perióde pri 570 nm spektrofotometrom Glomax (Promega Inc., Madison, WI, USA).

### **In situ analýzy**

Antimikrobiálna analýza parnej fázy TMRS *in situ* bola testovaná na všetkých baktériách a kvasinkách na modeli jablka a kalerábu. Zahriaty MHA, SDA sa nalial do 60 mm Petriho misiek (PD) a do veka PD. Nakrájané jablká a kaleráby na plátky (o veľkosti 0,5 mm) sa umiestnili na agar. Potom sa pripravilo inokulum, ako bolo opísané vyššie. TMRS sa zriedila v etylacetáte na 500, 250, 125 a 62,5 µl/l a naniesla sa na sterilný filtračný papier. Po odparení zostávajúceho etylacetátu (1 minúta) sa misky uzavreli a inkubovali pri teplote 37 °C pre

baktérie a 25 °C pre kvasinky počas 7 dní. Inhibícia rastu baktérií a kvasiniek bola hodnotená stereologickou metódou.

*In situ* mikrobiálny rast bol stanovený pomocou stereologických metód. V tomto koncepte sa objemová hustota (Vv) mikrobiálnych kolónií najprv odhadla pomocou softvéru ImageJ počítaním bodov stereologickej mriežky zasahujúcich kolónie (P) a tie (p) spadajúce do referenčného priestoru (použitý rastový substrát). Objemová hustota mikrobiálnych kolónií sa následne vypočítala nasledovne:  $Vv (\%) = P/p$ . Antimikrobiálna aktivita EO bola definovaná ako percento inhibície rastu mikroorganizmov (BGI)  $BGI = [(C - T)/C] \times 100$ , kde C a T bol mikrobiálny rast (vyjadrené ako Vv) v kontrolnej skupine a experimentálnej skupine, resp. negatívne výsledky predstavovali stimuláciu rastu.

### Štatistické vyhodnotenie

Všetky analýzy boli vykonané v trojnásobnom opakovaní. Štatistická variabilita údajov bola spracovaná pomocou softvéru Microsoft-Excel.

### Výsledky a diskusia

Antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice španielskeho majoránu (TMRS) bola hodnotená diskovou difúznou metódou a minimálnou inhibičnou koncentráciou a výsledky sú uvedené v tabuľke 1. Silná a stredne silná inhibičná aktivita TMRS bola pozorovaná v prípade všetkých testovaných baktérií a kvasiniek. Najvyššia antimikrobiálna aktivita bola zaznamenaná v prípade kvasinky *C. glabrata* 17,67±0,58 mm a najnižšia v prípade *B. cereus* 10,33±0,58 mm. Najnižšie hodnoty MIC 50 (4,22 µl/ml) a MIC 90 (5,68 µl/ml) boli zaznamenané u kvasiniek *C. glabrata* a *C. krusei*. Najvyššia hodnota MIC 50 a MIC 90 bola stanovené pre Gram-pozitívnu baktériu *B. subtilis*. Antimikrobiálna aktivita TMRS z chemotypu Algarve a dvoch chemotypov Sesimbra (Estremadura) z Portugalska, bola hodnotená metódou diskovej agarovej difúzie (Faleiro et al., 2003). Testované mikroorganizmy (*Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*) vykazovali rôznu citlivosť. Najmä TMRS (3 µl) z Algarve vykazovala najvyššiu aktivitu proti *S. aureus* s priemerom zóny inhibície 13,7 a 15,7 mm pre kvet a list, zatiaľ čo TMRS z Sesimbra (Estremadura) mala najvyššiu aktivitu proti *S. aureus*, pričom vykazovala priemer zóny inhibície 13,3 mm pre chemotyp A. Výsledky našich analýz zaznamenali podobné výsledky v prípade Gram-pozitívnych baktérií.

Tabuľka 1. Antimikrobiálna aktivita TMRS.

Baktéria	Inhibičná zóna (mm)	ATB (mm)	MIC 50 (µg/ml)	MIC 90 (µg/ml)
<i>B. cereus</i>	10,33±0,58	24,33±0,58	15,24	18,36
<i>B. subtilis</i>	12,33±0,58	25,33±0,58	18,39	21,42
<i>B. thuriangensis</i>	13,67±0,58	28,33±0,58	15,24	18,36
<b>Kvasinka</b>				
<i>C. albicans</i>	15,33±0,58	18,33±0,58	6,35	8,79
<i>C. glabrata</i>	17,67±0,58	17,67±0,58	4,22	5,68
<i>C. krusei</i>	16,33±0,58	15,67±0,58	4,22	5,68

TMRS s pôvodom z rôznych bioklimatických oblastí v okolí Murcie (Španielsko) preukázali aktivitu (inhibíciu rastu) proti Gram-pozitívnej (*S. aureus* citlivým na metilín), Gram-

negatívnej (*E. coli*) a kvasinke (*C. albicans*). Boli však medzi nimi identifikované určité rozdiely, pravdepodobne v dôsledku vplyvu podnebia na rozdielne zloženie silice. Najmä TMRS z nadstredomorskej bioklimatickej oblasti (Moratalla, Španielsko) mal vyššiu inhibíciu proti *C. albicans* ako TMRS z iných bioklimatických oblastí (Caravaca de la Cruz a Lorca, Španielsko) vďaka vysokej koncentrácii linaloolu (Cutillas et al., 2018). Iné štúdie však uviedli nižšie antibakteriálne aktivity TMRS ako tie, ktoré sa našli v našej štúdii (Peñalver et al., 2005; Vieira et al., 2017). V ďalšej štúdii (Macedo Arantes et al., 2019) opísali široké spektrum antibakteriálnej aktivity TMRS proti niekoľkým kmeňom. Pozorovala sa vyššia citlivosť pozorovaná u Gram-negatívnych baktérií (*E. coli*, *Morganella morganii*, *P. mirabilis*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella typhimurium* a *Pseudomonas aeruginosa*) ako u Gram-pozitívnych (*S. aureus* citlivý na meticilín, *Staphylococcus epidermidis* a *Enterococcus faecalis*) pri teste stanovenia MIC pomocou mikroriedenia v bujóne.

Proti *C. albicans* bola pozorovaná antifungálna aktivita TMRS zo Sesimbry (Estremadura, Portugalsko) (Faleiro et al., 2003). Antifungálna kapacita TMRS proti *Candida* spp. boli tiež hodnotené pomocou mikrodilučnej metódy, ktorá umožňuje stanovenie MIC (Pina-Vaz et al., 2004). Výrazné zvýšenie antimykotickej aktivity zmesi extraktov z *Rosmarinus officinalis*, *Salvia lavandulifolia*, *T. mastichina* a chitosanu proti rôznym kvasinkám (*C. albicans*, *Pichia anomala*, *Pichia membranaefaciens* a *Saccharomyces cerevisiae*) a vláknitým hubám (*Aspergillus niger* a *Penicillium digitatum*) (Giner et al., 2012).

**Tabuľka 2.** *In situ* analýza na jablkách a kalerábe

Potravinový model	Mikroorganizmus	Inhibícia bakteriálneho rastu			
		Koncentrácia RS v µl/l			
		62.5	125	250	500
<b>Jablko</b>	<i>B. cereus</i>	12,34±4,67	23,56±3,68	36,78±5,32	67,45±4,32
	<i>B. subtilis</i>	15,45±3,56	26,78±4,32	35,78±3,76	48,45±4,78
	<i>B. thuriangensis</i>	23,56±4,67	35,67±5,67	47,43±3,67	63,67±4,67
	<i>C. albicans</i>	26,89±5,78	37,56±4,56	48,78±6,78	84,67±4,67
	<i>C. glabrata</i>	34,56±3,65	47,56±4,67	57,56±5,78	86,67±4,75
	<i>C. krusei</i>	28,64±4,67	45,66±3,78	64,58±6,43	92,47±4,67
<b>Kaleráb</b>	<i>B. cereus</i>	16,67±4,57	24,35±4,76	35,76±4,67	47,88±4,76
	<i>B. subtilis</i>	13,54±5,43	26,76±5,76	37,56±4,76	49,65±4,56
	<i>B. thuriangensis</i>	18,76±5,87	27,65±3,76	36,75±5,98	51,63±4,76
	<i>C. albicans</i>	34,56±7,65	47,67±5,83	58,78±6,54	76,34±3,59
	<i>C. glabrata</i>	47,78±5,76	59,67±7,65	75,67±4,54	94,32±4,57
	<i>C. krusei</i>	56,78±4,65	67,78±6,67	82,45±4,76	96,78±5,78

Rastlinná silica *Thymus mastichina* mala vyššiu účinnosť v parnej fáze. Pre väčšinu testovaných mikroorganizmov a na všetkých testovaných plodinách najvýznamnejšia inhibícia bola zistená pri najnižšej testovanej koncentrácii 62,5 µl/l. Tieto zistenia naznačujú, že v budúcnosti by rastlinná silica *Thymus mastichina* mohla nájsť uplatnenie pri skladovaní plodín, aby sa zabránilo znehodnoteniu plodín v dôsledku mikrobiálnych patogénov (Galovičová et al., 2023). Antimikrobiálna analýza *in situ* s použitím jablka a kalerábu ukázala, že všetky baktérie a kvasinky boli inhibované TMRS vo všetkých testovaných koncentráciách (tabuľka 2). Pri najvyššej koncentrácii TMRS (500 µl/l) bola na jablku najsilnejšie inhibovaná baktériou *B. cereus* (67,45 %) a kvasinkou *C. krusei* (92,47 %). Rovnako pri najvyššej koncentrácii 500 µl/l s použitím kalerábu ako modelovej potraviny boli zaznamenané najlepšie výsledky metódou *in situ*. TMRS bola najúčinnnejšia v koncentrácii 500 µl/l na baktériu *B. thuriangensis* (51,63 %) a na kvasinku *C. krusei* (96,78 %).

Paris et al. (2020), vo svojej práci analyzovali antifungálny a antibakteriálny účinok rastlinných silíc na umyté ovocie v kontaktnej fáze proti kazeniu ovocia patogénmi a dospel k záveru, že parná fáza je viac účinnejšie ako kontaktná fáza, pretože rastlinné silice sú bohaté na prchavé látky, čo potvrdzujú naše zistenia. Naproti tomu Ács et al. (2018) vo svojej štúdiu uviedli, že rastlinné silice mali silnejší inhibičný efekt v tekutej forme, čo je pravdepodobne spôsobené priamym kontaktom s patogénom.

### Záver

Výsledkami našich analýz sme zistili, že rastlinná silica španielskeho majoránu mala vyšší inhibičný účinok na rast kvasiniek ako na Gram-pozitívne baktérie. Výsledkami našich analýz sme zistili, že táto rastlinná silica sa vyznačuje silnou antimikrobiálnou aktivitou proti rôznym baktériám a kvasinkám a môže sa podieľať na predlžovaní trvanlivosti ovocia a zeleniny.

### Pod'akovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu Agentúry na výskum a vývoj SR na základe Zmluvy č. APVV-20-0058 „Potenciál rastlinných silíc z aromatických rastlín na lekárske použitie a konzerváciu potravín“.

### Kontaktná adresa:

Ing. Natália Čmiková, Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, n.cmikova@gmail.com

### Literatúra

- Ács, K., Balázs, V., Kocsis, B., Bencsik, T., Böszörményi, A. 2018. Antibacterial activity evaluation of selected essential oils in liquid and vapor phase on respiratory tract pathogens. In *BMC Complementary and Alternative Medicine*. vol. 1, no. 18, pp. 227. Dostupné na: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12906-018-2291-9>
- Asensio, S.M., Mendez, I., Santiago, Y., Martín, H., Herrero, B. 2014. Phenolic compounds variability in hydrodistilled residue of *Thymus mastichina*. V: *VII Congreso Iberico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas: Innovar y Producir Para el Futuro*. Madrid: UPM, s. 2086–2091.
- Barros, L., Carvalho, A., Ferreira, I. 2011. From famine plants to tasty and fragrant spices: Three Lamiaceae of general dietary relevance in traditional cuisine of Trás-os-Montes (Portugal). In *LWT - Food Science and Technology* vol.44, pp. 543–548. Dostupné na: doi:10.1016/j.lwt.2010.07.008
- Cutillas, A.-B., Carrasco, A., Martínez-Gutiérrez, R., Tomás, V., Tudela, J. 2018. *Thymus mastichina* L. essential oils from Murcia (Spain): Composition and antioxidant, antienzymatic and antimicrobial bioactivities. In *PLOS ONE*. vol. 13, no. 1, pp. 19-79. ISSN: 1932-6203. Dostupné na: doi:10.1371/journal.pone.0190790
- Ding, P., Lee, P. 2019. Use of essential oils for prolonging postharvest life of fresh fruits and vegetables. *International Food Research Journal* 26, 363–366.
- Faleiro, M.L., Miguel, M.G., Ladeiro, F., Venâncio, F., Tavares, R., Brito, J.C., Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G. 2003. Antimicrobial activity of essential oils isolated from Portuguese endemic species of *Thymus*. In *Letters in Applied Microbiology*, vol.36, no. 1, pp. 35–40. ISSN: 0266-8254. Dostupné na: doi:10.1046/j.1472-765x.2003.01259.x
- Galovičová, L., Čmiková, N., Valková, V., Kačániová, M., 2023. Antibacterial activity of the vapor phase of *Thymus mastichina* essential oil. In *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, vol. 7, no. 1, pp. 85–90. ISSN: 2651-401X. Dostupné na: doi:10.30516/bilgesci.1208083
- Giner, M.J., Vegara, S., Funes, L., Martí, N., Saura, D., Micol, V., Valero, M., 2012. Antimicrobial activity of food-compatible plant extracts and chitosan against naturally occurring micro-organisms in tomato juice. In *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 92, no. 9, pp. 1917–1923. ISSN: 1097-0010. Dostupné na: doi:10.1002/jsfa.5561
- Macedo Arantes, S., Piçarra, A., Guerreiro, M., Salvador, C., Candeias, F., Caldeira, A., Martins, M.R., 2019. Toxicological and pharmacological properties of essential oils of *Calamintha nepeta*, *Origanum virens* and *Thymus mastichina* of Alentejo (Portugal). In *Food and Chemical Toxicology*, vol. 133, pp. 110747. Dostupné na: doi:10.1016/j.fct.2019.110747
- Méndez-Tovar, I., Martín, H., Calvo, Y., Ibeas, A., Herrero, B., Asensio-S.-Manzanera, M.C., 2015a. Variation in morphological traits among *Thymus mastichina* (L.) L. populations. In *Genetic Resources and Crop Evolution*, vol. 62. Dostupné na: doi:10.1007/s10722-015-0229-3

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

- Méndez-Tovar, I., Sponza, S., Asensio-S-Manzanera, M.C., Novak, J., 2015b. Contribution of the main polyphenols of *Thymus mastichina* subsp. *mastichina* to its antioxidant properties. In *Industrial Crops and Products*, vol. 66, pp. 291–298. ISSN: 0926-6690. Dostupné na: doi:10.1016/j.indcrop.2014.11.029
- Miguel, G., Guerrero, C., Rodrigues, H., Brito, J., Venâncio, F., Tavares, R., Duarte, F., 2002. Effect of Substrate on the Essential Oils Composition of *Thymus mastichina* (L.) L. Subsp. *mastichina* Collected in Sesimbra Region (Portugal). pp. 143–148. ISBN 978-90-481-6186-7. Dostupné na: doi:10.1007/978-94-015-9876-7\_14
- Miguel, M.G., Duarte, F., Venancio, F., Tavares, R., 2004. Comparison of the main components of the essential oils from flowers and leaves of *Thymus mastichina* (L.) L. ssp *mastichina* collected at different regions of Portugal. In *Journal of Essential Oil Research*, vol. 16, pp. 323–327. ISSN: 1041-2905. Dostupné na: <https://sapientia.ualg.pt/handle/10400.1/6357>
- Paris, M.J., Ramírez-Corona, N., Palou, E., López-Malo, A., 2020. Modelling release mechanisms of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) essential oil encapsulated in alginate beads during vapor-phase application. In *Journal of Food Engineering*, vol. 282, pp. 110-124. ISSN: 0260-8774. Dostupné na: doi:10.1016/j.jfoodeng.2020.110024
- Peñalver, P., Huerta, B., Borge, C., Astorga, R., Romero, R., Perea, A., 2005. Antimicrobial activity of five essential oils against origin strains of the Enterobacteriaceae family. In *APMIS: acta pathologica, microbiologica, et immunologica Scandinavica*. vol. 113, no. 1, pp. 1–6. ISSN: 0903-4641. Dostupné na: doi:10.1111/j.1600-0463.2005.apm1130101.x
- Pina-Vaz, C., Gonçalves Rodrigues, A., Pinto, E., Costa-de-Oliveira, S., Tavares, C., Salgueiro, L., Cavaleiro, C., Gonçalves, M.J., Martinez-de-Oliveira, J., 2004. Antifungal activity of *Thymus* oils and their major compounds. In *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology: JEADV*. vol. 18, no. 1, pp. 73–78. ISSN: 0926-9959. Dostupné na: doi:10.1111/j.1468-3083.2004.00886.x
- Rodrigues, M., Lopes, A.C., Vaz, F., Filipe, M., Alves, G., Ribeiro, M.P., Coutinho, P., Araujo, A.R.T.S., 2020. *Thymus mastichina*: Composition and Biological Properties with a Focus on Antimicrobial Activity. In *Pharmaceuticals*. vol. 13, no. 12, pp. 479. ISSN: 1424-8247. Dostupné na: doi:10.3390/ph13120479
- Taghouti, M., Martins-Gomes, C., Schäfer, J., Santos, J.A., Bunzel, M., Nunes, F.M., Silva, A.M., 2020. Chemical Characterization and Bioactivity of Extracts from *Thymus mastichina*: A *Thymus* with a Distinct Salvianolic Acid Composition. In *Antioxidants*. vol. 9, no. 1, pp. 34. ISSN: 2076-3921. Dostupné na: doi:10.3390/antiox9010034
- Vieira, M., Bessa, L.J., Martins, M.R., Arantes, S., Teixeira, A.P.S., Mendes, Â., Martins da Costa, P., Belo, A.D.F. 2017. Chemical Composition, Antibacterial, Antibiofilm and Synergistic Properties of Essential Oils from *Eucalyptus globulus* LABILL and Seven Mediterranean Aromatic Plants. In *Chemistry & Biodiversity*. vol. 14, no. 6, pp. 1700-1706. ISSN: 16121872. Dostupné na: doi:10.1002/cbdv.201700006

## Biologická aktivita koriandrovej rastlinnej silice proti Gram-pozitívnym a Gram-negatívnym baktériám

Biological activity of coriander essential oil against Gram-positive and Gram-negative bacteria

Miroslava KAČÁNIOVÁ<sup>1</sup>, Andrea VEREŠOVÁ<sup>1</sup>, Jana ŠTEFÁNIKOVÁ<sup>2</sup>, Natália ČMIKOVÁ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>2</sup>Výskumné centrum AgroBioTech, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Trieda A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

### Abstract

Coriander essential oil is used as a flavoring agent, but it also has a long history in traditional medicine. It is obtained by steam distillation of dried fully ripe fruits of *Coriandrum sativum* L. The aim of our work was to evaluate the antimicrobial activity of coriander essential oil against Gram-positive and Gram-negative bacteria. The antimicrobial activity under *in vitro* conditions was monitored by disc diffusion method and minimum inhibition concentration. Antimicrobial activity under *in situ* conditions was monitored in pear and carrot model. The best antimicrobial activity was found in *in vitro* conditions against *Enterococcus faecalis* by both methods and in *in situ* conditions was also demonstrated in pear and carrot against *Streptococcus pneumoniae*. From our point of view, coriander essential oil can be evaluated as a good antimicrobial agent and can also provide a shelf-life extension of food of plant origin.

**Keywords:** *Coriandrum sativum*, disc diffusion method, minimal inhibition concentration, bacteria, vapor phase

### Úvod

*Coriandrum sativum* L., známy ako koriander, sa bežne používa pre svoje čerstvé listy a suchý prášok z jeho plodov, ktoré majú organoleptické a aromatické vlastnosti. Patrí medzi najpoužívanejšie liečivé rastliny, ktoré majú nutričné aj liečivé vlastnosti (Delaquis 2002; Laribi et al. 2015). Hippokrates (asi 460 – 377 p. n. l.) používal koriander v tradičnej gréckej medicíne. Semená koriandra boli objavené v staroegyptskej hrobke Ramesesa II. Egypťania túto bylinu nazývali „korením šťastia“, pretože ju považovali za afrodisiakum. Koriander používali na dochucovanie vína a ako liek aj Gréci a Rimania (Burdock a Carabin 2009). Rastlina koriandra sa používa hlavne na výrobu omáčok, šalátov a polievok. Čerstvé zelené listy majú jedinečnú vôňu a často sa používajú ako dôležitá prísada v thajskej a vietnamskej kuchyni (Laribi et al. 2015). Okrem toho sa bežne vyskytuje v tureckej kuchyni a najmä čerstvé listy rastliny sa pridávajú do polievky s názvom „ayran aşı“, čo je prírodný produkt vyrobený z jogurtu s vysokou nutričnou hodnotou. Vďaka prídavku koriandra má táto polievka zvláštnu vôňu a netypickú chuť od iných polievok varených rovnakým spôsobom. Mikroorganizmy, vrátane Gram-pozitívnych a Gram-negatívnych baktérií, okrem húb, boli uznané za hlavných pôvodcov rôznych ľudských infekcií a zohrávajú rozhodujúcu úlohu pri kazení potravín. Existuje celosvetový trend skúmania nových alternatív na kontrolu chorôb prenášaných potravinami. Tento trend si vyžiadal vývoj nových antimikrobiálnych liečiv. Aromatické a liečivé rastliny sú zdrojom aktívnych molekúl a produkujú širokú škálu prchavých alifatických a cyklických uhľovodíkov. Bioaktívne fytochemikálie z týchto rastlín sa často získavajú ako „rastlinné silice“ (RS) hydrodestiláciou celých tkanív alebo semien (Calo et al. 2015; Ertas et al. 2015). RS sú aromatické kvapaliny, ktoré majú zvyčajne antimikrobiálne a antioxidantné vlastnosti, ktoré sa získavajú z bylín, ovocia, korenia alebo

kvetov. Môžu sa použiť ako príchute potravín, alebo konzervačné látky ako aj na lekárske účely. *C. sativum* RS má charakteristickú vôňu linaloolu a jemnú, sladkú, aromatickú chuť. Antimikrobiálna aktivita bola zistená u rastlinných silíc extrahovaných zo semien a listov *C. sativa* proti rôznym druhom Gram-pozitívnych aj Gram-negatívnych baktérií, kvasiniek a húb. Zároveň jeho vysoké antioxidačné a antimikrobiálne aktivity súvisia s prítomnosťou fytochemikálií, ako je linalool, gáfor, geraniol a geranylacetát (Matasyoh et al. 2009; Shahwar et al. 2012).

Cieľom našej práce bolo sledovanie antimikrobiálnej aktivity koriandrovej rastlinnej silice proti baktériám s využitím diskovej difúznej metódy a minimálnej inhibičnej koncentrácie *in vitro* a v parnej fáze metódou *in situ*.

## **Materiál a metodika práce**

### **Rastlinná silica**

Rastlinná silica *Coriandrum sativum* bola zakúpená od firmy Hanus, s.r.o. (Nitra, Slovensko). Rastlinná silica (RS) bola vyrobená destiláciou suchých plodov vodnou parou. RS bola skladovaná v tme pri teplote 4 °C. Výrobca uvádza chemické zloženie silice nasledovne: D-linalool min. 65 %, a-pinén, myrcén, undekanal, geraniol.

### **Testované mikroorganizmy**

Gram-pozitívne baktérie (*Enterococcus faecalis* CCM 4224, *Staphylococcus aureus* subsp. *aureus* CCM 2461, *Streptococcus pneumoniae* CCM 4501), Gram-negatívne baktérie (*Escherichia coli* CCM 3988, *Salmonella enterica* subsp. *enterica*, CCM 3807, *Yersinia enterocolitica* CCM 5671). Čisté kultúry mikroorganizmov boli získané z českej zbierky mikroorganizmov (Brno, Česká republika).

### **Disková difúzna metóda**

Antimikrobiálna aktivita koriandrovej (*Coriandrum sativum*) rastlinnej silice (CSRS) bola stanovená diskovou difúznou metódou. Mikrobiálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín na Mueller Hinton agare (MHA, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 37 °C. Inokulum sa pripravilo na optickú hustotu 0,5 McFarlandovho štandardu ( $1,5 \times 10^8$  KTJ/ml) a 100 µl inokula sa pridalo na platne s MHA. Sterilné papierové disky 6 mm boli nasýtené 10 µl CSRS a umiestnili sa na vrstvu agaru obsahujúcu suspenziu mikroorganizmov. Vzorky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C. Dve antibiotiká (ATB) (Cefoxitin, Gentamicin, Oxoid, Basingstoke, UK) boli použité ako pozitívne kontroly pre Gram-negatívne a Gram-pozitívne baktérie. Ako negatívna kontrola slúžili disky impregnované 0,1 % DMSO (dimetylsulfoxid, Centralchem, Bratislava, SK). Antimikrobiálna aktivita bola kategorizovaná ako veľmi silná, stredná a slabá, keď bola zóna inhibície rastu väčšia ako 15, 10 a 5 mm, v tomto poradí. Analýzy sa uskutočňovali trojmo.

### **Minimálna inhibičná koncentrácia (MIC)**

Bakteriálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín v Mueller Hinton Broth (MHB, Oxoid, Basingstoke, UK) pri 37 °C. Alikvotná časť 50 µl inokula s optickou hustotou 0,5 McFarland sa pridala na 96-jamkovú mikrotitračnú platňu. Následne sa *C. verum* RS pripravila sériovým riedením na koncentračný rozsah od 400 µl/ml do 0,2 µl/ml v MHB a 100 µl suspenzie sa dôkladne premiešalo s bakteriálnym inokulom v jamkách. Bakteriálne vzorky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C. MHB s RS bol použitý ako negatívna kontrola a MHB s inokulom bol použitý ako pozitívna kontrola reprezentujúca neinhibovaný rast. Pre neadherentné mikroorganizmy sa absorbancia merala po inkubačnej dobe pri 570 nm spektrofotometrom Glomax (Promega Inc., Madison, WI, USA).

### ***In situ* analýzy**

Antibakteriálna analýza parnej fázy RS *in situ* bola testovaná na všetkých baktériách na modeli hrušky a mrkvy. Zahriaty MHA sa nalial do 60 mm Petriho misiek (PD) a do veka PD. Nakrájané hrušky a mrkva na plátky (o veľkosti 0,5 mm) sa umiestnili na agar. Potom sa pripravilo inokulum, ako bolo opísané vyššie. RS sa zriedila v etylacetáte na 500, 250, 125 a 62,5 µl/l a naniesla sa na sterilný filtračný papier. Po odparení zostávajúceho etylacetátu (1 minúta) sa misky uzavreli a inkubovali pri teplote 37 °C počas 7 dní. Inhibícia rastu baktérií bola hodnotená stereologickou metódou.

*In situ* bakteriálny rast bol stanovený pomocou stereologických metód. V tomto koncepte sa objemová hustota (Vv) bakteriálnych kolónií najprv odhadla pomocou softvéru ImageJ počítaním bodov stereologickej mriežky zasahujúcich kolónie (P) a tie (p) spadajúce do referenčného priestoru (použitý rastový substrát). Objemová hustota bakteriálnych kolónií sa následne vypočítala nasledovne:  $Vv (\%) = P/p$ . Antibakteriálna aktivita EO bola definovaná ako percento inhibície rastu baktérií (BGI)  $BGI = [(C - T)/C] \times 100$ , kde C a T bol bakteriálny rast (vyjadrené ako Vv) v kontrolnej skupine a experimentálnej skupine, resp. negatívne výsledky predstavovali stimuláciu rastu.

### **Štatistické vyhodnotenie**

Všetky analýzy boli vykonané v trojnásobnom opakovaní. Štatistická variabilita údajov bola spracovaná pomocou softvéru Microsoft-Excel.

### **Výsledky a diskusia**

Bakteriálne infekcie sú jedným z najzávažnejších zdravotných problémov na celom svete, ktorý vyžaduje objavenie nových účinných antimikrobiálnych látok. Rezistencia na antibiotiká je hlavnou hrozbou pre ľudí a životné prostredie, sú potrebné štúdie o antimikrobiálnych vlastnostiach rôznych foriem tradične používaných rastlín. Antimikrobiálna aktivita koriandrovej rastlinnej silice (CSRS) bola hodnotená diskovou difúznou metódou a minimálnou inhibičnou koncentráciou a výsledky sú uvedené v tabuľke 1. Silná až stredná inhibičná aktivita CSRS bola pozorovaná v prípade väčšiny testovaných baktérií. *E. faecalis* bol najcitlivejšou baktériou zo všetkých testovaných baktérií, pričom CSRS vykazovala veľmi silnú inhibičnú aktivitu. MIC 50 a MIC 90 boli stanovené analýzou minimálnych inhibičných koncentrácií. Pre *E. faecalis* a *S. pneumoniae* sme zistili najnižšie hodnoty MIC 50 (15,47 µl/ml) a MIC 90 (18,34 µl/ml). Najvyššie hodnoty MIC 50 a MIC 90 boli stanovené pre Gram-negatívne baktérie *S. enterica* a *Y. monocytogenes*. Stredné hodnoty MIC 50 a MIC 90 boli stanovené pre *E. coli* a *S. aureus*. Mnohé štúdie dokázali, že rastlinné silice koriandra inhibujú široké spektrum mikroorganizmov (Delaquis 2002; Duman et al. 2010; Lo Cantore et al. 2004).

**Tabuľka 1.** Antimikrobiálna aktivita CSRS

Baktéria	Inhibičná zóna (mm)	ATB (mm)	MIC 50 (µl/mL)	MIC 90 (µl/mL)
<i>E. coli</i>	7,33±0,58	25,33±0,58	23,46	46,78
<i>S. enterica</i>	9,33±0,58	24,67±0,58	37,87	43,65
<i>Y. monocytogenes</i>	6,67±0,58	30,33±0,58	37,87	43,65
<i>E. faecalis</i>	13,33±0,58	26,67±0,58	15,47	18,34
<i>S. aureus</i>	10,67±0,58	27,33±0,58	23,46	46,78
<i>S. pneumoniae</i>	12,33±0,58	25,00±0,58	15,47	18,34



*C. sativum* vykazovala silnú antimikrobiálnu aktivitu proti *Bacillus subtilis*, *Candida albicans*, *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *Klebsiella pneumoniae*, *Listeria innocua*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enteritidis*, *S. infantis*, *S. kentucky*, a *S. typhimurium* s hodnotou MIC medzi <0,195 na 1,562 µg/ml a vykazoval mierne antimikrobiálne účinky aktivita proti *E. aerogenes*, *L. monocytogenes*, *P. fluorescens* *S aureus* a *S. epidermidis* s hodnotou MIC medzi 25 µg/ml až 3,125 µg/ml pre testované mikroorganizmy (Baratta et al. 1998). Rastlinná silica *C. sativum* preukázala antibakteriálnu aktivitu proti Gram-negatívnym a Gram-pozitívnym baktériám, ako sú *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus megaterium*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Listeria* a *Staphylococcus aureus* (Delaquis 2002). Koriandrová rastlinná silica vykázala antibakteriálnu aktivitu proti *Acinetobacter baumannii* LMG 1025 a LMG 1041 s hodnotami MIC 1 µl/ml a 4 µl/ml (Duarte et al. 2012). Ukázalo sa, že rastlinné silice majú silnú antimikrobiálnu aktivitu, ktorá sa používa v potravinárskom priemysle na kontrolu mikrobiálneho kazenía a bezpečnosť potravín inhibíciou potravinových patogénov a predĺženie trvanlivosti produktu (Fratiani et al. 2010).

Antimikrobiálna analýza *in situ* na modele hrušky ukázala, že väčšina baktérií bola inhibovaná výparmi CVRS vo všetkých testovaných koncentráciách (tabuľka 2). Pri najvyššej koncentrácii koriandrovej silice (500 µL/L) bola na hruške *S. aureus* najsilnejšie inhibovaná baktériou (78,65 %). Zatiaľ čo pri Gram-negatívnych baktériách bola najúčinnějšía koncentrácia 62,5 µl/l a rovnako to bolo u týchto baktérií aj v prípade mrkvy. Najslabšía inhibícia pri tejto koncentrácii bola pozorovaná pre *E. faecalis*, kde dokonca bol zistený probakteriálny rast baktérie. Pri použití modelu mrkvy bola zaznamenaná najvyššía inhibícia proti *S. pneumoniae* pri koncentrácii 500 µl/l.

**Tabuľka 2.** *In situ* analýza na hruškách a mrkve

Potravínový model	Baktéria	Inhibícia bakteriálneho rastu			
		Koncentrácia RS v µl/l			
		62.5	125	250	500
<b>Hruška</b>	<i>E. coli</i>	78,98±5,78	65,54±6,78	54,78±4,67	34,67±6,56
	<i>S. enterica</i>	87,56±5,45	64,34±4,56	45,67±4,78	21,67±5,78
	<i>Y. monocytogenes</i>	56,78±5,45	48,67±5,78	32,32±4,67	12,56±6,57
	<i>E. faecalis</i>	24,56±3,78	35,67±4,67	43,67±4,31	56,74±4,67
	<i>S. aureus</i>	35,56±4,67	43,76±4,76	56,78±6,54	64,78±5,45
	<i>S. pneumoniae</i>	14,56±5,76	31,45±5,41	54,67±4,75	78,65±5,87
<b>Mrkva</b>	<i>E. coli</i>	87,56±5,76	76,54±3,41	68,67±4,53	57,67±5,43
	<i>S. enterica</i>	89,67±4,63	64,43±4,87	45,78±5,43	22,56±4,73
	<i>Y. monocytogenes</i>	78,67±6,54	64,32±4,83	53,54±6,76	23,57±4,65
	<i>E. faecalis</i>	-32,56±5,64	1,67±4,95	12,34±4,92	23,54±3,85
	<i>S. aureus</i>	15,76±4,74	28,67±3,94	38,76±7,56	65,76±4,93
	<i>S. pneumoniae</i>	24,56±4,32	36,74±4,56	51,54±4,67	76,58±7,54

Dlhodobé požívanie syntetických konzervačných zložiek spojených s potravinami môže vyvinúť toxický potenciál pre srdce a nervový systém. Rastlinné silice vykazujú širokospektrálne antimikrobiálne, fungitoxické a antimykotoxigénne vlastnosti v pozberových skladovaných potravinách (Hyldgaard et al. 2012; Tongnuanchan a Benjakul 2014). Myšlienka aplikácie rastlinných silíc pri riadení skladovaných potravín vzišla z jeho variabilnej biologickej účinnosti, tj. antivírusové, antidepresívne, antibakteriálne a toxínové (bakteriálne toxíny a mykotoxíny) detoxikačné aktivity (Mancini et al. 2014; Elshafie a Camele 2016), zabezpečujúce jeho využitie ako zelenej alternatívy syntetických konzervačných látok. K dispozícii je široká škála literatúry o aplikácii rastlinných silíc ako

prírodného antimikrobiálneho, antifungálneho a antimykotoxigénneho činidla v modelovom a potravinovom systéme. (Dwivedy et al. 2017) študovali potenciál *Mentha cardiaca* RS ako zelenej alternatívy na ochranu plesňovej a AFB1 kontaminácie v uskladnenom suchom ovocí. Frazão et al. (2017) hodnotili účinky rastlinných silíc na účinnú inhibíciu rastu a rozmnožovania *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis* a *S. aureus* v pozberových skladovaných plodoch manga. Výraznú inhibíciu kontaminácie salmonelou v bobuliach hrozna fumigáciou RS z citrónovej trávy prezentovali Oh et al. (2017). Yassein et al. (2020) preukázali inhibíciu mykotoxigénnych húb v detskej potrave, ako sú kukuričné vločky a sušené mlieko, pomocou rasce a mätovej silice s obmedzujúcimi účinkami na produkciu aflatoxínov a ochratoxínov.

### Záver

Použitie syntetických chemikálií ako konzervačných látok v potravinách predstavuje v súčasnom scenári skutočnú pohromu z dôvodu ich biologickej nekompatibility, nebiologickej odbúrateľnosti a environmentálnej neutržateľnosti. Antimikrobiálne látky na rastlinnej báze, vrátane rastlinných silíc, sa preto stali kumulatívnym záujmom ako potenciálna alternatíva k syntetickým konzervačným látkam, pretože sú šetrné k životnému prostrediu a sú všeobecne uznávané ako bezpečné. Avšak praktické využitie rastlinných silíc ako účinných antimikrobiálnych látok v potravinárskom priemysle je náročné vzhľadom na ich prchavosť, menšiu rozpustnosť a vysokú nestabilitu. V našej práci bol dokázaný antimikrobiálny charakter koriandrovej rastlinnej silice proti rôznym druhom baktérií. Použitie koriandru má uplatnenie nie len v kulinárskom procese ale pri zachovaní trvanlivosti potravín ako bolo dokázané v našej práci.

### PodĎakovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu Agentúry na výskum a vývoj SR na základe Zmluvy č. APVV-20-0058 „Potenciál rastlinných silíc z aromatických rastlín na lekárske použitie a konzerváciu potravín“.

**Kontaktná adresa:** Prof. Ing., Miroslava Kačániová, PhD., Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, miroslava.kacaniova@uniag.sk

### Literatúra

- Baratta, M.T., Dorman, H.J.D., Deans, S.G., Biondi, D.M., Ruberto, G. 1998. Chemical Composition, Antimicrobial And Antioxidative Activity Of Laurel, Sage, Rosemary, Oregano And Coriander Essential Oils. In *Journal Of Essential Oil Research* vol. 10, no. 6, pp. 618–627. ISSN: 1041-2905, 2163-8152. Dostupné na: doi:10.1080/10412905.1998.9700989.
- Burdock, G.A., Carabin, I.G. 2009. Safety Assessment Of Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) Essential Oil As A Food Ingredient. In *Food And Chemical Toxicology*, vol.47, no. 1, pp. 22–34. ISSN: 02786915. Dostupné na: doi:10.1016/J.Fct.2008.11.006
- Calo, J.R., Crandall, P.G., O'Bryan, C.A., Ricke, S.C. 2015. Essential Oils As Antimicrobials In Food Systems – A Review. *Food Contro.* vol. 54, pp. 111–119. ISSN: 09567135. Dostupné na: doi:10.1016/J.Foodcont.2014.12.040
- Delaquis, P. 2002. Antimicrobial Activity Of Individual And Mixed Fractions Of Dill, Cilantro, Coriander And Eucalyptus Essential Oils. In *International Journal Of Food Microbiology*, vol.74, no. 1–2, pp. 101–109 ISSN: 01681605. Dostupné na: doi:10.1016/S0168-1605(01)00734-6
- Duarte, A., Ferreira, S., Silva, F., Domingues, F.C. 2012. Synergistic Activity Of Coriander Oil And Conventional Antibiotics Against *Acinetobacter baumannii*. In *Phytomedicine*. vol. 19, no. 3–4, pp. 236–238. ISSN: 09447113. Dostupné na: doi:10.1016/J.Phymed.2011.11.010
- Duman, A.D., Telci, I., Dayisoylu, K.S., Digrak, M., Demirtas, İ., Alma, M.H. 2010. Evaluation Of Bioactivity Of Linalool-Rich Essential Oils From *Ocimum Basilicum* And *Coriandrum Sativum* Varieties. *Natural Product Communications*. vol. 5, no. 6, pp. 193-208. ISSN: 1555-9475. Dostupné na: doi:10.1177/1934578x1000500634

- Dwivedy, A.K., Prakash, B., Chanotiya, C.S., Bisht, D., Dubey, N.K. 2017. Chemically Characterized Mentha Cardiaea L. Essential Oil As Plant Based Preservative In View Of Efficacy Against Biodeteriorating Fungi Of Dry Fruits, Aflatoxin Secretion, Lipid Peroxidation And Safety Profile Assessment. In *Food And Chemical Toxicology*. vol. 106, pp. 175–184. ISSN: 0278-6915. Dostupné na: doi:10.1016/J.Fct.2017.05.043
- Elshafie, H.S., Camele, I. 2016. Investigating The Effects Of Plant Essential Oils On Post-Harvest Fruit Decay. V: Sadia Sultan, Ed. *Fungal Pathogenicity*. In *Intech*. ISBN 978-953-51-2394-1. Dostupné na: doi:10.5772/62568
- Ertas, A., Boga, M., Yilmaz, M.A., Yesil, Y., Tel, G., Temel, H., Hasimi, N., Gazioglu, I., Ozturk, M., Ugurlu, P. 2015. A Detailed Study On The Chemical And Biological Profiles Of Essential Oil And Methanol Extract Of *Thymus nummularius* (Anzer Tea): Rosmarinic Acid. *Industrial Crops And Products*. vol. 67, pp. 336–345. ISSN: 09266690. Dostupné na: doi:10.1016/J.Indcrop.2015.01.064
- Fратиanni, F., De Martino, L., Melone, A., De Feo, V., Coppola, R., Nazzaro, F. 2010. Preservation Of Chicken Breast Meat Treated With Thyme And Balm Essential Oils. In *Journal Of Food Science*. vol. 75, no. 8, pp. 528–535. ISSN: 00221147. Dostupné na: doi:10.1111/J.1750-3841.2010.01791.X
- Frazão, G.G.S., Blank, A.F., De Aquino Santana, L.C.L. 2017. Optimisation Of Edible Chitosan Coatings Formulations Incorporating Myrcia Ovata Cambessedes Essential Oil With Antimicrobial Potential Against Foodborne Bacteria And Natural Microflora Of Mangaba Fruits. In *Lwt - Food Science And Technology*. vol. 79, pp. 1–10. ISSN: 00236438. Dostupné na: doi:10.1016/J.Lwt.2017.01.011
- Hyldgaard, M., Mygind, T., Meyer, R. 2012. Essential Oils In Food Preservation: Mode Of Action, Synergies, And Interactions With Food Matrix Components. In *Frontiers In Microbiology*. vol. 3. ISSN: 1664-302x. dostupné na: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2012.00012>
- Laribi, B., Kouki, K., M'Hamdi, M., Bettaieb, T. 2015. Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) And Its Bioactive Constituents. In *Fitoterapia*. vol. 103, pp. 9–26. ISSN: 0367326x. Dostupné na: doi:10.1016/J.Fitote.2015.03.012
- Lo Cantore, P., Iacobellis, N.S., De Marco, A., Capasso, F., Senatore, F. 2004. Antibacterial Activity Of *Coriandrum Sativum* L. And *Foeniculum Vulgare* Miller Var. *Vulgare* (Miller) Essential Oils. In *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*. vol. 52, no. 26, pp. 7862–7866. ISSN: 0021-8561, 1520-5118. Dostupné na: doi:10.1021/Jf0493122
- Mancini, E., Camele, I., Elshafie, H.S., De Martino, L., Pellegrino, C., Grulova, D., De Feo, V., 2014. Chemical Composition And Biological Activity Of The Essential Oil Of *Origanum Vulgare* Ssp. *Hirtum* From Different Areas In The Southern Apennines (Italy). In *Chemistry & Biodiversity*. vol. 11, no. 4, pp. 639–651. ISSN: 16121872. Dostupné na: doi:10.1002/Cbdv.201300326
- Matasyoh, J.C., Maiyo, Z.C., Ngure, R.M., Chepkorir, R. 2009. Chemical Composition And Antimicrobial Activity Of The Essential Oil Of *Coriandrum Sativum*. In *Food Chemistry*. vol. 113, no. 2, pp. 526–529. ISSN: 03088146. Dostupné na: doi:10.1016/J.Foodchem.2008.07.097
- Oh, Y.A., Oh, Y.J., Song, A.Y., Won, J.S., Song, K.B., Min, S.C. 2017. Comparison Of Effectiveness Of Edible Coatings Using Emulsions Containing Lemongrass Oil Of Different Size Droplets On Grape Berry Safety And Preservation. In *Lwt*. vol. 75, pp. 742–750. ISSN: 00236438. Dostupné na: doi:10.1016/J.Lwt.2016.10.033
- Shahwar, M.K., El-Ghorab, A.H., Anjum, F.M., Butt, M.S., Hussain, S., Nadeem, M. 2012. Characterization Of Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) Seeds And Leaves: Volatile And Non Volatile Extracts. In *International Journal Of Food Properties*. vol. 15, no. 4, pp. 736–747. ISSN: 1094-2912. Dostupné na: doi:10.1080/10942912.2010.500068
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S. 2014. Essential Oils: Extraction, Bioactivities, And Their Uses For Food Preservation: Bioactivities And Applications Of Essential Oils. In *Journal Of Food Science*. vol. 79, no. 7, pp. 1231–1249. ISSN: 00221147. Dostupné na: doi:10.1111/1750-3841.12492
- Yassein, A.S., El- Said, A.H.M., El- Dawy, E.G.A. 2020. Biocontrol Of Toxigenic *Aspergillus* Strains Isolated From Baby Foods By Essential Oils. In *Flavour And Fragrance Journal*. vol. 35, no. 2, pp. 182–189. ISSN: 1099-1026. Dostupné na: doi:10.1002/Ffj.3551

## Antimikrobiálna aktivita škoricovej cejlónskej rastlinnej silice v podmienkach *in vitro* a *in situ*

Antimicrobial activity of cinnamon ceylanicum essential oil *in vitro* and *in situ* condition

Miroslava KAČÁNIOVÁ<sup>1</sup>, Andrea VEREŠOVÁ<sup>1</sup>, Jana ŠTEFÁNIKOVA<sup>2</sup>, Natália ČMIKOVÁ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>2</sup>Výskumné centrum AgroBioTech, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

### Abstract

*Cinnamomum verum* J. Presl syn. *zeylanicum* essential oil (CVEO) is known for its strong biological activity. The main objective of the study was to evaluate the antibacterial activity of the essential oil produced in Slovakia *in vitro* and *in situ*. The zones of inhibition for Gram-positive and Gram-negative bacteria ranged from 11.67 to 16.67 mm and from 8.67 to 9.67 mm, respectively, indicating antibacterial activity that was either moderate or very high. *Listeria monocytogenes* had the lowest MIC values among the bacteria tested. *In situ* antimicrobial analysis using apple showed that most of the bacteria were inhibited by vapour phase CVRS at all concentrations tested. Using the potato model, the highest inhibition against *L. monocytogenes* was observed at a concentration of 500 µl/l. Conversely, *L. ivanovii* was most inhibited at the lowest concentration of 62.5 µl/l. According to research, *C. verum* essential oil exhibits antibacterial activity and is safe and aesthetic, making it a possible alternative to conventional food preservatives.

**Keywords:** Gram-positive and Gram-negative bacteria, *Cinnamomum verum* J. Presl syn. *zeylanicum*, antimicrobial activity, *in vitro*, *in situ*

### Úvod

Byliny a koreniny sa od staroveku používali nielen ako ochucovadlá, ale boli využívané aj pre ich antioxidantnú a antimikrobiálnu aktivitu proti degradácii spôsobenej potravinovými patogénmi a baktériami, ktoré kazia potraviny. Mnohé rastliny používané v tradičnej medicíne predstavujú bohaté zdroje prírodných bioaktívnych látok na zdravie prospesnými účinkami a bez vedľajších účinkov. V súčasnosti sa viac ako 65 % svetovej populácie spolieha na tradičnú medicínu v oblasti zdravotnej starostlivosti (Alinezhad et al., 2013; Curti et al., 2014; Nabavi et al., 2014, 2013). V poslednej dobe vzrástol veľký dopyt po kozmetike bez chemických konzervačných látok, a nahrádzajú sa antimikrobiálnymi bylinnými extraktami zameraných na zníženie rizika alergií spojených so syntetickými konzervačnými látkami, ako sú metylparabény (Herman et al., 2013).

Počas posledných dvoch desaťročí stále viac dôkazov ukazuje, že rastliny sú bohatým zdrojom rôznych tried antimikrobiálnych látok, ktoré pôsobia ako obranné systémy na ich ochranu pred biotickými (živými) a abiotickými (neživými) stresmi (Nabavi et al., 2014). Medzi týmito sekundárnymi metabolitmi sú polyfenoly, terpenoidy, alkaloidy, lektíny, polypeptidy a polyacetylény známe ako antimikrobiálne činidlá; väčšina týchto metabolitov je schválená aj ako materiál GRAS (všeobecne uznávaný ako bezpečný) pre potravinárske produkty, pričom vykazuje zanedbateľné vedľajšie účinky. Tieto vlastnosti im dávajú osobitný ekonomický význam (Simões et al., 2009).

Rod *Cinnamomum* (čel'ad' Lauraceae) obsahuje viac ako 300 vždyzelených aromatických stromov a kríkov (Ranasinghe et al., 2012). Štyri druhy majú veľký ekonomický význam pre ich mnohostranné kulinárske využitie ako bežné korenie na celom svete: *Cinnamon zeylanicum* Blume (synonymum *Cinnamomum verum* J. Presl, známy ako srílanská škoric),

*Cinnamon loureiroi* Nees (známy ako vietnamská škoricica), *Cinnamon burmanni* Nees & T. Nees Blume (známy ako indonézska škoricica) a *Cinnamon aromaticum* Nees (synonymum *Cinnamon cassia* (L.). J. Presl, známy ako čínska škoricica) (Ravindran et al., 2004). Pojem škoricica sa bežne vzťahuje na sušenú kôru *C. zeylanicum* a *C. aromaticum* (Jakhetia et al., 2010) používanú na prípravu rôznych druhov čokolády, nápojov, korenistých cukríkov a likérov (Krishnamoorthy a Rema, 2004). Okrem toho sa škoricica používa do rôznych slaných jedál, nakladaných uhoriek, polievok a perzských sladkostí. Kôra, listy, kvety a plody škoricice sa používajú na prípravu rastlinných silíc, ktoré sú predurčené na použitie v kozmetike, alebo potravinách. Okrem toho, podľa tradičnej čínskej medicíny (stará približne 4000 rokov) sa škoricica používa ako neuroprotektívne činidlo (Khasnavis a Pahan, 2012) a na liečbu cukrovky (Kim et al., 2006). Škoricica sa tiež používa ako zdraviu prospešný prostriedok na liečbu ochorení, ako sú zápaly, gastrointestinálne poruchy a infekcie močových ciest (Al-Jiffri et al., 2011; Brierley a Kelber, 2011). Ďalšie potenciálne medicínske využitie škoricice by bolo s ohľadom na jej antimikrobiálne vlastnosti, najmä antibakteriálnu aktivitu. Je dobre známe, že infekcia je jednou z hlavných príčin chorobnosti a úmrtnosti na celom svete (Leung et al., 2011). Vysoká prevencia infekcií a dlhodobé vystavenie antibiotikám vedie k rezistencii mikroorganizmov na antibiotiká. Preto sa veľká pozornosť venovala objavu a vývoju nových antimikrobiálnych látok, ktoré by mohli pôsobiť proti týmto rezistentným mikroorganizmom, pričom zaujímavým kandidátom by mohla byť škoricica (Högberg et al., 2010; Nabavi et al., 2014).

Cieľom našej práce bolo zistenie antimikrobiálnej aktivity škoricovej cejlónskej rastlinnej silice proti Gram-pozitívnym a Gram-negatívnym baktériám v *in vitro* a *in situ* podmienkach.

## **Materiál a metodika práce**

### **Rastlinná silica**

Rastlinná silica *Cinnamomum verum* J. Presl syn. *zeylanicum* bola zakúpená od firmy Hanus, s.r.o. (Nitra, Slovensko). Rastlinná silica (RS) bola vyrobená destiláciou suchých listov a výhonkov vodnou parou. RS bola skladovaná v tme pri teplote 4 °C. Výrobca uvádza chemické zloženie silice nasledovne, eugenol 69-87 %, eugenylacetát 1-8 %, linalol 2-5 %, (E)-cinamylacetát 1-4 %, (E)-β-karyofylén, (E) cinnamal / (E)-cinamaldehyd/ najviac 1 %, safrol najviac 1 %.

### **Testované mikroorganizmy**

Gram-pozitívne baktérie (*Listeria innocua* CCM 4030, *Listeria ivanovii* CCM 5884, *Listeria monocytogenes* CCM 4699), Gram-negatívne baktérie (*Enterobacter aerogenes* CCM 2531, *Klebsiella pneumoniae*, CCM 2318, *Serratia rubidaea* CCM 4684). Čisté kultúry mikroorganizmov boli získané z českej zbierky mikroorganizmov (Brno, Česká republika).

### **Disková difúzna metóda**

Antimikrobiálna aktivita *Cinnamomum verum* J. Presl syn. *zeylanicum* RS bola stanovená diskovou difúznou metódou. Mikrobiálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín na Mueller Hinton agare (MHA, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 37 °C. Inokulum sa upravilo na optickú hustotu 0,5 McFarlandovho štandardu ( $1,5 \times 10^8$  KTJ/ml) a 100 µl sa pridalo na platne s MHA. Sterilné papierové disky 6 mm nasýtené 10 µl *Cinnamomum verum* J. Presl syn. *zeylanicum* RS sa umiestnili na vrstvu agaru obsahujúcu suspenziu mikroorganizmov. Vzorky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C. Dve antibiotiká ATB (Cefoxitin, Gentamicin, Oxoid, Basingstoke, UK) boli použité ako pozitívne kontroly pre Gram-negatívne, Gram-pozitívne baktérie. Ako negatívna kontrola slúžili disky impregnované 0,1 % DMSO (dimetylsulfoxid, Centralchem, Bratislava, SK). Antimikrobiálna aktivita bola

kategorizovaná ako veľmi silná, stredná a slabá, keď bola zóna inhibície rastu väčšia ako 15, 10 a 5 mm, v tomto poradí. Analýzy sa uskutočňovali trojmo.

### **Minimálna inhibičná koncentrácia (MIC)**

Mikrobiálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín v Mueller Hinton Broth (MHB, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 37 °C. Alikvotná časť 50 µl inokula s optickou hustotou 0,5 McFarland sa pridala na 96-jamkovú mikrotitračnú platňu. Následne sa *C. verum* RS pripravila sériovým riedením na koncentračný rozsah od 400 µl/ml do 0,2 µl/ml v MHB a 100 µl suspenzie sa dôkladne premiešalo s bakteriálnym inokulom v jamkách. Bakteriálne vzorky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C. MHB s RS bol použitý ako negatívna kontrola a MHB s inokulom bol použitý ako pozitívna kontrola reprezentujúca neinhibovaný rast. Pre neadherentné mikroorganizmy sa absorbancia merala po inkubačnej perióde pri 570 nm spektrofotometrom Glomax (Promega Inc., Madison, WI, USA).

### ***In situ* analýzy**

Antibakteriálna analýza parnej fázy RS *in situ* bola testovaná na všetkých baktériách na modeli jablka a zemiaku. Zahriaty MHA sa nalial do 60 mm Petriho misiek (PD) a do veka PD. Nakrájané jablká a zemiaky na plátky (o veľkosti 0,5 mm) sa umiestnili na agar. Potom sa pripravilo inokulum, ako bolo opísané vyššie. RS sa zriedila v etylacetáte na 500, 250, 125 a 62,5 µl/l a naniesla sa na sterilný filtračný papier. Po odparení zostávajúceho etylacetátu (1 minúta) sa misky uzavreli a inkubovali pri teplote 37 °C počas 7 dní. Inhibícia rastu baktérií bola hodnotená stereologickou metódou.

*In situ* bakteriálny rast bol stanovený pomocou stereologických metód. V tomto koncepte sa objemová hustota (Vv) bakteriálnych kolónií najprv odhadla pomocou softvéru ImageJ počítaním bodov stereologickej mriežky zasahujúcich kolónie (P) a tie (p) spadajúce do referenčného priestoru (použitý rastový substrát). Objemová hustota bakteriálnych kolónií sa následne vypočítala nasledovne:  $Vv (\%) = P/p$ . Antibakteriálna aktivita RS bola definovaná ako percento inhibície rastu baktérií (BGI)  $BGI = [(C - T)/C] \times 100$ , kde C a T bol bakteriálny rast (vyjadrené ako Vv) v kontrolnej skupine a experimentálnej skupine, resp. negatívne výsledky predstavovali stimuláciu rastu.

### **Štatistické vyhodnotenie**

Všetky analýzy boli vykonané v trojnásobnom opakovaní. Štatistická variabilita údajov bola spracovaná pomocou softvéru Microsoft-Excel.

### **Výsledky a diskusia**

Jednou z osvedčených vlastností škoricových rastlinných silíc a ich zložiek je antibakteriálna aktivita proti Gram-pozitívnym a Gram-negatívnym baktériám zodpovedným za ľudské infekčné ochorenia a degradáciu potravín, alebo kozmetiky. V literatúre existuje množstvo štúdií preukazujúcich antibakteriálnu aktivitu škoricových rastlinných silíc získaných z rôznych botanických častí a extrakčných metód (Nabavi et al., 2015).

Antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice *C. verum* (CVRS) bola hodnotená diskovou difúznou metódou a minimálnou inhibičnou koncentráciou a výsledky sú uvedené v tabuľke 1. Silná až stredná inhibičná aktivita CVRS bola pozorovaná v prípade väčšiny testovaných baktérií. *L. monocytogenes* bola najcitlivejšia zo všetkých testovaných baktérií, pričom CVRS vykazovala veľmi silnú inhibičnú aktivitu. MIC 50 a MIC 90 boli stanovené analýzou minimálnych inhibičných koncentrácií. Pre *L. monocytogenes* sme zistili najnižšie hodnoty MIC 50 (9,46 µl/ml) a MIC 90 (13,39 µl/ml). Najvyššie hodnoty MIC 50 a MIC 90 boli stanovené pre *E. aerogenes*. Stredné hodnoty MIC 50 a MIC 90 boli stanovené pre *K. pneumoniae*, *L. innocua* a *L. ivanovii*.

Antibakteriálne aktivity niekoľkých extraktov z kôry *C. zeylanicum*, získaných s rôznymi organickými rozpúšťadlami, ako je etylacetát, acetón a metanol, boli testované *in vitro* proti *K. pneumonia* 13883, *Bacillus megaterium* NRS, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27859, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* ATCC 8739, *Enterobacter cloacae* ATCC 13047, *Corynebacterium xerosis* UC 9165, *Streptococcus faecalis* DC 74, metódou diskovej difúzie. Výsledky ukázali, že antibakteriálna aktivita, vyjadrená ako inhibičná zóna, sa pohybuje od 7 do 18 mm pri aplikácii 30 µl, čo naznačuje vysokú antibakteriálnu aktivitu (Keskin a Toroglu, 2011). V tom istom roku Mandal (2011) ukázal, že etanolový extrakt z kôry kmeňa *C. zeylanicum* vykazoval antibakteriálnu aktivitu proti klinickým izolátom *S. aureus* rezistentným na metilín (MRSA) z Kalkaty v Indii. Antibakteriálna aktivita bola vyjadrená ako priemery inhibície a hodnoty minimálnej inhibičnej koncentrácie (MIC) v rôznych časoch inkubácie. Škoricový extrakt, ktorý vykazoval priemer inhibičnej zóny v rozmedzí od 22 do 27 mm, bol po 6 hodinách inkubácie baktericídny. Autor dospel k záveru, že *C. zeylanicum* možno považovať za cennú podporu pri liečbe infekcií a môže prispieť k vývoju potenciálnych antimikrobiálnych látok proti baktériám MRSA (Mandal, 2011).

**Tabuľka 1.** Antimikrobiálna aktivita CVRS

Baktéria	Inhibičná zóna (mm)	ATB	MIC 50 (µl/ml)	MIC 90 (µl/ml)
<i>E. aerogenes</i>	8,67±0,58	23,67±0,58	74,56	86,87
<i>K. pneumoniae</i>	9,67±0,58	26,33±0,58	36,58	42,56
<i>S. rubidaea</i>	9,33±1,15	30,33±0,58	19,53	23,45
<i>L. innocua</i>	11,67±0,58	25,67±0,58	36,58	42,56
<i>L. ivanovii</i>	12,33±0,58	24,33±0,58	36,58	42,56
<i>L. monocytogenes</i>	16,67±1,15	17,33±0,58	9,46	13,39

Guerra et al. (2012) publikovali výskum o antibakteriálnej aktivite kombinácie rastlinnej silice *C. zeylanicum* a antibiotík, v ktorom boli preukázané aditívne a synergické účinky. Nedávno Yap et al. (2013) dosiahli podobné výsledky. V skutočnosti autori ukázali, že kombinácia piperacilínu a rastlinnej silice zo škorice vyvolala značné zníženie registrovaných hodnôt MIC proti klinickému kmeňu *E. coli* produkujúceho beta-laktamázu. Autori dospeli k záveru, že znížené používanie antibiotík by sa mohlo použiť ako liečebná stratégia na zníženie nežiaducich účinkov a prípadne na zvrátenie rezistencie na beta-laktamové antibiotiká.

**Tabuľka 2.** *In situ* analýza na jablkách a zemiakoch

Potravínový model	Baktéria	Inhibícia bakteriálneho rastu			
		Koncentrácia RS v µl/l			
		62.5	125	250	500
Jablko	<i>E. aerogenes</i>	14,34±6,76	35,75±5,23	43,63±5,37	56,78±5,87
	<i>K. pneumoniae</i>	5,45±2,46	9,57±4,34	53,45±8,54	94,56±4,89
	<i>S. rubidaea</i>	16,65±6,45	32,45±5,12	95,48±5,42	87,45±6,78
	<i>L. innocua</i>	5,87±5,78	18,65±7,78	35,36±6,34	92,23±4,68
	<i>L. ivanovii</i>	23,54±4,37	34,34±6,89	67,34±7,54	87,65±4,34
	<i>L. monocytogenes</i>	84,34±8,68	78,54±7,45	63,56±6,78	23,34±7,76
Zemiak	<i>E. aerogenes</i>	14,55±5,74	25,34±3,46	63,54±5,34	79,45±5,76

Potravínový model	Baktéria	Inhibícia bakteriálneho rastu			
		Koncentrácia RS v µl/l			
		62.5	125	250	500
	<i>K. pneumoniae</i>	18,67±8,54	25,45±6,89	36,56±9,45	54,45±8,78
	<i>S. rubidaea</i>	24,58±9,43	38,32±9,56	44,32±6,54	77,35±9,49
	<i>L. innocua</i>	32,48±7,67	18,43±8,59	34,67±6,97	47,76±6,87
	<i>L. ivanovii</i>	88,45±9,34	76,34±9,54	65,45±8,65	54,34±8,34
	<i>L. monocytogenes</i>	11,68±4,78	33,56±9,34	63,65±6,98	98,87±5,34

Antimikrobiálna analýza *in situ* s použitím jablka ukázala, že väčšina baktérií bola inhibovaná výparmi CVRS vo všetkých testovaných koncentráciách (tabuľka 2). Pri najvyššej koncentrácii silice (500 µl/l) boli *K. pneumoniae* a *L. innocua* najsilnejšie inhibovanou baktériou (94,56 a 92,23 %). Najslabšia inhibícia pri tejto koncentrácii bola pozorovaná pre *L. monocytogenes*. Pri použití modelu zemiaka bola zaznamenaná najvyššia inhibícia proti *L. monocytogenes* pri koncentrácii 500 µl/l. Opačne *L. ivanovii* bola najviac inhibovaná pri najnižšej koncentrácii 62,5 µl/l.

V posledných rokoch mnohé výskumy preukázali antimikrobiálnu aktivitu škoricovej RS proti bakteriálnym otravám jedlom *in vitro*. Ďalšie výskumy študovali ochranné účinky škorice v potravinových matriciach, kozmetických výrobkoch a aktívnych obaloch a ich schopnosť inhibovať rast patogénov bez zavádzania chemických konzervačných látok, ktoré by spotrebiteľia mohli považovať za nežiaduce. Napríklad nedávny výskum ukázal, že RS získaná z kôry *C. cassia* môže kontrolovať rast mikroorganizmu *L. monocytogenes*, ktorý sa kazí v mäsových výrobkoch kontaminovaných koncentráciou 5 ppm, čo nezmenilo senzorické vlastnosti produktu. Najmä škoricová RS výrazne znižuje rýchlosť rastu baktérií v umelo kontaminovaných vzorkách v porovnaní s neošetrenou kontrolou (Dussault et al., 2014). Podobné výskumy pred niekoľkými rokmi vykonalo niekoľko výskumných skupín, ktoré študovali antibakteriálnu aktivitu škorice proti potravinovým patogénom, najmä v kontaminovanom mäse, ako sú *Salmonella typhimurium*, *S. aureus* a *E. coli*, *Arcobacter butzeiri* a *Arcobacter skirrowii* (Chen et al., 2013; Irkin et al., 2011; Shan et al., 2011; Tayel et al., 2012). Ďalší zaujímavý výskum uvádza antibakteriálnu aktivitu rastlinných silíc z kôry škorice a jej hlavných zložiek, trans-cinnamaldehydu a eugenolu proti *Cronobacter sakazakii* a *C. malonicus*, čo sú oportúnne patogény, ktoré spôsobujú infekciu u detí a dospelých s oslabenou imunitou. Tieto baktérie sú prítomné v mnohých potravinových výrobkoch; preto by bolo žiaduce znížiť počet baktérií. Antibakteriálna aktivita sa testovala v kvapalnej a parnej fáze, aby sa otestovala citlivosť kmeňa na neprchavé aj prchavé zlúčeniny. Výsledky ukázali, že hodnoty MIC škoricovej rastlinnej silice (v rozmedzí od 0,25 do 0,5 mg/ml) v kvapalnej a parnej fáze sú podobné hodnotám zaznamenaným v rovnakých podmienkach pre t-cinnamaldehyd (v rozmedzí od 0,128 do 0,3 mg/ml). Eugenol vykazoval vyššie hodnoty MIC (v rozmedzí od 0,512 do 1,0 mg/ml), čo naznačuje nižšiu antibakteriálnu aktivitu. Na základe týchto výsledkov autori dospeli k záveru, že škoricovú RS možno začleniť do obalových materiálov potravín alebo použiť na vytvorenie aktívnej modifikovanej atmosféry na zníženie kontaminácie druhov rodu *Cronobacter* (Fraňková et al., 2014).

## Záver

Aplikáciu prírodných produktov pri liečbe infekčných ochorení možno považovať za zaujímavú alternatívu k bežným antibiotikám, ktoré majú rôzne vedľajšie účinky. Okrem toho môže byť škoricová rastlina navrhnutá ako alternatíva k syntetickým antibiotikám, najmä na liečbu bakteriálnych infekcií odolných voči antibiotikám. Našimi výsledkami môžeme potvrdiť, že škoricová rastlinná silica má dobrý antimikrobiálny účinok dokázaný v našej práci v podmienkach *in vitro* ale aj na potravinovom modeli.



## Pod'akovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu Agentúry na výskum a vývoj SR na základe Zmluvy č. APVV-20-0058 „Potenciál rastlinných silíc z aromatických rastlín na lekárske použitie a konzerváciu potravín“.

**Kontaktná adresa:** Prof. Ing., Miroslava Kačániová, PhD., Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, e-mail: miroslava.kacaniova@uniag.sk

## Literatúra

- Alinezhad, H., Azimi, R., Zare, M., Ebrahimzadeh, M.A., Eslami, S., Nabavi, S.F., Nabavi, S.M. 2013. Antioxidant and Antihemolytic Activities of Ethanolic Extract of Flowers, Leaves, and Stems of *Hyssopus officinalis* L. Var. *angustifolius*. In *International Journal of Food Properties*, vol. 16, pp.1169–1178. ISSN: 1094-2912. Dostupné na: doi:10.1080/10942912.2011.578319
- Al-Jiffri, O., El-Sayed, Z.M.F., Al-Sharif, F.M. 2011. Urinary tract infection with *Escherichia coli* and antibacterial activity of some plants extracts. In *Int. J. Microbiol. Res* vol. 2, pp. 1–7.
- Brierley, S.M., Kelber, O. 2011. Use of natural products in gastrointestinal therapies. In *Current Opinion in Pharmacology*. vol. 11, pp. 604–611. ISSN: 14714892. Dostupné na: doi:10.1016/j.coph.2011.09.007
- Chen, C.H., Ravishankar, S., Marchello, J., Friedman, M. 2013. Antimicrobial Activity of Plant Compounds against *Salmonella Typhimurium* DT104 in Ground Pork and the Influence of Heat and Storage on the Antimicrobial Activity. In *Journal of Food Protection*, vol. 76, pp. 1264–1269. ISSN: 0362028X. Dostupné na: doi:10.4315/0362-028X.JFP-12-493
- Curti, V., Capelli, E., Boschi, F., Nabavi, S.F., Bongiorno, A.I., Habtemariam, S., Nabavi, S.M., Daglia, M. 2014. Modulation of human miR-17-3p expression by methyl 3- *O* -methyl gallate as explanation of its *in vivo* protective activities. In *Mol. Nutr. Food Res*. vol. 58, pp. 1776–1784. ISSN: 16134125. Dostupné na: doi:10.1002/mnfr.201400007
- Dussault, D., Vu, K.D., Lacroix, M. 2014. *In vitro* evaluation of antimicrobial activities of various commercial essential oils, oleoresin and pure compounds against food pathogens and application in ham. In *Meat Science* vol. 96, pp. 514–520. ISSN: 03091740. Dostupné na: doi:10.1016/j.meatsci.2013.08.015
- Fraňková, A., Marounek, M., Mozrová, V., Weber, J., Klouček, P., Lukešová, D. 2014. Antibacterial Activities of Plant-Derived Compounds and Essential Oils Toward *Cronobacter sakazakii* and *Cronobacter malonaticus*. In *Foodborne Pathogens and Disease* vol. 11, pp. 795–797. ISSN: 1535-3141. Dostupné na: doi:10.1089/fpd.2014.1737
- Guerra, F.Q.S., Mendes, J.M., Sousa, J.P.D., Morais-Braga, M.F.B., Santos, B.H.C., Melo Coutinho, H.D., Lima, E.D.O. 2012. Increasing antibiotic activity against a multidrug-resistant *Acinetobacter* spp by essential oils of *Citrus limon* and *Cinnamomum zeylanicum*. In *Natural Product Research* vol. 26, pp. 2235–2238. ISSN: 1478-6419. Dostupné na: doi:10.1080/14786419.2011.647019
- Herman, A., Herman, A.P., Domagalska, B.W., Młynarczyk, A., 2013. Essential Oils and Herbal Extracts as Antimicrobial Agents in Cosmetic Emulsion. In *Indian J Microbiol* vol. 53, pp. 232–237. ISSN: 0046-8991. Dostupné na: doi:10.1007/s12088-012-0329-0
- Högberg, L.D., Heddini, A., Cars, O. 2010. The global need for effective antibiotics: challenges and recent advances. In *Trends in Pharmacological Sciences* vol. 31, pp. 509–515. ISSN: 01656147. Dostupné na: doi:10.1016/j.tips.2010.08.002
- Irkin, R., Abay, S., Aydin, F., 2011. Inhibitory Effects of Some Plant Essential Oils Against *Arcobacter butzleri* and Potential for Rosemary Oil as a Natural Food Preservative. In *Journal of Medicinal Food* vol. 14, pp. 291–296. ISSN: 1096-620X. Dostupné na: doi:10.1089/jmf.2010.0001
- Jakhetia, V., Patel, R., Khatri, P., Pahuja, N., Garg, S., Pandey, A., Sharma, S., 2010. Cinnamon: A pharmacological review. In *J. Adv. Sci. Res.* vol. 1, pp. 19–23.
- Keskin, D., Toroglu, S., 2011. Studies on antimicrobial activities of solvent extracts of different spices. *J Environ Biol* 32, 251–256. ISSN: 0254-8704.
- Khasnavis, S., Pahan, K., 2012. Sodium Benzoate, a Metabolite of *Cinnamon* and a Food Additive, Upregulates Neuroprotective Parkinson Disease Protein DJ-1 in Astrocytes and Neurons. In *J Neuroimmune Pharmacol* vol. 7, pp. 424–435. ISSN: 1557-1890. Dostupné na: doi:10.1007/s11481-011-9286-3
- Kim, S.H., Hyun, S.H., Choung, S.Y. 2006. Anti-diabetic effect of cinnamon extract on blood glucose in db/db mice. In *Journal of Ethnopharmacology* vol. 104, pp. 119–123. ISSN: 03788741. Dostupné na: doi:10.1016/j.jep.2005.08.059
- Krishnamoorthy, B., Rema, J. 2004. *End uses of cinnamon and cassia, in: Cinnamon and Cassia: The Genus Cinnamomum.*, Ravindran P.N., Babu K.N., Editors. CRC Press, Boca Raton, FL. Dostupné na:

<https://www.routledge.com/Cinnamon-and-Cassia-The-Genus-Cinnamomum/Ravindran-Nirmal-Babu-Shylaja/p/book/9780367394677>

Leung, E., Weil, D.E., Raviglione, M., Nakatani, H., 2011. The WHO policy package to combat antimicrobial resistance. *Bull. In World Health Organ.* vol. 89, pp. 390–392. ISSN: 0042-9686. Dostupné na: doi:10.2471/BLT.11.088435

Mandal, S., 2011. *In Vitro* Antibacterial Activity of three Indian Spices Against Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. In *OMJ* vol. 26, pp. 319–323. ISSN: 1999768X. Dostupné na: doi:10.5001/omj.2011.80

Nabavi, S.F., Daglia, M., Moghaddam, A.H., Habtemariam, S., Nabavi, S.M., 2014. Curcumin and Liver Disease: from Chemistry to Medicine: Curcumin and liver disease.... Comprehensive Reviews. In *Food Science and Food Safety* vol. 13, pp. 62–77. ISSN: 15414337. Dostupné na: doi:10.1111/1541-4337.12047

Nabavi, S.F., Nabavi, S.M., Habtemariam, S., Moghaddam, A.H., Sureda, A., Jafari, M., Latifi, A.M., 2013. Hepatoprotective effect of gallic acid isolated from *Peltiphyllum peltatum* against sodium fluoride-induced oxidative stress. In *Industrial Crops and Products* vol. 44, pp. 50–55. ISSN: 09266690. Dostupné na: doi:10.1016/j.indcrop.2012.10.024

Nabavi, S.M., Marchese, A., Izadi, M., Curti, V., Daglia, M., Nabavi, S.F. 2015. Plants belonging to the genus *Thymus* as antibacterial agents: From farm to pharmacy. In *Food Chemistry* vol. 173, pp. 339–347. ISSN: 03088146. Dostupné na: doi:10.1016/j.foodchem.2014.10.042

Ranasinghe, P., Jayawardana, R., Galappaththy, P., Constantine, G.R., De Vas Gunawardana, N., Katulanda, P. 2012. Efficacy and safety of ‘true’ cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) as a pharmaceutical agent in diabetes: a systematic review and meta-analysis: Efficacy and safety of ‘true’ cinnamon in diabetes. *Diabetic Medicine* vol. 29, pp. 1480–1492. ISSN: 07423071. Dostupné na: doi:10.1111/j.1464-5491.2012.03718.x

Ravindran, P.N., Shylaja, M., Babu, K., Krishnamoorthy, B. 2004. Botany and crop improvement of cinnamon and cassia. *Cinnamon and Cassia: The Genus Cinnamomum* vol. 36, pp. 14–79.

Shan, B., Cai, Y.-Z., Brooks, J.D., Corke, H. 2011. Potential Application of Spice and Herb Extracts as Natural Preservatives in Cheese. In *Journal of Medicinal Food* vol. 14, pp. ISSN: 1096-620X. Dostupné na: doi:10.1089/jmf.2010.0009

Simões, M., Bennett, R.N., Rosa, E.A.S. 2009. Understanding antimicrobial activities of phytochemicals against multidrug resistant bacteria and biofilms. In *Nat. Prod. Rep.* vol. 26, pp. 746. ISSN: 0265-0568, 1460-4752. Dostupné na: doi:10.1039/b821648g

Tayel, A.A., El-Tras, W.F., Moussa, S.H., El-Sabbagh, S.M. 2012. Surface Decontamination and Quality Enhancement in Meat Steaks Using Plant Extracts as Natural Biopreservatives. In *Foodborne Pathogens and Disease* vol. 9, pp. 755–761. ISSN: 1535-3141. Dostupné na: doi:10.1089/fpd.2012.1203

Yap, P.S.X., Lim, S.H.E., Hu, C.P., Yiap, B.C. 2013. Combination of essential oils and antibiotics reduce antibiotic resistance in plasmid-conferred multidrug resistant bacteria. In *Phytomedicine* vol. 20, pp. 710–713. ISSN: 09447113. Dostupné na: doi:10.1016/j.phymed.2013.02.013

## Review práca

### Hlavné modely potkanov pre štúdium diabetes a ich stručná charakteristika

The main rat models for the study of diabetes and their brief characteristics

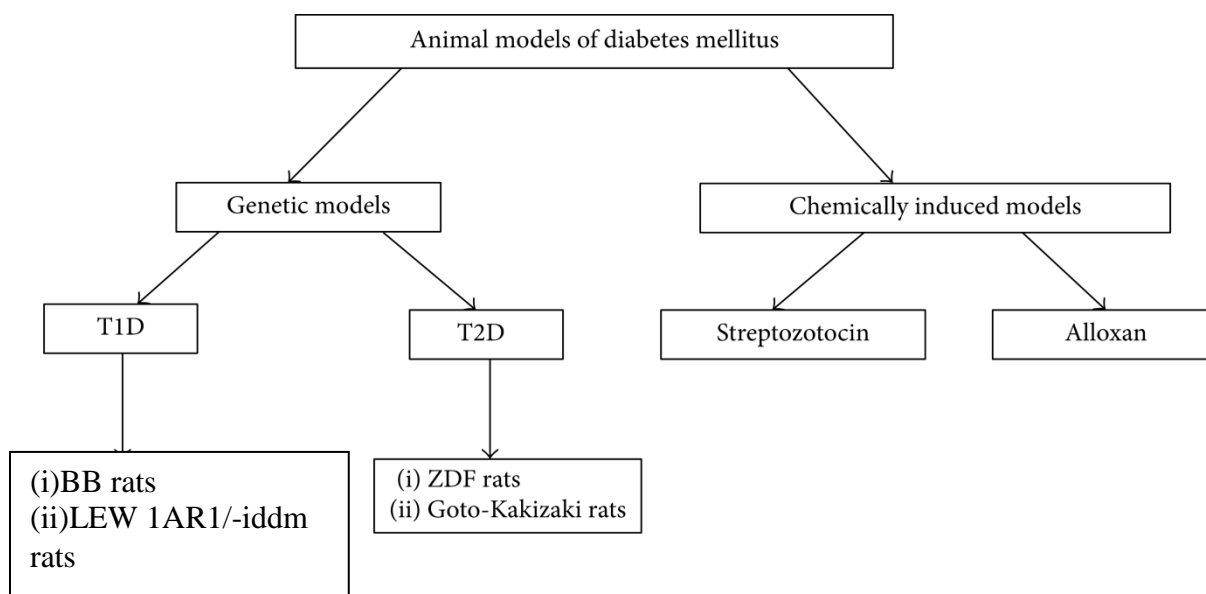
**Anna KALAFOVÁ, Nikoleta ŠIMONOVÁ, Monika SCHNEIDGENOVÁ, Patricia ŠIMKOVÁ, Marcela CAPCAROVÁ**

Ústav aplikovanej biológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Trieda A. Hlinku 2, 94976, Nitra, Slovenská republika

#### Abstract

Considering the severity of *diabetes mellitus* and its increasing trend, scientific research is being conducted the public new knowledge that would be effective in the prevention and treatment of the mentioned chronic diseases. Numerous research and clinical studies are carried out on the basis of various animal models that are able to mimic progression, diagnosis as well as treatment human diseases. In this review, a variety of animal models of diabetes (Figure 1) with spontaneous onset in particular will be introduced and discussed for their implication in diabetes research.

**Figure 1.** Animal models of *diabetes mellitus* (rats) (Source: modified by Al-Awar et al., 2016)



T1D-Type 1 *diabetes*, T2D-Type 2 *diabetes*, BB rats- Bio-Breeding rats, LEW 1AR1/-iddm rats Long-Evans Tokushima Lean Rats With IDDM

**Keywords:** diabetes mellitus, animal model, rat

#### Úvod

*Diabetes mellitus* (DM) je skupinou chronických, etiopatogeneticky heterogénnych ochorení, ktorých základným znakom je hyperglykémia. Vzniká v dôsledku nedostatočného účinku inzulínu pri jeho absolútnom alebo relatívnom nedostatku, ktorý je sprevádzaný komplexnou poruchou metabolizmu cukrov, tukov a bielkovín (Pelikánová et al., 2018). *Diabetes* je

jedným z najbežnejších a najrýchlejšie rastúcich ochorení na svete, ktoré ako sa odhaduje, postihne 693 miliónov dospelých do roku 2045. DM má od roku 2017 viac ako 50 % nárast (Cho et al., 2018). Tento prehľadný článok sa zameriava na vlastnosti, výhody a obmedzenia niektorých najpoužívanejších modelov DM u potkanov, ako sú spontánne modely: Bio-Breeding Diabetes-Prone (BB-DP) a LEW.1AR1- iddm, ako reprezentatívne modely typu 1 DM (DM-1); Zucker diabetické tučné (ZDF) a Goto-kakizaki (GK) potkany ako reprezentatívne modely DM typu 2 (DM-2); a ďalšie modely vyvolané chirurgickými, diétnymi a farmakologickými (aloxánom a streptozotocínom) zákrokmi (Kottaisamy et al. 2021).

### **Klasifikácia a úloha experimentálnych modelov pri štúdiu *diabetes mellitus***

Hoci sú poruchy spojené s DM rôznorodé, spoločným znakom všetkých z nich je hyperglykémia spôsobená relatívnou alebo úplnou inzulínovou rezistenciou a/alebo jeho nedostatkom. Hormón inzulín, ktorý je produkovaný v pankreatických  $\beta$ -bunkách Langerhansových ostrovčekov, je nevyhnutný pri kontrole homeostázy glukózy tým, že uľahčuje vychytávanie glukózy (Chatzigeorgiou et al., 2009). Klasifikácia *diabetes* podľa Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO 1999) a Americkej diabetologickej asociácie (ADA 1997; ADA 1999; ADA 2003), ktorá je platná s určitými úpravami aj v SR a rešpektuje nové poznatky v etiopatogenéze ochorenia, *diabetes* rozdeľuje na štyri hlavné podtypy: DM 1. typu (DM-1), DM 2. typu (DM-2), gestačný DM a skupina špecifických typov DM z iných príčin vrátane monogénnych DM syndrómov, exokrinných chorôb pankreasu (ako je cystická fibróza a pankreatitída) a DM vyvolaný liekmi alebo chemikáliami (ako je potransplantačný DM). DM-1 a DM-2 sú najčastejšie formy ochorenia. DM-1, tiež nazývaný inzulín-dependentný DM, je prítomný u 5–10 % pacientov a je spôsobený autoimunitnou deštrukciou pankreatických  $\beta$ -buniek T-bunkami a makrofágmi, čo zvyčajne vedie k rozsiahlemu a nezvratnému nedostatku inzulínu. Hoci sa DM-1 môže objaviť v každom veku, najčastejšie sa diagnostikuje u detí a mladých ľudí. DM-2, nazývaný aj inzulín-nezávislý DM, je prítomný u 90–95 % pacientov (American Diabetes, 2010). Pri DM-2 dochádza k poklesu sekrécie inzulínu iným mechanizmom ako je autoimunita, a proces pravdepodobne nevedie k úplnej strate  $\beta$ -buniek. Na vzniku ochorenia sa podieľa genetická predispozícia a rad exogénnych faktorov, ako sú obezita (nadmerný príjem energie, nevhodné zloženie potravy), stres, malá fyzická aktivita a fajčenie (Pelikánová et al., 2018).

Pre lepšie pochopenie mechanizmov ochorenia a pre vývoj účinných liečebných postupov k poznatkom získaným pri výskume *diabetes* veľkou mierou prispeli zvieracie modely (Rees a Alcolado, 2005; King, 2012). Celosvetovo uznávaný diabetológ profesor Yoshio Goto, výskumník v oblasti *diabetes* a jeho komplikácií je známy prácou zaoberajúcou sa vývinom potkana Goto Kakizaki (potkan GK), zvieracieho modelu so spontánnym nástupom *diabetes* 2. typu (Goto et al., 1975; Goto et al., 1976). V súčasnosti sú potkany GK rozšírené po celom svete a využívané v štúdiách *diabetes*. Opodstatnenie používania zvieracích modelov v medicíne je založené hlavne na zámere porozumieť biologickej funkcii u ľudí. Podľa ich použitia rozoznávame prieskumné modely, ktoré sú využívané na pochopenie mechanizmu účinku v biologických systémoch a mohli by súvisieť so základným výskumom biologických systémov alebo mechanizmov spojených s ochorením alebo abnormálnou biologickou funkciou. Vysvetľujúce zvieracie modely, ktoré sa využívajú na pochopenie zložitého biologického problému. Prediktívne modely sú najdôležitejšie zvieracie modely a vo všeobecnosti sa používajú na predklinický alebo aplikovaný výskum. Ide o unikátne zvieracie modely, ktoré sú zamerané na posúdenie možného účinku u ľudí (Atkinson a Eisenbarth, 2001). Okrem hodnotenia terapie, ako je farmakokinetika/farmakodynamika a toxicita liekov, sa používajú aj na zistenie a kvantifikáciu vplyvu liečby. Prenos výsledkov výskumov na ľudí môže byť konečným cieľom prínosov pre ľudské zdravie a zlepšenie kvality života. U ľudí je

kritériom pre *diabetes* zvýšená hladina glukózy v krvi nalačno ( $>126 \text{ mg.dl}^{-1}$ ;  $7,0 \text{ mmol.l}^{-1}$ ), ktorá je založená na významnej korelácii s prítomnosťou retinálnych komplikácií. Neexistujú však žiadne údaje o vzťahu medzi hladinami glukózy v krvi a mikrovaskulárnymi komplikáciami na zvieracích modeloch. Okrem toho dynamika glukózy v krvi medzi živočíšnymi druhmi by mala byť premenlivá. Zvieratá s hladinami glukózy v krvi vyššími ako  $300 \text{ mg.dl}^{-1}$  ( $16,7 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) sa považujú za zvieratá so zjavným *diabetes*. Na druhej strane, kontinuálna prítomnosť glukózy v moči sa považuje za príznak *diabetes* u NOD myší, keď opakované odbery krvi nie sú možné. Na rozdiel od modelov *diabetes* 1. typu sa pri modeloch *diabetes* 2. typu bežne používajú glukózové tolerančné testy s orálnou alebo intraperitoneálnou dávkou glukózy. V každom prípade je nevyhnutné porovnanie s nediabetickou zdravou kontrolnou skupinou. Pre používanie zvieracích modelov na výskum *diabetes* sú dôležité zdôvodnenia a odporúčania. Rozhodnutie, ktorý model sa použije, by malo závisieť od účelu štúdie so znalosťou charakteristickej patofyziológie modelu. Získané výsledky sú reprodukovateľné s jasnou dokumentáciou veku (týždeň alebo mesiac), telesnej hmotnosti, glukózy v krvi, krvných lipidov, ako aj iných kritických údajov. Mali by sa zaznamenať aj podmienky starostlivosti o zvieratá, údaje o príjme potravy a vody. Za týchto okolností by sa malo vykonať dôkladné porovnanie údajov s údajmi na vhodných kontrolných zvieratách. Počet zvierat použitých na experiment a zbytočná bolesť alebo utrpenie by sa mali minimalizovať, ale mali by byť dostatočné na vedecké hodnotenie vrátane dostatočnej štatistickej sily (Soroku, 2023).

### **Spontánne modely potkanov *diabetes mellitus***

#### *Bio-Breeding Diabetes-Prone (BB-DP)*

Potkany BB boli objavené v roku 1974 v kolónii outbredných potkanov Wistar v Bio Breeding Laboratories v Ottawe v Kanade. Po puberte sa u nich prejavil náhly nástup polyúrie, hyperglykémie, nedostatku inzulínu a strata hmotnosti. Bez liečby inzulínom sa u potkanov BB vyvinie ťažká ketoacidóza, ktorá môže byť smrteľná. Zdá sa, že klinické príznaky sú v súlade s ľudským *diabetes* 1. typu. Frekvencia vývoja DM-1 sa vyskytuje u samcov a samíc v rovnakom pomere a medzi 50. a 90. dňom po narodení potkany vykazujú ťažkú pankreatickú inzultídu, ktorá vedie k stavu hypoinzulinémie. Prvým prejavom ochorenia je glykozúria v 8.–16. týždni a u 90 % potkanov sa vyvinie zjavný DM-1 s hyperglykémiou, úbytkom hmotnosti, polyúriou, polydipsiou a veľmi ťažkou ketoacidózou, ktorá si na prežitie vyžaduje podávanie exogénneho inzulínu (Makino et al., 1980; Makino et al., 1985). U potkanov Bio-Breeding rezistentných na *diabetes* (BB-DR) sa nevyvinie DM a používajú sa ako kontroly.

Aj keď sú znaky BB-DP potkanov podobné DM-1 u ľudí, dôležitým obmedzením tohto modelu je, že DM je sprevádzaný poklesom T-buniek, poruchou, ktorá sa nevyskytuje u ľudí ani u iných zvieracích modelov. To z neho robí spochybnovaný model.

#### *LEW.1AR1- iddm*

Potkany LEW.1AR1- iddm pochádzajú z kongénneho kmeňa LEW.1AR1 spontánnou mutáciou, ktorá tiež ovplyvňuje gén spojený s MHC (major histocompatibility complex). DM-1 sa vyskytuje u samcov a samíc v rovnakom pomere, vykazuje intenzívnu pankreatickú inzultídu, ktorá spôsobuje následnú hypoinzulinémiu. U potkanov LEW.1AR1- iddm sa rozvinie prediabetický stav približne na za jeden týždeň (Fletcher et al., 2016) a do 8. týždňa života sa u nich prejaví mnoho príznakov a symptómov DM-1, ako je hypoinzulinémia, strata hmotnosti, hyperglykémia, polydipsia, polyúria, glykozúria a ketoacidóza. Predpokladá sa u nich dlhá dĺžka života, čo z nich robí ideálny model pre dlhodobé štúdie (Mori et al., 1986).

#### *Zucker diabetické tučné potkany*

Zucker tučné potkany (ZF) sú obézne potkany v dôsledku mutácie v géne pre leptínový receptor, čo u nich vyvoláva hyperfágiu. Vyvinie sa u nich hyperlipidémia a

hyperinzulinémia; udržiavajú však normálnu hladinu glukózy v krvi a zriedkavo prechádzajú do miernej hyperglykémie (Schmidt et al., 2003a). Tieto zmeny sa pozorujú aj v prediabetickom stave u ľudí, kde obezita zohráva dôležitú úlohu ako rizikový faktor pre rozvoj DM-2. Po selektívnom krížení medzi potkanmi ZF sa objavili Zucker diabetické tučné (ZDF) potkany, u ktorých sa na rozdiel od ZF vyvinula pokročilá inzulínová rezistencia a progresívne hyperglykémia, ktorá v 10. týždni dosahuje hodnoty nad  $500 \text{ mg} \cdot \text{dl}^{-1}$ . Vývoj DM-2 nastupuje spontánne, častejšie u samcov potkanov. Napriek tomu, že genetický pôvod ochorenia sa medzi týmito potkanmi a ľuďmi líši, vyvíjajú sa u nich podobné komplikácie, aké boli pozorované v pokročilých štádiách *diabetes* u ľudí, ako sú glomerulárne lézie, expanzia mezangiálnej matrice a tubulointersticiálna fibróza. Tento model je používaný na štúdium zmien spojených s pokročilými štádiami DM-2 (Schmidt et al., 2003b; Caquard et al., 2010; Aldrich et al., 2020).

#### *Potkany Goto-kakizaki*

Potkany Goto-kakizaki (GK) sú veľmi populárny model DM-2, ktorý na rozdiel od predchádzajúceho modelu nevykazuje obezitu ani hyperlipidémiu. Vyplývajú zo selektívneho príbuzenského kríženia medzi potkanmi Wistar s narušenou toleranciou glukózy. Vo veku 12 týždňov sa u nich rozvinie hyperglykémia, hypoinzulínémia a periférna inzulínová rezistencia. Zdá sa, že vystavenie plodu gravidnej krysy hyperglykemickému prostrediu ovplyvňuje normálny vývoj  $\beta$ -buniek. Pri narodení majú teda potkany znížený počet pankreatických ostrovčekov. Navyše u týchto potkanov môže cvičenie znížiť zvýšenie glykémie. Tento model sa približuje DM u ľudí, ako je hyperglykémia „*in utero*“ a účinok fyzickej aktivity, čo z neho robí atraktívny model pre štúdie súvisiace s prevenciou a liečbou DM-2. U tohto modelu sa vyvíjajú abnormality sietnice, obličiek a periférnych nervov, čo je možné využiť na štúdium komplikácií spojených s ochorením. Činiteľ, ktorý obmedzuje výber tohto modelu na výskumné účely, je nízka miera efektívnej gravidity a znížený počet získaných potkanov na vrh (Portha et al., 2012; Guest, 2019).

#### **Modely potkanov s DM vyvolaným chirurgickým zákrokom**

Tento model sa získa ligáciou pankreatických vývodov alebo čiastočným alebo úplným odstránením pankreasu. Nepoužívajú sa často kvôli traumatickej povahe techniky, hoci sa používa vo výskume súvisiacom s transplantáciou pankreasu (Segev et al., 1997; Lenzen et al., 2001; Xiao et al., 2009).

#### **Diétne indukované DM potkanie modely**

Diétne modely sú používané na štúdium prodromálneho obdobia diabetického syndrómu a považujú sa skôr za model obezity ako DM. Keďže je ťažké vyvolať DM u potkanov len kŕmením hyperkalorickou diétou, použitie tohto modelu často vyžaduje kombináciu s inými technikami, ako je farmakologická (streptozotocín, aloxán) alebo čiastočná nefrektómia, aby sa urýchlilo poškodenie obličiek a znížil čas vzniku a progresie ochorenia (Mordes et al., 2001). Rôzne diétne intervencie, ako je konzumácia stredomorskej stravy (Jorns et al., 2004) kalorické obmedzenie (Jorns et al., 2005; Jorns et al., 2020), prerušované hladovanie (Kobayashi et al., 2006) a terapeutický potenciál rôznych doplnkov stravy (Martiniakova et al., 2014; Capcarova et al. 2018; Capcarova et al., 2019; Capcarova et al., 2020; Martiniakova et al., 2021; Dupak et al., 2022), preukázali antioxidantné, protizápalové a metabolické účinky na zlepšenie biochemických parametrov krvi, ktoré predstavujú nefarmakologické komplementárne terapeutické stratégie na prevenciu a liečbu obezity a DM.

#### **Chemicky indukované modely potkanov DM**

Ukázalo sa, že niekoľko chemických zlúčenín je schopných vyvolať DM na zvieracích modeloch a dve najpoužívanejšie diabetogénne látky sú aloxán (Rakieten et al., 1963) a

streptozotocín (STZ) (Dufrane et al., 2006; Lenzen et al., 2008). Obidve sú cytotoxické analógy glukózy, ktoré sa viažu na pankreatické  $\beta$ -bunkové GLUT-2 transportéry a spôsobujú nezvratné poškodenie, ktoré vedie k hyperglykémii, nekróze  $\beta$ -buniek a strate hmotnosti bez toho, aby došlo k poškodeniu iných orgánov. Tieto diabetogénne látky sú veľmi nestabilné, preto sa prípravky musia pripraviť v čase ich injekčného podania (počas: alloxán, 1–2 min; STZ, 1h). Hlavnou výhodou chemicky indukovaných modelov je, že sú jednoduché a relatívne lacné. Okrem toho, podľa rôznych protokolov času indukcie, spôsobu podania a dávky je možné vyvolať DM-1 alebo DM-2 (Dufrane et al., 2006). Hlavné nevýhody týchto modelov sú jednak, že DM u ľudí je zriedkavo vyvolaný toxickou látkou, druhá možnosť, že tieto zlúčeniny môžu spôsobiť toxicitu v pečeni a tubulárnych bunkách, kde sa exprimuje GLUT-2; a posledné, že jedna dávka môže spôsobiť úmrtnosť v dôsledku ketózy spojenej s akútnym poškodením (Tyrberg et al., 2001; Lee et al., 2010).

#### *Alloxanový model*

Alloxán je derivát kyseliny močovej, ktorý môže selektívne inhibovať glukózou indukovanú sekréciu pankreatického inzulínu inhibíciou glukokinázy indukujúcej inzulín-dependentný DM podporou tvorby reaktívnych foriem kyslíka, ktoré spôsobujú selektívnu nekrózu  $\beta$ -buniek (Kato et al., 2002). Rozsah diabetogénnych dávok je veľmi úzky a dokonca aj mierne predávkovanie môže spôsobiť systémovú toxicitu, najmä pre obličky, hoci poškodenie je u zvierat, ktoré prežili, reverzibilné. Môže sa podávať intraperitoneálne (ip), intravenózne (iv) a subkutánne (sc) a najčastejšia dávka u potkanov je  $45\text{--}65\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  iv (Rakieten et al., 1963).

#### *Streptozotocínový model*

Streptozotocín (STZ) alebo [2-deoxy-2-(3-(metyl-3-nitrozoureido)-D-glukopyranóza)] je analóg nitrózomočoviny pripojený ku glukozamínovej skupine, izolovaný zo *Streptomyces achromogenes*. Mechanizmus účinku tiež zahŕňa väzbu transportéra GLUT-2 pred vstupom do  $\beta$ -buniek a jadra, kde spôsobuje alkyláciu a následne fragmentáciu DNA podporujúcu nekrózu  $\beta$ -buniek pankreasu, čo vedie k inzulín-dependentnému stavu v dôsledku inzulínovej deprivácie. STZ sa môže podávať ip, iv a sc, buď ako jedna dávka medzi  $35$  a  $65\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (najčastejšie používané), alebo viacnásobné dávky, medzi  $20$  a  $40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , počas niekoľkých dní (Like and Rossini, 1976; Lenzen, 2008). Dospelé potkany sa zvyčajne používajú na stanovenie DM-1 viacerými dávkami ( $20\text{--}40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) počas niekoľkých dní alebo jednou dávkou  $40\text{--}200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Na stanovenie DM-2 sa používajú novonarodené potkany s jednou dávkou ( $35\text{--}65\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  ip) alebo dospelé potkany, do ktorých sa ako antioxidanty pridali nikotínamid alebo fruktóza na ochranu zvierat pred cytotoxickým účinkom STZ, čím sa dosiahne čiastočná deštrukcia pankreasu. Pri použití STZ alebo aloxánu je výsledkom metabolizmu stav hyperglykémie DM-2, ktorý nezahŕňa ďalšie epigenetické/environmentálne faktory, ako je obezita, ktoré zohrávajú dôležitú úlohu pri DM-2 u ľudí. Aby sa tieto modely priblížili k DM-2 u ľudí (zlá výživa/nadváha/obezita), môže byť použitá kombinácia týchto toxínov s diétami bohatými na tuky/cukry (Craighead et al., 1974; Wang a Gleichmann, 1998).

#### **Záver**

V tomto článku boli popísané potkanie modely pre *diabetes* a ich stručné charakteristiky. Napriek všetkým výhodám, ktoré modelové zvieratá ponúkajú na skúmanie a vývoj nových liekov, majú individuálne obmedzenia, ktoré môžu obmedziť návrh nových liekov a terapeutických zásahov. Preto je výber modelu dôležitý, aby mal všetky charakteristiky potrebné na to, aby bol dokonalým modelom, ktorý sa mení v závislosti od diabetických komplikácií a vybraného zvierat'a. Je pravdepodobné, že zvieracie modely budú hrať dôležitú úlohu v prípadnej liečbe ľudského *diabetes mellitus*.

## Pod'akovanie

Práca bola financovaná z projektov KEGA 007SPU-4/2022, KEGA 017SPU-4/2023, VEGA 1/0304/23 a APVV 19/0243.

**Kontaktná adresa:** doc. Ing. Anna Kalafová, PhD., Ústav aplikovanej biológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Trieda A. Hlinku 2, 94976, Nitra, Slovenská republika, e-mail: anna.kalafova@uniag.sk

## Literatúra

- ADA 1997. American Diabetes Association: clinical practice recommendations 1997. In *Diabetes Care*. vol. 20, pp. 1-70
- ADA 1999. Clinical practise recommandations. In *Diabetes Care*.
- ADA 2003. Expert Committee on the Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus: Follow-up report on the diagnosis of diabetes mellitus, In *Diabetes Care*. vol. 26, pp. 3160–3167
- American Diabetes, A. Diagnostika a klasifikácia diabetes mellitus. In *Diabetes Care* 2010 , vol. 33 (Suppl. S1), S62–S69. Dostupné na: doi: 10.2337/dc10-S062
- Atkinson, M.A, Eisenbarth, G.S. 2001. Type 1 diabetes: new perspectives on disease pathogenesis and treatment. In *Lancet*. vol. 358, pp. 221–229. Dostupné na: doi: 10.1016/S0140-6736(01)05415-0
- Al-Awar, A., Kupai, K., Veszelka, M., Szücs, G., Attieh, Z., Murlasits, Z., Török, S., Pósa, A., Varga, C. 2016. Experimental Diabetes Mellitus in Different Animal Models. In *Journal of Diabetes Research*. 2016:9051426. Dostupné na: doi: 10.1155/2016/9051426
- Aldrich, V.R., Hernandez-Rovira, B.B., Chandwani, A., et al. 2020. NOD mice-good model for T1D but not without limitations. In *Cell Transplant*. vol. 29, pp. Dostupné na: doi: 10.1177/0963689720939127
- Capcarova, M., Kalafova, A., Schwarzova, M., Scheindgenova, M, Soltesova Prnova, M., Svik, K., Slovak, L., Kisska, P., Kovacik, A., Brindza, J. 2020. Consumption of bee bread influences glycaemia and development of diabetes in obese spontaneous diabetic rats. In *Biologia*. vol. 75(5), pp.705-11. Dostupné na: <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00337-5>
- Capcarova, M., Kalafova, A., Schwarzova, M., Schneidgenova, M., Svik, K., Soltesova Prnova, M., Slovak, L., Kovacik, A., Lory, V., Zorad, S., Brindza, J. 2019. Cornelian cherry fruit improves glycaemia and manifestations of diabetes in obese Zucker diabetic fatty rats. In *Research in Veterinary Science*. vol.126, pp.118-123. ISSN 0034-5288, Dostupné na: doi: 10.1016/j.rvsc.2019.08.024
- Capcarova, M., Soltesova Prnova, M., Svik, K., Schneidgenova, M., Slovak, L., Kisska, P., Mamrakova, R., Pristasova, M., Kalafova, A. 2018. Rodent animal model for research in diabetes: a mini-review. In *Slovak Journal of Animal Science*. vol. 3, pp. 138–145. ISSN 1337-9984
- Caquard, M., Ferret-Bernard, S., Haurogne, K., et al. 2010. Diabetes acceleration by cyclophosphamide in the non-obese diabetic mouse is associated with differentiation of immunosuppressive monocytes into immunostimulatory cells. In *Immunology Letters*. vol. 129, pp. 85–93. Dostupné na doi: 10.1016/j.imlet.2010.01.009
- Chatzigeorgiou, A., Halapas, A., Kalafatakis, K., Kamper, E. 2009. The use of animal models in the study of diabetes mellitus. In *Vivo*. vol. 23(2), pp. 245-58
- Craighead, J.E., Kanich, R.E., Kessler, J.B. 1974. Lesions of the islets of Langerhans in encephalomyocarditis virus-infected mice with diabetes mellitus-like disease. I. Acute lesions. In *The American Journal of Pathology*. vol. 74, pp. 287–300
- Dufrane, D., van Steenberghe, M., Guiot, Y., et al.2006. Streptozotocin-induced diabetes in large animals (pigs/primates): role of GLUT2 transporter and beta cell plasticity. In *Transplantation*. vol. 81, pp. 36–45. Dostupné na: doi: 10.1097/01.tp.0000189712.74495.82
- Dupak, R., Hrnkova, J., Simonova, N., Kovac, J., Ivanisova, E., Kalafova, A., Schneidgenova, M., Prnova, M.S., Brindza, J., Tokarova, K., Capcarova, M.2022. The consumption of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) effectively alleviates type 2 diabetes symptoms in spontaneous diabetic rats. In *Research in Veterinary Science*. vol. 152, pp. 261-269. Dostupné na: doi: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.08.022>
- Fletcher, E.L., Dixon, M., Mills, S.A., Phipps, J., Vessey, K., Wedekind, D., Jobling, A. I. 2016. A novel model of type 1 diabetes shows neuronal, glial and vascular pathology. In *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. vol.57, pp. 2714.
- Goto, Y., Kakizaki, M., Kaseda, N. 1975. Spontaneous diabetes produced by selective breeding of normal Wistar rats. In *Proceedings of the Japan Academy*. vol. 51, pp. 80–85. Dostupné na: doi: 10.1620/tjem.119.85



- Goto, Y., Kakizaki, M., Masaki, N. 1976. Production of spontaneous diabetic rats by repetition of selective breeding. In *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*. vol. 119, pp. 85–90. Dostupné na: doi: 10.1620/tjem.119.85
- Guest, P.C. 2019. Characterization of the Goto-Kakizaki (GK) Rat Model of Type 2 Diabetes. In *Methods in Molecular Biology*. vol. 1916, pp. 203–211. Dostupné na doi: 10.1007/978-1-4939-8994-2\_19
- Jorns, A., Kubat, B., Tiedge, M., et al. 2004. Pathology of the pancreas and other organs in the diabetic LEW.1AR1/Ztmiddm rat, a new model of spontaneous insulin-dependent diabetes mellitus. In *Virchows Archiv*. vol. 444, pp. 183–189. Dostupné na: doi 10.1007/s00428-003-0956-2
- Jorns, A., Gunther, A., Hedrich, H.J., et al. 2005. Immune cell infiltration, cytokine expression, and beta-cell apoptosis during the development of type 1 diabetes in the spontaneously diabetic LEW.1AR1/Ztm-iddm rat. In *Diabetes*. vol. 54, pp. 2041–2052. Dostupné na: doi 10.2337/diabetes.54.7.2041
- Jorns, A., Wedekind, D., Jähne, J, et al. 2020. Pancreas pathology of latent autoimmune diabetes in adults (LADA) in patients and in a LADA rat model compared with type 1 diabetes. In *Diabetes*. vol. 69, pp. 624–633. Dostupné na: doi: 10.2337/db19-0865
- Katoh, M., Sakurai, K., Fujimoto, Y. 2002. Alloxan radical-induced generation of reactive oxygen species in the reaction system of alloxan with ascorbate. In *Yakugaku Zasshi*. vol.122(10), pp. 831–9. Dostupné na: doi: 10.1248/yakushi.122.831
- King, A.J. 2012. The use of animal models in diabetes research. In *The British Journal of Pharmacology*. vol.166(3), pp. 877–94. Dostupné na: doi: 10.1111/j.1476-5381.2012.01911.x
- Kobayashi, T., Tanaka, S., Harii, N., et al. 2006. Immunopathological and genetic features in slowly progressive insulin-independent diabetes mellitus and latent autoimmune diabetes in adults. In *Annals of the New York Academy of Sciences*. vol. 1079, pp. 60–66. Dostupné dňa: doi: <https://doi.org/10.1196/annals.1375.009>
- Kottaisamy, C.P.D., Raj, D.S., Prasanth Kumar, V. et al. 2021. Experimental animal models for diabetes and its related complications—a review. In *Laboratory Animal Research*. vol.37, pp. 23 . Dostupné na : doi: <https://doi.org/10.1186/s42826-021-00101-4>
- Lee, J.H., Yag, SH, Oh JM, et al. 2010. Pharmacokinetics of drugs in rats with diabetes mellitus induced by alloxan or streptozocin: comparison with those in patients with type 1 diabetes mellitus. In *The Journal of Pharmacy and Pharmacology*. vol. 62, pp. 1–23. Dostupné na: doi: 10.1211/jpp.62.01.0001
- Lenzen, S. 2008. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes. In *Diabetologia*. vol. 51, pp. 216–226. Dostupné na: doi: 10.1007/s00125-007-0886-7
- Lenzen, S., Tiedge, M., Elsner, M., et al. 2001. The LEW.1AR1/Ztmiddm rat: a new model of spontaneous insulin-dependent diabetes mellitus. In *Diabetologia*. vol. 44, pp. 1189–1196. Dostupné na: doi 10.1007/s001250100625
- Like, A.A, Rossini, A.A. 1976. Streptozotocin-induced pancreatic insulinitis: new model of diabetes mellitus. In *Science*. vol.193, pp. 415–417. Dostupné na: doi: [10.1126/science.180605](https://doi.org/10.1126/science.180605)
- Makino, S., Kunitomo, K., Muraoka, Y., et al. 1980. Breeding of nonobese, diabetic strain of mice. In *Experimental Animals*. vol. 29, pp. 1–13. Dostupné na: doi: 10.1538/expanim1978.29.1\_1
- Makino, S., Muraoka, Y., Kishimoto, Y., et al. 1985. Genetic analysis for insulinitis in NOD mice. In *Experimental Animals* vol. 34, pp. 425–432. Dostupné na: doi: 10.1538/expanim1978.34.4\_425
- Martiniakova, M., Bobonova, I., Omelka, R., Duranova, H., Babosova, R., Stawarz, R., Toman, R. 2014. Low administration of bee pollen in the diet affects qualitative histological characteristics of bone in male rats. In *Potravinarstvo Slovak Journal Food Science*. vol.8(1), pp.277-83. ISSN 1337-0960 online. Dostupné na: <https://doi.org/10.5219/396>
- Martiniakova, M., Blahova J., Kovacova V., Mondockova, V., Babosova, R., Kalafova, A., Capcarova M., Omelka, R.2021. Effects of bee bread, Cornelian cherries treatment on the femoral bone structure using Zucker diabetic fatty rats as an animal model. In *Veterinary Medicine - Czech*, vol. 66(8), pp. 342-349. Dostupné na: doi 10.17221/224/2020-VETMED
- Mordes, J.P., Bortell, R., Groen, H., et al. 2001. Autoimmune diabetes mellitus in the BB rat. In: Sima AAF, Shafir E (eds). In *Animal Models of Diabetes. A Primer*, vol. 2. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, Frontiers in Animal Diabetes Research, pp. 1–41. Dostupné na: doi: 10.1093/ilar.45.3.278
- Mori, Y., Suko, M., Okudaira, H., et al. 1986. Preventive effects of cyclosporin on diabetes in NOD mice. In *Diabetologia*. vol. 29, pp. 244–247. dostupné na: doi: 10.1007/BF00454884
- Portha, B., Giroix, M.H., Turrel-Cuzin, C., Le-Stunff, H., Movassat, J. 2012. The GK rat: a prototype for the study of non-overweight type 2 diabetes. In *Methods in Molecular Biology*. 2012;933:125-59. Dostupné na doi: 10.1007/978-1-62703-068-7\_9
- Rakieten, N., Rakieten, M.L., Nadkarni, M.R. 1963. Studies on the diabetogenic action of streptozotocin (NSC-37917). In *Cancer Chemotherapy Reports*. vol. 29, pp. 91–98.
- Rees, D.A., Alcolado, J.C. 2005. Animal models of diabetes mellitus. In *Diabetic Medicine*. vol. 22, pp. 359–370. Dostupné na: doi: 10.1111/j.1464-5491.2005.01499.x

- Segev, Y., Landau, D., Marbach, M., et al. 1997. Renal hypertrophy in hyperglycemic non-obese diabetic mice is associated with persistent renal accumulation of insulin-like growth factor1. In *The Journal of the American Society of Nephrology*. vol. 8, pp. 436–444. Dostupné na: doi: 10.1681/ASN.V83436
- Schmidt, R.E., Dorsey, D.A., Beaudet, L.N., Peterson, R.G. 2003a. Analysis of the Zucker Diabetic Fatty (ZDF) type 2 diabetic rat model suggests a neurotrophic role for insulin/IGF-I in diabetic autonomic neuropathy. In *The American Journal of Pathology*. vol.163(1), pp .21-8. Dostupné na doi: 10.1016/S0002-9440(10)63626-7
- Schmidt, R.E., Dorsey, D.A., Beaudet, L.N., et al. 2003b. Non-obese diabetic mice rapidly develop dramatic sympathetic neuritic dystrophy: a new experimental model of diabetic autonomic neuropathy. In *American Journal of Pathology*. vol. 163, pp. 2077–2091. Dostupné na: doi: 10.1016/S0002-9440(10)63565-1
- Soroku, Yagihashi. 2023. Contribution of animal models to diabetes research: Its history, significance, and translation to humans. In *Journal of Diabetes Investigation*. vol. 14, pp. 1015– 1037. Dostupné na: doi: 10.1111/jdi.14034
- Tyrberg, B., Andersson, A., Borg, L.A. 2001. Species differences in susceptibility of transplanted and cultured pancreatic islets to the beta-cell toxin alloxan. In *General and Comparative Endocrinology*. vol. 122, pp. 238–251. Dostupné na: doi: 10.1006/gcen.2001.7638
- Wang, Z., Gleichmann, H. 1998. GLUT2 in pancreatic islets: crucial target molecule in diabetes induced with multiple low doses of streptozotocin in mice. In *Diabetes*. 1998. vol. 47, pp. 50–56. Dostupné na: doi: 10.2337/diab.47.1.50
- Xiao, X., Ma, B., Dong, B., et al.2009. Cellular and humoral immune responses in the early stages of diabetic nephropathy in NOD mice. In *Journal of Autoimmunity*. vol. 32, pp. 85–93. Dostupné na: doi: 10.1016/j.jaut.2008.12.003

## Review práca

### Nutraceutiká: zdravotné benefity a účinky

Nutraceuticals: health benefits and effects

**Patrícia ŠIMKOVÁ, Anna KALAFOVÁ, Marcela CAPCAROVÁ**

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

### Abstract

In recent years, there has been a growing interest in functional foods that have the ability to support and consolidate human health or to aid in the treatment and prevention of disease. The term nutraceutical was coined in 1989 by combining the words nutrition and pharmaceutical. These are foods or parts of foods that provide health benefits to the consumer beyond nutrients and energy. However, the boundary between nutraceuticals and dietary supplements has not yet been precisely defined. Antioxidants, vitamins, probiotics, prebiotics and carotenoids make up the largest part of nutraceuticals. This article will discuss the characteristics of nutraceuticals and their positive impact on human health.

**Keywords:** nutraceuticals, probiotics, antioxidants, vitamins, carotenoids

### Úvod

Posledné dve desaťročia rýchleho životného štýlu, ktorý obsahuje nedostatok času na šport, zvýšené percento sedavých zamestnaní a celkové zhoršenie životného štýlu viedli k rýchlemu rozmachu civilizačných ochorení, ktoré zvyšujú mortalitu a morbiditu (Balakrishnan et al., 2022). Do povedomia ľudí sa dostáva potreba zlepšiť kvalitu života a predĺženie jeho trvania. Do popredia sa dostávajú nutraceutiká, teda funkčné potraviny, ktoré nemajú žiadnu oficiálnu všeobecnú definíciu. Vo všeobecnosti môže byť nutraceutikum každá potravina s pozitívnym zdravotným benefitom na organizmus (Mishra et al., 2018). Ide o potraviny s vysokou účinnosťou a minimom alebo žiadnymi vedľajšími účinkami. Medzi funkčné potraviny sa radia antioxidanty, vitamíny, probiotiká atď. (Pandey et al., 2022). Ide o látky, ktoré sa nachádzajú v prirodzenom prostredí človeka, v strave alebo doplnkoch stravy. Keďže ide o potraviny, ktoré sú bežne dostupné v potrave, ich potenciál je veľmi veľký. Už terajšie výskumy preukazujú početné pozitívne účinky pri liečbe závažných ochorení. Avšak ide o málo preskúmanú oblasť, kde sa stále vyskytujú komplikácie s rozpustnosťou vo vode, vysokou teplotou topenia či chemickou nestabilitou, čo zvyšuje náklady na prevádzku a komplikuje komerčné použitie nutraceutík (Puri et al., 2022).

### Nutraceutiká – charakteristika

Od praveku sa na liečbu rôznych chorôb využívali po celom svete rastliny (Pandey et al., 2022). Pred 2500 rokmi Hippokrates, otec modernej medicíny, uznal vzťah medzi potravinami a zdravím človeka (Singh a Sinha, 2012). Samotný pojem nutraceutikum zaviedol v roku 1989 doktor Stephen DeFelice spojením výrazov výživa a farmaceutikum (Verma a Mishra, 2016). Na celom svete sa uvádzajú rôzne definície funkčných potravín, avšak zatiaľ neexistuje presná definícia (Mishra et al., 2018). Najviac používanou a akceptovanou je definícia nutraceutík ako potravín alebo častí potravín, ktoré poskytujú zdravotné či liečivé benefity pri prevencii a liečbe viacerých ochorení (Singh a Sinha, 2012). Vo všeobecnosti môže byť za funkčnú potravinu považovaná každá potravina, ktorá vykazuje účinky na zdravie (Mishra et al., 2018). Zahŕňa to vitamínové doplnky stravy, byliny, ovocie, nápoje, zeleninu, geneticky modifikované potraviny, polievky ale aj spracované jedlá, ako sú cereálie. Ide o zlúčeniny pochádzajúce z rastlín a zvierat. Delia sa na tradičné a atypické podľa dostupnosti v bežnej strave. Skupina tradičných potravín zahŕňa potraviny s vysokým

obsahom vitamínov, živín a minerálov (Pandey et al., 2022). Do atypickej kategórie sú zaradené potraviny, ktoré majú vysoký obsah energie a boli vyrobené biotechnologicky (Poddar et al., 2019). Začlenenie týchto funkčných potravín do každodennej rutiny môže pomôcť pri prevencii patologických ochorení (Puri et al., 2022). Nutraceutiká majú oproti liekom výhodu v tom, že pri ich užívaní sa neobjavujú vedľajšie účinky (Ansari et al., 2013). Tieto potraviny majú samé o sebe významne priaznivé účinky avšak v kombinácii s farmakologickými liečivami môžu ešte viac posilniť terapeutický účinok liečebných postupov (Pandey et al., 2022). Nutričná terapia je založená na presvedčení, že potraviny môžu byť nielen zdrojom energie a živín, ale sú schopné poskytovať aj liečebné účinky (Ansari et al., 2013). Vitamíny, antioxidanty, karotenoidy, probiotiká, prebiotiká a synbiotiká patria medzi najbežnejšie nutraceutiká (Tabuľka 1) (Pandey et al., 2022). Nevýhodou nutraceutík je ich zlá rozpustnosť vo vode, chemická nestabilita aktívnych zložiek a vysoká teplota topenia. Príkladom sú karotenoidy, kurkumín, omega-3 mastné kyseliny a vitamíny rozpustné v tukoch, ktoré majú vysokú nutričnú hodnotu, ale nie sú rozpustné vo vode. A práve kvôli tomu sa stávajú finančne náročnejšími a preto je potrebné vyvinúť nákladovo efektívnejšie technológie (Puri et al., 2022).

### **Prebiotiká, Probiotiká, Synbiotiká**

V ľudskom čreve sa nachádza široké spektrum bakteriálnych druhov, ktoré majú vplyv na imunitný systém človeka a sú dôležité pre správne metabolické fungovanie organizmu (Cencic a Chingwaru, 2010). Strava má veľký vplyv na mikroflóru a ovplyvňuje funkciu osi čreva a mozgu. Z viacerých výskumov vyplýva, že probiotiká, prebiotiká a liečba založená na synbiotikách je účinná pri boji proti neurozápalu skrz úpravu črevnej flóry (Pandey et al., 2022). Pojem probiotiká je odvodený z gréckeho slova pre život a pôvodne označoval látky, ktoré boli produkované jedným prvkom a mali výhody pre druhý (Mishra et al., 2018). Až v súčasnosti všeobecná definícia charakterizuje probiotiká ako živé organizmy, ktoré pri požití v danom množstve prejavujú zdravotné benefity nad rámec základnej výživy. Podľa štúdií účinky probiotík na pacienta závisia od probiotických kmeňov, použitej dávky, dĺžky liečby a typu infekcie u pacienta. Preukázalo sa, že probiotiká zmiernujú symptómy alergií, *diabetes mellitus* 2. typu, rakoviny, AIDS, infekcií močových a dýchacích ciest (Cencic a Chingwaru, 2010). Naopak prebiotiká sú podľa WHO charakterizované ako neživá zložka potravy, ktorá má zdravotný vplyv na organizmus spojený s moduláciou mikroflóry. Za ideálne prebiotikum sa považuje také, ktoré je pre črevo ľahko rozložiteľné a zároveň je odolné voči žalúdočnej kyseline a nie je absorbované v hornom gastrointestinálnom trakte. Kombinovaním prebiotík s probiotikami vznikajú synbiotiká. Ide o produkty, kde prebiotická zlúčenina selektívne podporuje probiotický organizmus (Mishra et al., 2018).

### **Karotenoidy**

Karotenoidy sú prirodzene sa vyskytujúce pigmenty vo fotosyntetických baktériách, riasach a rôznych rastlinách. Nachádzajú sa v prírodných zdrojoch, akými sú zelenina a ovocie. Najčastejšie používanými karotenoidmi v strave sú: lykopén,  $\alpha$ -karotén,  $\beta$ -karotén, luteín,  $\beta$ -kryptoxantín a zeaxantín (Puri et al., 2022). Karotenoidy boli objavené aj v mozgovom tkanive pričom najpočetnejšie zastúpenie mali xantofyl a luteín (Pandey et al., 2022). Využívajú sa na ochranu zdravia pokožky. Výskumy ukazujú, že probiotiká spolu s karotenoidmi znižujú poškodenie vplyvom UV žiarenia a pomáhajú predchádzať rakovine kože (Puri et al., 2022). Okrem vplyvu na kožu sa karotenoidy a retinoidy skúmajú v boji proti Alzheimerovej chorobe (Pandey et al., 2022).

### Antioxidanty a vitamíny

Najznámejšími nutraceutikami sú vitamíny a antioxidanty. Mnoho výhod sa pripisuje príjmu antioxidantov v potrave alebo v doplnkoch stravy (Durej et al., 2003). Poškodenie buniek oxidačným stresom zohráva veľkú úlohu pri starnutí ale hlavne pri progresii ochorení. Antioxidanty stoja v prvej línii obrany proti voľným radikálom, ktoré spôsobujú oxidačný stres a tak pomáhajú udržiavať organizmus v homeostáze. Sú nevyhnutné pre udržanie optimálneho systémového a bunkového zdravia (Verma a Mishra, 2016). Využívajú sa ako doplnky stravy a liečby pri chronických ochoreniach ako je rakovina alebo kardiovaskulárne ochorenia. Dokážu znížiť oxidáciu LDL cholesterolu. Výskumy nasvedčujú tomu, že príjem antioxidantov vo väčšom množstve vedie k zníženiu mortality a morbiditu (Puri et al., 2022). Ľudský organizmus si vytvoril komplexný ochranný systém na boj proti voľným radikálom (Verma a Mishra, 2016). S antioxidačnou liečbou by sa u pacientov malo začať hneď po nástupe ochorenia, aby sa účinok liečby ešte zvýšil (Pandey et al., 2022). Medzi antioxidanty patria aj vitamíny (Verma a Mishra, 2016). Vitamíny sú pre správne fungovanie tela veľmi dôležité. Napr. vitamín C a E sa využívajú na liečbu demencie u pacientov s Alzheimerovou chorobou (Pandey et al., 2022). Tieto vitamíny znižujú riziko srdcovo-cievnych ochorení (Puri et al., 2022). Pridanie  $\beta$ -karoténu k vitamínom C a E je užitočné pri liečbe aterosklerózy (Durej et al., 2003). Vitamín A v interakcii s retinoidmi zohráva kľúčovú úlohu pri vývoji nervových buniek a podieľa sa na vývoji neurónov a ovplyvňuje sekréciu neurotransmiterov v mozgu pacienta (Pandey et al., 2022).

**Tabuľka 1.** Nutraceutiká: ich zdravotné benefity a výskyt

<b>Nutraceutiká</b>	<b>Zdroj</b>	<b>Zdravotný benefit</b>	<b>Zdroje</b>
<i>Vitamín A</i>	špenát, mrkva, papája, tekvica	udržiava zdravie pokožky, sliznice a videnia	Durej et al., 2003 Ansari et al., 2013
<i>Vitamín D</i>	vaječný žĺtok, mlieko, maslo	pomáha telu absorbovať a využívať vápnik, nevyhnutný pre formovanie zubov a kosti	Durej et al., 2003 Ansari et al., 2013
<i>Vitamín E</i>	arašidový olej, olej zo pšeničných klíčkov	antioxidant, pomáha pri tvorbe krviniek a svalov, posilňuje imunitný systém	Durej et al., 2003 Ansari et al., 2013
<i>Vitamín K</i>	kapusta, karfiol, paradajky	nevyhnutný pre zrážanie krvi	Durej et al., 2003 Ansari et al., 2013
<i>Vitamín C</i>	citrusy, paprika, rakytník	antioxidant nevyhnutný pre zdravé kosti, zuby, d'asná a kožu, pomáha pri hojení rán, zlepšuje imunitný systém	Durej et al., 2003 Ansari et al., 2013
<i>Vitamín B</i>	mäso, pečeň, orechy, strukoviny, mlieko, banány,	podporuje činnosť mozgu, pomáha pri produkcii a premene energie	Durej et al., 2003 Ansari et al., 2013

<i>Nutraceutiká</i>	<b>Zdroj</b>	<b>Zdravotný benefit</b>	<b>Zdroje</b>
<i>Probiotiká</i>	jogurty, cmar, syr, olivky, kyslá kapusta	pomáhajú udržiavať balans mikroflóry	Mishra et al., 2018
<i>Prebiotiká</i>	ovos, materské mlieko, sójové bôby, jačmeň	pomáhajú udržiavať balans mikroflóry	Mishra et al., 2018
<i>Synbiotiká</i>	kombinácia probiotík a prebiotík	zlepšujú fungovanie pečene u pacientov s cirhózou, zvyšujú rovnováhu mikroflóry, zlepšujú imunomodulačnú schopnosť	Mishra et al., 2018
<i>Karotenoidy</i>	ovocie, zelenina	znižujú poškodenie kože vplyvom UV	Puri et al., 2022

### **Záver**

Nutraceutiká sú funkčné potraviny, ktoré zahŕňajú vitamíny, probiotiká, antioxidanty, karotenoidy atď. Podľa výskumov môžu nutraceutiká vo výraznej miere pozitívne ovplyvniť zdravie človeka. Môžu byť použité ako samostatné výživové doplnky alebo ako doplnok k liečbe farmaceutikami a pomôcť tak zvýšiť účinnosť samotného lieku. Vo viacerých výskumoch sa zistil ich priaznivý vplyv na priebeh *diabetes mellitus*, rakoviny či dokonca AIDS a iných civilizačných ochorení, ktoré sa každým rokom viac rozmáhajú. Avšak ide o funkčné potraviny, ktorým sa kladie vyššia pozornosť iba posledných pár rokov a preto sa objavujú nejasnosti v dávkovaní, skladovaní či príprave. Ďalšie štúdie sú potrebné na bližšie ujasnenie definícií v tejto oblasti a k vyriešeniu problémov, ktoré komplikujú finančnú náročnosť užívania nutraceutík.

### **Pod'akovanie**

Práca bola podporená výskumným grantom APVV 19/0243, VEGA 1/0304/23, KEGA 017SPU-4/2023 a KEGA 007SPU-4/2022.

**Kontaktná adresa:** Ing. Patrícia Šimková, Ústav aplikovanej biológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika, e-mail: xsimkovap@uniag.sk

### **Literatúra**

- Ansari, S., Chauhan, B., Kalam, N., Kumar, G. 2013. Current concepts and prospects of herbal nutraceutical: A review. In *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, vol. 4, no. 1, pp. 4, ISSN: 2231-4040. Dostupné na: doi: 10.4103/2231-4040.107494
- Balakrishnan, P., Gopi, S., Shahgholian, N. 2022. Introduction to nutraceuticals and natural products. In *Handbook of Nutraceuticals and Natural Products*, pp. 1-14, ISBN: 9781119746799 9781119746843. Dostupné na: doi: 10.1002/9781119746843.ch1
- Cencic, A., Chingwaru, W. 2010. The role of functional foods, nutraceuticals, and food supplements in intestinal health. In *Nutrients*, vol. 2, no. 6, pp. 611- 625, ISSN: 2072-6643. Dostupné na: doi: 10.3390/nu2060611
- Durej, H., Kaushik, D., Kumar, V. 2003. Developments in nutraceuticals. In *Indian Journal of Pharmacology*, vol. 35, pp. 363-372, ISSN: 0253-7613. Dostupné na: [https://www.researchgate.net/profile/Harish-Dureja-2/publication/228886215\\_Development\\_in\\_nutraceuticals/links/54584ca0cf2bccc491125f9/Development-in-nutraceuticals.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Harish-Dureja-2/publication/228886215_Development_in_nutraceuticals/links/54584ca0cf2bccc491125f9/Development-in-nutraceuticals.pdf)
- Mishra, S. S., Behera, P. K., Kar, B., Ray, R. C., Panda, S. K., Shetty, P. H. 2018. Advances in probiotics, prebiotics and nutraceuticals. In *Innovations in Technologies for Fermented Food and Beverage Industries*, pp. 121-141, ISBN: 9783319748207. Dostupné na: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-74820-7\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-74820-7_7)

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

- Pandey, S. N., Singh, G., Semwal, B. C., Gupta, G., Alharbi, K. S., Almalki, W. H., Albratty, M., Najmi, A., Meraya, A. M. 2022. Therapeutic approaches of nutraceuticals in the prevention of Alzheimer's disease. In *Journal of Food Biochemistry*, vol. 46, no. 12, ISSN: 0145-8884. Dostupné na: doi 10.1111/jfbc.14426
- Poddar, J., Pradhan, M., Ganguly, G., Chakrabarti, S. 2019. Biochemical deficits and cognitive decline in brain aging: Intervention by dietary supplements. In *Journal of Chemical Neuroanatomy*, vol. 95, pp. 70-80, ISSN: 0891-0618. Dostupné na: doi: 10.1016/j.jchemneu.2018.04.002
- Puri, V., Nagpal, M., Singh, I., Singh, M., Dhingra, G. A., Huanbutta, K., Dheer, D., Sharma, A., Sangnim, T. 2022. A comprehensive review on nutraceuticals: therapy support and formulation challenges. In *Nutrients*, vol. 14, no. 21, pp. 4637, ISSN: 2072-6643. Dostupné na: doi: 10.3390/nu14214637
- Singh, J., Sinha, S. 2012. Classification, regulatory acts and applications of nutraceuticals for health. In *IJPBS*, vol. 2, no. 1, pp. 177-187, ISSN: 2230-7605. Dostupné na: [https://ijpbs.com/ijpbsadmin/upload/ijpbs\\_50cd5f63c5009.pdf](https://ijpbs.com/ijpbsadmin/upload/ijpbs_50cd5f63c5009.pdf)
- Verma, G., Mishra, M. K. 2016. A review on nutraceuticals: classification and its role in various disease. In *International Journal of Pharmacy & Therapeutics*, vol. 7, no. 4, pp. 152-160, ISSN: 0976-0342. Dostupné na: [https://www.researchgate.net/profile/Manoj-Mishra-24/publication/322821916\\_A\\_review\\_on\\_nutraceuticals\\_Classification\\_and\\_its\\_role\\_in\\_various\\_disease/links/5a71acf40f7e9ba2e1cbbc6c/A-review-on-nutraceuticals-Classification-and-its-role-in-various-disease.pdf?\\_sg%5B0%5D=started\\_experiment\\_milestone&origin=journalDetail&\\_rtd=e30%3D](https://www.researchgate.net/profile/Manoj-Mishra-24/publication/322821916_A_review_on_nutraceuticals_Classification_and_its_role_in_various_disease/links/5a71acf40f7e9ba2e1cbbc6c/A-review-on-nutraceuticals-Classification-and-its-role-in-various-disease.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail&_rtd=e30%3D)

## Review práca

### Rakytník rešetliakový a drieň obyčajný v terapii metabolických ochorení

Sea buckthorn and Cornelian cherry in the therapy of metabolic diseases

**Patrícia ŠIMKOVÁ, Anna KALAFOVÁ, Marcela CAPCAROVÁ**

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

## Abstract

*Diabetes mellitus* is a serious threat to the health of the human population. It has been spreading at epidemic speed in recent decades and is one of the 10 most common causes of death. The main causes of the development of the disease are increasing age, poor lifestyle combined with obesity and genetic predisposition. It has several types. Up to 90% of patients diagnosed with *diabetes* have type 2 of the disease, which is characterised by insulin resistance or reduced production of this hormone in the pancreas. Synthetic manufactured insulin is delivered into the patient's body in the form of pills or injectable solution as a drug. This is an expensive treatment either to produce or for the patient himself. Synthetically manufactured drugs have a large number of side effects in addition to the benefits. And that is why society is increasingly turning to medicinal plants, which have been used for centuries in Eastern medicine. Plant products can be a promising substitute or supplement in the treatment of not only *diabetes mellitus* but also other equally serious diseases. Many researches in this field suggest that medicinal plants have a high rate of effect on the specified problem and at the same time have a minimum of side effects. In this article, we have detailed the health benefits of sea Buckthorn and (*Hippophae rhamnoides*) cornelian cherry (*Cornus mas*). This review article presents new findings and results in the treatment of metabolic diseases targeting *diabetes mellitus*.

**Keywords:** sea buckthorn, cornelian cherry, *diabetes mellitus*

## Úvod

Populačné ochorenie *diabetes mellitus* (DM) sa šíri ako epidémia naprieč celým svetom. Je jednou z popredných príčin mortality a morbiditu na svete (Saltiel a Kahn, 2001). Priamou príčinou rozvoja DM je rezistencia na inzulín, nedostatočná produkcia tohto hormónu alebo absencia  $\beta$ -buniek, ktoré ho produkujú (Gao et al., 2021). Najhlavnejším prejavom ochorenia je hyperglykémia (Cole a Florez, 2020). Nekontrolovaná, pravidelne vysoká hladina glukózy v krvi spôsobuje pridružené zdravotné komplikácie napr. nefropatiu, retinopatiu, neuropatiu a ďalšie. Moderné syntetické liečiva majú mnoho vedľajších účinkov na zdravie človeka a preto sa hľadajú iné alternatívne spôsoby liečby. Jedným z nich je používanie rastlín, ktoré pri výskumoch blahodarne vplyvajú na prevenciu, priebeh a rozvoj ochorenia od jeho začiatkov. Medzi tieto skúmané rastliny patrí rakytník rešetliakový (*Hippophae rhamnoides*) a drieň obyčajný (*Cornus mas*) (Chen et al., 2023). Obe rastliny obsahujú veľké množstvo antioxidantných látok, vitamínov, flavonoidov a majú okrem iného protizápalové a antidiabetické vlastnosti (Wu et al., 2023).

## *Diabetes mellitus*

*Diabetes mellitus* prvého a hlavne druhého typu sú rýchlo rastúcou hrozbou verejného zdravia (Naz et al., 2023). Ide o chronickú metabolickú poruchu, ktorá zahŕňa poruchy metabolizmu tukov, bielkovín a sacharidov (Mu et al., 2022). DM je charakterizovaný hyperglykémiou, ktorá je následkom absolútnej alebo relatívnej absencie inzulínu kvôli dysfunkcií  $\beta$ -buniek pankreasu, inzulínovej rezistencií alebo kombinácií oboch (Cole a Florez, 2020). Vonkajšie a genetické faktory môžu výrazne ovplyvniť senzitivitu na inzulín (Saltiel a Kahn, 2001).



Prevalencia ochorenia v západnej dospeljej populácii je 10 %. Z toho 90 % pacientov trpí 2. typom DM (Lambrinoudaki et al., 2022). Toto ochorenie sa vo všeobecnosti delí na 2 základne typy a to DM 1. typu a DM 2. typu (Cole a Florez, 2020). 1. typ DM je charakterizovaný ako ochorenie autoimunitného systému, kedy dochádza k deštrukcii  $\beta$ -buniek pankreasu, čo vedie až k ich úplnej absencii a následnému nedostatku produkcie inzulínu v tele (ADA, 2018). Pri tomto type je zlyhanie Langerhansových ostrovčiek zistiteľné v začiatkoch hyperglykémie z dôvodu apoptózy  $\beta$ -buniek (Maedler et al., 2001). Častejším typom DM je typ druhý. Tento druh ochorenia sa prejavuje rezistenciou na inzulín, ktorý si telo produkuje alebo nedostatkom inzulínu v dôsledku preťaženia pankreasu (Maedler et al., 2001). Hyperglykémia nalačno značí, že bazálna sekrécia inzulínu už nestačí na udržanie homeostázy (Niswender, 2011). V pokročilých štádiách 2. typu je pozorovateľný pokles hmoty  $\beta$ -buniek. Práve na hmotnosti a funkčnosti  $\beta$ -buniek závisí schopnosť endokrinného pankreasu vylučovať primerané množstvo inzulínu. Dlhodobým zvýšením funkčnej hmotnosti  $\beta$ -buniek (napr. pri nadbytku rastového hormónu, obezite alebo tehotenstve) môže dôjsť k rozvoju DM alebo apoptóze  $\beta$ -buniek (Maedler et al., 2001). Klasickými príznakmi, ktoré sprevádzajú DM sú hyperglykémia, polydipsia, polyúria, ketoacidóza, ketonúria a ketonémia (Middha et al., 2019). Ak je priebeh ochorenia nestabilný a nekontrolovaný, vedie k mnohým zdravotným komplikáciám, ktoré pacientovi v ešte väčšej miere skracujú a sťažujú život. Medzi tieto komplikácie patrí napr. neuropatia, nefropatia, retinopatia, hyperlipidémia, hyperinzulinémia a zvýšené riziko srdcovo-cievnych ochorení (Chen et al., 2023).

### **Prírodné látky s terapeutickým účinkom**

V súčasnej dobe sa na liečbu DM využívajú najmä syntetické liečiva ako napríklad inzulín vo forme piluliek či injekcií. Lieky vyrobené synteticky pomáhajú mať priebeh ochorenia pod kontrolou, avšak neexistuje liek, ktorý by DM definitívne vyliečil (Middha et al., 2019). Mnohé zo súčasne používaných farmakologických liekov sú rastlinného pôvodu alebo vyrobené zo syntetických derivátov rastlín. U viacerých fytochemikálií sa výskumami potvrdilo, že majú rovnako silný účinok ako používané farmaceuticky vyrábané lieky (Sławińska a Olas, 2022). Používanie alternatívnej medicíny, založenej na liečivých rastlinách sa posledné roky tlačí do popredia, ako alternatíva s veľkými pozitívnymi účinkami a zároveň s minimom tých vedľajších. Alternatívne rastlinné liečiva pri liečbe *diabetes mellitus* účinkujú niekoľkými spôsobmi ako napr. regulácia funkcie  $\beta$ -buniek, rezistencia na inzulín a regulácia absorpcie glukózy. Bezpečnosť a účinnosť spôsobili, že rastlinné alternatívy sa stali potencionálnym zdrojom pri liečbe *diabetes mellitus* (Middha et al., 2019). Bioaktívne zlúčeniny rastlinného pôvodu sa skúmajú pre ich blahodarné účinky na zdravie človeka a možnosť vytvoriť bezpečnejšie, finančne nenáročnejšie a zdraviu prospešnejšie alternatívy liekov alebo nutraceutík (Sławińska a Olas, 2022).

### **Rakytník rešetliakový**

Rakytník rešetliakový (*Hippophae rhamnoides*) je viacúčelová rastlina vo veľkom pestovaná v Európe, Ázii a Kanade (Ciesarová et al., 2020). Ide o rastlinu, ktorá sa v čínskej medicíne využíva ako liečivá rastlina s mnohými blahodarnými účinkami už vyše 3000 rokov. Obsahuje veľké množstvo bioaktívnych zložiek vrátane mastných kyselín, vitamínov, polyfenolov a fytosterolov, ktoré sú zodpovedné za jeho liečivé účinky. Pri experimentoch *in vivo* aj *in vitro* vykazoval rakytník mnohé pozitívne účinky ako napr. zníženie lipidov a glukózy v krvi či zníženie krvného tlaku. Okrem iného má aj protikarcinogénny, kardioprotektívny, antibakteriálny, antidiabetický, antivírusový a protizápalový účinok (Chen et al., 2023). Práve tieto vlastnosti by mohli byť prínosom pre farmaceutický a nutraceutický priemysel (Middha et al., 2019).

### **Drieň obyčajný**

Drieň lekárskeho (*Cornus mas*) je potravinárska rastlina a významný liek využívaný stáročia v čínskej medicíne. Dostáva sa do popredia v modernej farmakológii, ktorej štúdie poukazujú na jeho pozitívne antioxidantné, protizápalové, antidiabetické, neuroprotektívne a kardiovaskulárne účinky. *Cornus mas* (CM) sa používa na liečbu príznakových symptómov u pacientov s *diabetes mellitus* akými sú smäd a časté močenie (Gao et al., 2021). CM svojimi zložkami účinne zlepšuje inzulínovú rezistenciu, znižuje hladinu glukózy v krvi a zmierňuje symptómy u pacientov trpiacich nefropatiou. Práve kontrola glukózy v krvi sa považuje za účinnú liečbu nefropatie, ktorá je jedným z hlavných zdravotných komplikácií pri *diabetes mellitus* (Wu et al., 2023). Štúdie ukázali, že extrakt z CM podporuje príjem glukózy bunkami. Zistilo sa, že tento extrakt môže inhibovať cytokínmi sprostredkovanú smrť  $\beta$ -buniek a zlepšovať ich funkciu (Gao et al., 2021). Práve týmto ochranným účinkom na  $\beta$ -bunky Langerhansových ostrovcov môže CM zmierniť patologické poškodenie pankreasu, čím sa zvýši počet  $\beta$ -buniek produkujúcich inzulín a glukózou stimulovaná sekrécia inzulínu (Wu et al., 2023). V súčasnosti sa využíva v rôznych formách viac ako 400 rastlín pre ich hypoglykemické účinky. Približne 40 z nich patrí do čeľade *Cornaceae*, ktorej súčasťou je *Cornus mas* (Dzydzan et al., 2019).

### **Záver**

*Diabetes mellitus* je jedno z najrozšírenejších civilizačných ochorení, ktoré so sebou prináša ďalšie zdravotné komplikácie, ktoré výrazne skracujú a zhoršujú život pacienta. Ide o ochorenie, ktoré keď pacient nadobudne, už sa ho nedokáže zbaviť a ostáva s ním po zvyšok života. Práve z tohto dôvodu je dôležitá hlavne prevencia a po prepuknutí choroby aj kontrolovaná liečba, ktorá by udržala rozvoj a priebeh ochorenia stabilizovaný. Synteticky vyrábané lieky, ktoré sa používajú, prinášajú okrem benefitov aj početné vedľajšie komplikácie a vysoké finančné náklady. Preto sa čoraz viac pacientov, lekárov ale aj výskumov začína obracať na liečivé rastliny, pre ich početné zdravotné benefity bez vedľajších účinkov. Rakytník rešetliakový ale aj drieň obyčajný prinášajú mnohé zdravotné výhody, či už pri znižovaní glukózy v krvi pacienta alebo pri pomoci dostať pod kontrolu pridružené zdravotné komplikácie, ktoré sú s týmto ochorením spojené. Početné výskumy a štúdie ukázali, že extrakty z týchto rastlín, ich semien či plodov majú sľubné zdravotné účinky, vďaka ktorým by sa mohli využiť na výrobu liekov či nutraceutík.

### **Pod'akovanie**

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

**Kontaktná adresa:** Ing. Patrícia Šimková, Ústav aplikovanej biológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika, e-mail: xsimkovap@uniag.sk

### **Literatúra**

- ADA. 2018. 2. Classification and diagnosis of diabetes. In *Diabetes Care*, vol. 41, pp. 13-27, ISSN 1935-5548. Dostupné na: doi: 10.2337/dc18-S002
- Chen, Y., Cai, Y., Wang, K., Wang, Y. 2023. Bioactive compounds in sea buckthorn and their efficacy in preventing and treating metabolic syndrome. In *Foods*, vol. 12, no. 10, pp. 1985, ISSN 2304-8158. Dostupné na: doi: 10.3390/foods12101985
- Ciesarová, Z., Murkovic, M., Cejpek, K., Kreps, F., Tobolková, B., Koplík, R., Belajová, E., Kukurová, K., Daško, E., Panovská, Z., Revenco, D., Burčová, Z. 2020. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review. In *Food Research International*, vol. 133, pp. 109170, ISSN 0963-9969. Dostupné na: doi: 10.1016/j.foodres.2020.109170

- Cole, J. B., Florez, J. C. 2020. Genetics of diabetes mellitus and diabetes complications. In *Nature Reviews Nephrology*, vol. 16, pp. 377-390, ISSN 1759-507X. Dostupné na: doi: 10.1038/s41581-020-0278-5
- Dzydzan, O., Bila, I., Kucharska, A. Z., Brodyak, I., Sybirna, N. 2019. Antidiabetic effects of extracts of red and yellow fruits of cornelian cherries (*Cornus mas* L.) on rats with streptozotocin-induced diabetes mellitus. In *Food & Function*, vol. 10, no. 10, pp. 6459-6472, ISSN 2042-650X. Dostupné na: doi: 10.1039/C9FO00515C
- Gao, X., Liu, Y., An, Z., Ni, J. 2021. Active components and pharmacological effects of *cornus officinalis*: literature review. In *Frontiers in Pharmacology*, vol. 12, pp. 633447, ISSN 1663-9812. Dostupné na: doi: 10.3389/fphar.2021.633447
- Lambrinouadaki, I., Paschou, S. A., Armeni, E., Goulis, D. G. 2022. The interplay between diabetes mellitus and menopause: clinical implications. In *Nature Reviews Endocrinology*, vol. 18, no. 10, pp. 608-622, ISSN 1759-5037. Dostupné na: doi: 10.1038/s41574-022-00708-0
- Maedler, K., Spinass, G. A., Lehmann, R., Sergeev, P., Weber, M., Fontana, A., Kaiser, N., Donath, M. Y. 2001. Glucose induces  $\beta$ -cell apoptosis via upregulation of the fas receptor in human islets. In *Diabetes*, vol. 50, pp. 1683-1690, ISSN 1939-327X. Dostupné na: doi: 10.2337/diabetes.50.8.1683
- Middha, S. K., Usha, T., Basistha, B. C., Goyal, A. K. 2019. Amelioration of antioxidant potential, toxicity, and antihyperglycemic activity of *Hippophae salicifolia* D. Don leaf extracts in alloxan-induced diabetic rats. In *3 Biotech*, vol. 9, no. 8, pp. 308, ISSN 2190-5738. Dostupné na: doi: 10.1007/s13205-019-1840-3
- Mu, Y., Tao, C., Yaun, W., Lv, Z. 2022. Sea buckthorn leaf L-quebrachitol extract for improved glucose and lipid metabolism in insulin resistant hepG2 cells. In *BioResources*, vol. 17, no. 1, pp. 527-542, ISSN 1930-2126. Dostupné na: doi: 10.15376/biores.17.1.527-542
- Naz, R., Saqib, F., Awadallah, S., Wahid, M., Latif, M. F., Iqbal, I., Mubarak, M. S. 2023. Food polyphenols and type II diabetes mellitus: pharmacology and mechanisms. In *Molecules*, vol. 28, no. 10, pp. 3996, ISSN 1420-3049. Dostupné na: doi: 10.3390/molecules28103996
- Niswender, K. D. 2011. Basal insulin: physiology, pharmacology, and clinical implications. In *Postgraduate Medicine*, vol. 123, no. 4, pp. 17-26, ISSN 0032-5481. Dostupné na: doi: 10.3810/pgm.2011.07.2300
- Saltiel, A. R., Kahn, C. R. 2001. Insulin signalling and the regulation of glucose and lipid metabolism. In *Nature*, vol. 414, no. 6865, pp. 799-806, ISSN 0028-0836. Dostupné na: doi: 10.1038/414799a
- Sławińska, N., Olas, B. 2022. Selected seeds as sources of bioactive compounds with diverse biological activities. In *Nutrients*, vol. 15, no. 1, pp. 187, ISSN 2072-6643. Dostupné na: doi: 10.3390/nu15010187
- Wu, C., Wang, J., Zhang, R., Zhao, H., Li, X., Wang, L., Liu, P., Li, P. 2023. Research progress on *cornus officinalis* and its active compounds in the treatment of diabetic nephropathy. In *Frontiers in Pharmacology*, vol. 14, pp. 1207777, ISSN 1663-9812. Dostupné na: doi: 10.3389/fphar.2023.1207777

## Antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice *Citrus reticulata* Blanco v *in vitro* a *in situ* podmienkach

Antimicrobial activity of *Citrus reticulata* Blanco plant essential oil in *in vitro* and *in situ* conditions

Andrea VEREŠOVÁ, Natália ČMIKOVÁ, Miroslava KAČÁNIOVÁ

Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

### Abstract

In recent years, there has been widespread concern worldwide about the high incidence of food poisoning and foodborne illness caused by microbial spoilage during processing and storage. The aim of this study was to investigate the antimicrobial activity of green mandarin essential oil against Gram-positive and Gram-negative bacteria by *in vitro* and *in situ* methods. The *in vitro* disc diffusion method and minimum inhibitory concentration method were used for the antimicrobial activity, and the vapor phase method was used for the *in situ* antimicrobial activity on vegetable and fruit model. The antimicrobial activity of green mandarin essential oil was found to be weak for all bacteria evaluated. The largest inhibition zone was found for the Gram-positive bacteria *Micrococcus luteus* 7.67 mm. The results of antimicrobial activity of green mandarin essential oil were lower for Gram-negative bacteria. *M. luteus* was the most sensitive bacteria using the apple model followed by *S. aureus*. The results of antimicrobial activity on the radish model showed the most optimal inhibition, as on apple, of *M. luteus* 35.76 % at a concentration of 500  $\mu$ l/l. Similar to the apple model, probacterial growth was demonstrated at the lowest concentration of mandarin essential oil.

**Keywords:** food pathogens, green mandarin, bacteria, antimicrobial activity, apple, radish

### Úvod

Citrusové druhy patria do čeľade *Rutaceae* a patria medzi komerčne najvýznamnejšie plodiny pestované v tropických a subtropických klimatických oblastiach (Bora et al., 2020). Kôra citrusových plodov je cennou surovinou na výrobu rastlinných silíc. Takéto silice majú históriu siahajúcu do veľmi dávnych čias. V súčasnosti nachádzajú tieto silice využitie v parfumérskom, potravinárskom a nápojovom priemysle. Rovnako tak existujú prípady použitia takýchto rastlinných silíc v ľudovej a tradičnej medicíne (Caputo et al., 2020). Extrakcia týchto silíc sa môže uskutočniť pomocou techník, ako je hydrodestilácia, lisovanie za studena a extrakcia rozpúšťadlom (Li et al., 2021). Citrusové rastlinné silice (CRS) sú medzi rastlinnými silicami obzvlášť fascinujúce, pretože môžu byť použité ako antioxidanty, majú schopnosť chrániť organizmy a tkanivá pred poškodením spôsobeným reaktívnymi formami kyslíka, a tiež ako ochucovadlá (Cozzi, 1997; Kang et al., 2006). Tieto rastlinné silice možno použiť ako alternatívu k syntetickým konzervačným látkam, pretože vykazujú antimikrobiálne a antioxidantné aktivity so širokým spektrom biologických aktivít (Mitropoulou et al., 2017; Wu et al., 2013). Tieto rastlinné silice sú netoxické, čo je dôvod, prečo pribúdajú výskumy a štúdie o antioxidantnom potenciáli rastlinných silíc. Zistilo sa však, že emisie prchavých zložiek, ako je limonén,  $\alpha/\beta$ -pinén a kamfén z citrusových sadov, prispievajú k tvorbe ozónu (Juráň et al., 2017) v troposfére a k ukladaniu ozónu v životnom prostredí, čím prispievajú k skleníkovému efektu (Juráň et al., 2019). CRS sú komplexnou zmesou prchavých zlúčenín patriacich k terpénom a okysličeným terpénom (Bustamante et al., 2016). Vzorce chemického zloženia citrusových druhov sa líšia podľa pôvodu, genotypu, faktorov prostredia a spôsobu extrakcie (Hosni et al., 2010). Okrem toho rastlinné silice z citrusových druhov, ako sú *Citrus reticulata*, *C. sinensis*, *C. paradisi*, *C. grandis*, *C. limon* a *C. medica* väčšinou obsahujú prchavé zlúčeniny, ako je limonén,  $\alpha/\beta$ -pinén, sabinén,  $\beta$  -

myrcén, limonén, linalool,  $\alpha$ -humulén a  $\alpha$ -terpineol, ktoré sa vyznačujú antioxidantnými, protizápalovými, antifungálnymi, antimikrobiálnymi vlastnosťami a podporujú hojenie rán (González-Mas et al., 2019). Multirezistentné patogény sú distribuované po celom svete a viedli k potrebe vývoja nových antimikrobiálnych látok, ale ich produkcia sa oneskoruje (Khadayat et al., 2020; Puvača a De Llanos Frutos, 2021). Rastlinné silice, najmä z citrusových druhov, by mohli byť možným kandidátom proti takýmto patogénom, najmä vzhľadom na ich sľubnú aktivitu proti patogénnym baktériám, ako sú *Listeria* spp. (Friedly et al., 2019), *Salmonella* spp. (O'Bryan et al., 2008), *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* a *Bacillus subtilis* (Yi et al., 2018). To je dôvod, prečo môžu byť citrusové rastlinné silice spájané s ich vysokou antimikrobiálnou účinnosťou proti rôznym patogénom (Bourgou et al., 2012; Değirmenci a Erkurt, 2020). Cieľom našej práce bolo sledovanie antimikrobiálnej aktivity rastlinnej silice vyrobenej z mandarínky zelenej na baktérie v podmienkach *in vitro* a *in situ*.

## **Materiál a metodika práce**

### **Rastlinná silica**

Rastlinná silica *Citrus reticulata* Blanco (CRRS) bola zakúpená od firmy Hanus, s.r.o. (Nitra, Slovensko). Rastlinná silica (RS) bola vyrobená lisovaním nezrelého oplodia za studena. RS bola skladovaná v tme pri teplote 4 °C. Chemické zloženie silice bolo od výrobcu uvedené nasledovne: limonén, pinény, linalool, terpinén, myrcén.

### **Testované mikroorganizmy**

Gram-pozitívne baktérie (*Listeria monocytogenes* CCM 4699, *Micrococcus luteus* CCM 732, *Staphylococcus aureus* subsp. *aureus* CCM 2461 ), Gram-negatívne baktérie (*Escherichia coli* CCM 3988, *Pseudomonas aeruginosa* CCM 1959, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* CCM 3807). Čisté kultúry mikroorganizmov boli získané z českej zbierky mikroorganizmov (Brno, Česká republika).

### **Disková difúzna metóda**

Antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice *Citrus reticulata* Blanco (CRRS) bola stanovená diskovou difúznou metódou. Mikrobiálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín na Mueller Hinton agare (MHA, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 37 °C. Inokulum sa upravilo na optickú denzitu 0,5 McFarlandovho štandardu ( $1,5 \times 10^8$  KTJ/ml) a 100  $\mu$ l sa pridalo na platne s MHA. Sterilné papierové disky 6 mm nasýtené 10  $\mu$ l rastlinnej silice *Citrus reticulata* Blanco sa umiestnili na vrstvu agaru obsahujúcu suspenziu mikroorganizmov. Vzorky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C. Dve antibiotiká ATB (cefoxitin, gentamicin, Oxoid, Basingstoke, UK) boli použité ako pozitívne kontroly pre Gram-negatívne, Gram-pozitívne baktérie. Ako negatívna kontrola slúžili disky impregnované 0,1 % DMSO (Dimetylsulfoxid, Centralchem, Bratislava, SK). Antimikrobiálna aktivita bola kategorizovaná ako veľmi silná, stredná a slabá, keď bola zóna inhibície rastu väčšia ako 15, 10 a 5 mm, v tomto poradí. Analýzy sa uskutočňovali trojmo.

### **Minimálna inhibičná koncentrácia (MIC)**

Mikrobiálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín v Mueller Hinton Broth (MHB, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 37 °C. Alikvotná časť 50  $\mu$ l inokula s optickou denzitou 0,5 McFarland sa pridala na 96-jamkovú mikrotitračnú platničku. Následne sa CRRS pripravila sériovým riedením na koncentračný rozsah od 400  $\mu$ l/ml do 0,2  $\mu$ l/ml v MHB a 100  $\mu$ l suspenzie sa dôkladne premiešalo s bakteriálnym inokulom v jamkách. Bakteriálne vzorky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C. MHB s RS bola použitá ako negatívna kontrola a MHB s inokulom bol použitý ako pozitívna kontrola reprezentujúca neinhibovaný rast. Pre

neadherentné mikroorganizmy sa absorbancia merala po inkubačnej perióde pri 570 nm spektrofotometrom Glomax (Promega Inc., Madison, WI, USA).

### ***In situ* analýzy**

Antibakteriálna analýza parnej fázy RS *in situ* bola testovaná na všetkých baktériách na modeli jablka a reďkovky. Zahriaty MHA sa nalial do 60 mm Petriho misiek (PD) a do veka PD. Nakrájané jablká a reďkovka na plátky (o veľkosti 0,5 mm) sa umiestnili na agar. Potom sa pripravilo inokulum, ako bolo opísané vyššie. RS sa zriedila v etylacetáte na 500, 250, 125 a 62,5 µl/l a naniesla sa na sterilný filtračný papier. Po odparení zostávajúceho etylacetátu (1 minúta) sa misky uzavreli a inkubovali pri teplote 37 °C počas 7 dní. Inhibícia rastu baktérií bola hodnotená stereologickou metódou.

*In situ* bakteriálny rast bol stanovený pomocou stereologických metód. V tomto koncepte sa objemová hustota (Vv) bakteriálnych kolónií najprv odhadla pomocou softvéru ImageJ počítaním bodov stereologickej mriežky zasahujúcich kolónie (P) a tie (p) spadajúce do referenčného priestoru (použitý rastový substrát). Objemová hustota bakteriálnych kolónií sa následne vypočítala nasledovne:  $Vv (\%) = P/p$ . Antibakteriálna aktivita RS bola definovaná ako percento inhibície rastu baktérií (BGI)  $BGI = [(C - T)/C] \times 100$ , kde C a T bol bakteriálny rast (vyjadrené ako Vv) v kontrolnej skupine a experimentálnej skupine, resp. negatívne výsledky predstavovali stimuláciu rastu.

### **Štatistické vyhodnotenie**

Všetky analýzy boli vykonané v triplikáte. Štatistická variabilita údajov bola spracovaná pomocou softvéru Microsoft-Excel.

### **Výsledky a diskusia**

CRRS preukázala široký rozsah antibakteriálnej aktivity proti rôznym druhom patogénov (Ambrosio et al., 2019; Mancuso et al., 2019; Raspo et al., 2020). Antibakteriálna aktivita CRRS bola v štúdií autorov Bhandari et al. (2021) testovaná proti *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Shigella sonnei* a *Salmonella typhi*. Výsledok štúdie naznačuje, že CRRS vykazoval miernu až slabú antibakteriálnu aktivitu pri 25 % sile proti testovanému bakteriálnemu kmeňu rovnako ako bolo dokázané v našich výsledkoch. Rastlinná silica *Citrus reticulata* Blanco vykazovala značnú aktivitu proti *Salmonella typhi*. Testovanie CRRS preukázala slabšiu antibakteriálnu aktivitu v porovnaní s neomycínom. Vyššia antimikrobiálna aktivita CRRS proti Gram-pozitívnym a Gram-negatívnym baktériám bola dokázaná na rozdiel od našej štúdie v prácach autorov Bourgou et al. (2012) a Değirmenci and Erkurt (2020). Diskovou difúznou metódou a minimálnou inhibičnou koncentráciou bola hodnotená antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice *C. reticulata* Blanco a výsledky meraní podľa metódy sú uvedené v tabuľke 1. U všetkých sledovaných baktérií bola zistená slabá antimikrobiálna aktivita CRRS. Najväčšia inhibičná zóna bola zistená u Gram-pozitívnej baktérií *M. luteus* 7,67 mm. Výsledky antimikrobiálnej aktivity CRRS boli nižšie u Gram-negatívnych baktérií. Minimálna inhibičná koncentrácia bolo zistená od 114,67 do 135,67 µl/ml pri MIC 50 a od 124,78 do 143,78 µl/ml pri MIC 90. Najlepšia antimikrobiálna aktivita podobne ako v prípade diskovej difúznej metódy bola zistená u Gram-pozitívnej baktérií *M. luteus*.

**Tabuľka 1.** Antimikrobiálna aktivita CRRS

Baktéria	Inhibičná zóna (mm)	ATB (mm)	MIC 50 (µl/ml)	MIC 90 (µl/ml)
<i>L. monocytogenes</i>	6,67±0,58	26,67±0,58	125,57	141,36

Baktéria	Inhibičná zóna (mm)	ATB (mm)	MIC 50 (µl/ml)	MIC 90 (µl/ml)
<i>M. luteus</i>	7,67±0,58	25,67±0,58	114,67	124,78
<i>S. aureus</i>	5,33±1,15	26,33±0,58	125,57	141,36
<i>E. coli</i>	4,67±0,58	23,67±0,58	135,67	143,78
<i>P. aeruginosa</i>	5,33±0,58	25,33±0,58	125,57	141,36
<i>S. enterica</i>	4,33±1,15	24,33±0,58	135,67	143,78

Antimikrobiálne účinky rastlinných silíc z troch komerčne pestovaných citrusových plodov (pomaranč, citrón a mandarínka) boli študované proti patogénnym mikroorganizmami, ktoré spôsobujú kazenie potravín a zistilo sa, že mandarínková RS mala najširšie spektrum účinku (Espina et al., 2011). Okysličené monoterpény v rastlinných siliciach extrahovaných z ovocnej kôry citrusových genotypov (pomaranč, mandarínka a citrón) boli najúčinnnejšie pri inhibícii rastu *Listeria* spp. kmeňov a zohrávali priamu úlohu v ich antibakteriálnych mechanizmoch (Torres-Alvarez et al., 2016). Vo všeobecnosti majú výskumníci tendenciu uvádzať, že antibakteriálne účinky rastlinných silíc súvisia so zlúčeninami a študovanými druhmi, alebo izolátmi (Fisher and Phillips, 2008). V ďalšej štúdií bolo zistené, že mandarínková rastlinná silica má výrazný inhibičný účinok na rast *S. aureus*. Okrem toho sa skúmal aj antibakteriálny mechanizmus zapojený do pôsobenia mandarínkovej rastlinnej silice proti planktonickému *S. aureus* (Song et al., 2020).

**Tabuľka 2.** *In situ* analýza na jablkách a reďkovke

Potravinový model	Baktéria	Inhibícia bakteriálneho rastu			
		Koncentrácia RS v µl/l			
		62.5	125	250	500
Jablko	<i>L. monocytogenes</i>	-15,67±4,78	-6,87±4,87	7,98±6,54	14,76±4,87
	<i>M. luteus</i>	6,78±3,21	14,36±5,87	21,78±4,78	31,46±4,38
	<i>S. aureus</i>	4,65±3,41	12,25±3,67	21,76±3,45	30,67±3,74
	<i>E. coli</i>	-17,67±4,63	-3,56±4,67	11,76±4,32	17,89±4,31
	<i>P. aeruginosa</i>	-18,76±	-5,86±4,38	6,78±3,46	12,43±5,26
	<i>S. enterica</i>	-15,76±	-7,45±3,27	7,56±4,34	13,67±3,67
Reďkovka	<i>L. monocytogenes</i>	-9,67±3,45	6,78±2,54	14,76±3,65	22,34±3,64
	<i>M. luteus</i>	9,34±3,45	17,54±4,32	24,78±4,93	35,76±3,45
	<i>S. aureus</i>	-10,23±3,54	4,56±3,67	13,48±6,34	25,43±4,37
	<i>E. coli</i>	-12,56±4,56	-4,57±3,31	6,78±3,73	15,47±4,57
	<i>P. aeruginosa</i>	-8,67±3,45	5,67±2,73	12,78±3,48	21,36±4,62
	<i>S. enterica</i>	-7,45±3,23	6,78±3,92	15,47±4,32	24,67±3,54

Antimikrobiálna analýza *in situ* s použitím jablka ukázala, že väčšina baktérií bola inhibovaná výpami vo vyššej koncentrácii CRRS (tabuľka 2). Pri najnižších koncentracii silice (62,5 µl/l) bol vo viacerých prípadoch zistený probakteriálny rast, čiže prítomnosť rastlinnej silice podporovala rast baktérie v porovnaní s kontrolou. Najlepšie výsledky použitím CRRS boli dokázané u všetkých baktérií pri koncentrácii najvyššej 500 µl/l CRRS. Najsenzitivnejšou baktériou s použitím modelu jablka bola baktéria *M. luteus* a potom *S. aureus*. Výsledky antimikrobiálnej aktivity na modeli reďkovky ukazujú najoptimálnejšie inhibíciu rovnako ako na jablku u *M. luteus* 35,76 % pri koncentrácii 500 µl/l. Podobne ako u modelu jablka bol pri najnižšej koncentrácii CRRS dokázaný probakteriálny rast.

Ochorenia prenášané potravinami sú celosvetovo rastúcim problémom verejného zdravia (Scallan et al., 2011). Úspešná kontrola patogénov prenášaných potravinami vyžaduje použitie viacerých konzervačných techník pri výrobe a skladovaní potravinárskych produktov. Nedávny spotrebiteľský trend uprednostňovať produkty s nižším obsahom soli a cukru predstavuje zvýšenú potrebu účinných konzervačných látok v potravinách, pretože zníženie obsahu soli a cukru by inak ohrozilo trvanlivosť produktu (Zink, 1997). Na predĺženie skladovateľnosti produktu inhibíciou rastu mikroorganizmov sa používa široká škála konzervačných látok. Čoraz negatívnejšie spotrebiteľské vnímanie syntetických potravinárskych aditív však podnietilo záujem o hľadanie prírodných alternatív k tradičným riešeniam (Zink, 1997). Hoci sa pôvodne pridávali na zmenu, alebo zlepšenie chuti, antimikrobiálna aktivita RS z nich robí atraktívnu voľbu na nahradenie syntetických konzervačných látok.

V posledných rokoch sa úspešne uskutočnil výskum využitia rastlinných silíc pri konzervácii potravinových komodít s cieľom predĺženia skladovateľnosti. Rôzni výskumníci použili rastlinné silice, či už v čistej forme, alebo vo forme prípravku, na zvýšenie trvanlivosti potravinových komodít v rôznych skladovacích nádobách, a pozorovali významné zlepšenie skladovateľnosti (Pandey et al., 2014; Tripathi and Kumar, 2007). Skoršia štúdia uvádza, že niektoré zložky rastlinných silíc, ako je citral, citronella, citronellool, eugenol, farnesol a nerol, môžu chrániť semená a plody chilli pred plesňovou infekciou až 6 mesiacov (Tripathi et al., 1984). Rastlinná silica z *Ageratum conyzoides* úspešne kontrolovala hnilobu mandarínok modrou plesňou a zvýšila trvanlivosť mandarínok až o 30 dní (Dixit et al., 1995). Anthony et al. (2003) skúmali rastlinné silice z *Cymbopogon nardus*, *C. flexuosus* a *Ocimum basilicum* a zistili, že môžu významne kontrolovať antraknózu v banáne a predĺžiť trvanlivosť banánov až o 21 dní. Rastlinná silica *Cymbopogon flexuosus* (v koncentrácii 20 µl/ml) je schopná chrániť pred hnilobou plodov *Malus pumilo* až 3 týždne (Shahi et al., 2003). Fumigatová aplikácia rastlinných silíc z *Putranjiva roxburghii* bola účinná proti *A. flavus* a *A. niger*, ktoré infikovali podzemnicu olejnú počas skladovania a predĺžila trvanlivosť podzemnice olejnej z dôvodu biologického poškodenia hubami až na 6 mesiacov (Tripathi and Kumar, 2007).

### Záver

Aplikácie rastlinných silíc sa ukázala ako prostriedok na integráciu patogénov. Mnohé rastlinné silice a ich aktívne zložky pôsobia proti mikroorganizmom a možno ich vyrábať z bežne dostupných surovín; možno v mnohých prípadoch priamo na mieste použitia, aby sa jednalo o pomerne nízke náklady. Je možné vyvinúť techniky na ochranu potravinárskych komodít bez použitia, alebo s obmedzením používania komerčných baktericídov a fungicídov. Rastlinné silice sú špecifické pre hostiteľa, biologicky odbúrateľné, majú obmedzený účinok na cieľové organizmy a majú nízku úroveň toxicity pre cicavcov. Udržateľné a komerčné využitie má určité nevýhody, ako je ich nákladová efektívnosť. V našej štúdii sa však potvrdil len menej silný účinok rastlinnej silice z mandarínky zelenej. Použitá rastlinná silica bola účinnejšia proti Gram-pozitívnym baktériám v *in vitro* pokusoch a analýzy *in situ* vo veľa prípadoch ukázali probakteriálny rast baktérií aplikovaných na jablko a reďkovku.

### PodĎakovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu Agentúry na výskum a vývoj SR na základe Zmluvy č. APVV-20-0058 „Potenciál rastlinných silíc z aromatických rastlín na lekárske použitie a konzerváciu potravín“.

**Kontaktná adresa:** Mgr. Andrea Verešová, Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, andrea.veresova1979@gmail.com



## Literatúra

- Ambrosio, C.M.S., Ikeda, N.Y., Miano, A.C., Saldaña, E., Moreno, A.M., Stashenko, E., Contreras-Castillo, C.J., Da Gloria, E.M., 2019. Unraveling the selective antibacterial activity and chemical composition of citrus essential oils. In *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, pp. 177-189. ISSN 2045-2322. Dostupné na: doi:10.1038/s41598-019-54084-3
- Anthony, S., Abeywickrama, K., Wijeratnam, S.W., 2003. The effect of spraying essential oils of *Cymbopogon nardus*, *Cymbopogon flexuosus* and *Ocimum basilicum* on postharvest diseases and storage life of Embul banana. In *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, vol. 78, no. 6, pp. 780-785. ISSN 1462-0316. Dostupné na: doi:10.1080/14620316.2003.11511699
- Bhandari, D.P., Poudel, D.K., Satyal, P., Khadayat, K., Dhama, S., Aryal, D., Chaudhary, P., Ghimire, A., Parajuli, N., 2021. Volatile Compounds and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Selected Citrus Essential Oils Originated from Nepal. In *Molecules*, vol. 26, no. 21, pp. 6683. ISSN 1420-3049. Dostupné na: doi:10.3390/molecules26216683
- Bora, H., Kamle, M., Mahato, D.K., Tiwari, P., Kumar, P., 2020. Citrus Essential Oils (CEOs) and Their Applications in Food: An Overview. In *Plants*, vol. 9, no. 3, pp. 357. ISSN 2223-7747. Dostupné na: doi:10.3390/plants9030357
- Bourgou, S., Rahali, F.Z., Ourghemmi, I., Saïdani Tounsi, M., 2012. Changes of Peel Essential Oil Composition of Four Tunisian Citrus during Fruit Maturation. In *The Scientific World Journal*, vol. 2012, pp. 1-10. ISSN 1537-744X. Dostupné na: doi:10.1100/2012/528593
- Bustamante, J., Van Stempvoort, S., García-Gallarreta, M., Houghton, J.A., Briers, H.K., Budarin, V.L., Matharu, A.S., Clark, J.H., 2016. Microwave assisted hydro-distillation of essential oils from wet citrus peel waste. In *Journal of Cleaner Production*, vol. 137, pp. 598-605. ISSN 09596526. Dostupné na: doi:10.1016/j.jclepro.2016.07.108
- Caputo, L., Cornara, L., Bazzicalupo, M., De Francesco, C., De Feo, V., Trombetta, D., Smeriglio, A., 2020. Chemical Composition and Biological Activities of Essential Oils from Peels of Three Citrus Species. In *Molecules*, vol. 25, no. 8, pp. 1890. ISSN 1420-3049. Dostupné na: doi:10.3390/molecules25081890
- Cozzi, R., 1997. Ascorbic acid and beta-carotene as modulators of oxidative damage. In *Carcinogenesis*, vol. 18, no. 1, pp. 223-228. ISSN 14602180. Dostupné na: doi:10.1093/carcin/18.1.223
- Değirmenci, H., Erkurt, H., 2020. Relationship between volatile components, antimicrobial and antioxidant properties of the essential oil, hydrosol and extracts of *Citrus aurantium* L. flowers. In *Journal of Infection and Public Health*, vol. 13, no. 1, pp. 58-67. ISSN 18760341. Dostupné na: doi:10.1016/j.jiph.2019.06.017
- Dixit, S.N., Chandra, H., Tiwari, R., Dixit, V., 1995. Development of a botanical fungicide against blue mould of mandarins. In *Journal of Stored Products Research*, vol. 31, no. 2, pp. 165-172. ISSN 0022474X. Dostupné na: doi:10.1016/0022-474X(94)00041-Q
- Espina, L., Somolinos, M., Lorán, S., Conchello, P., García, D., Pagán, R., 2011. Chemical composition of commercial citrus fruit essential oils and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes. In *Food Control*, vol. 22, no. 6, pp. 896-902. ISSN 09567135. Dostupné na: doi:10.1016/j.foodcont.2010.11.021
- Fisher, K., Phillips, C., 2008. Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer? In *Trends in Food Science & Technology*, vol. 19, no. 3, pp. 156-164. ISSN 09242244. Dostupné na: doi:10.1016/j.tifs.2007.11.006
- González-Mas, M.C., Rambla, J.L., López-Gresa, M.P., Blázquez, M.A., Granell, A., 2019. Volatile Compounds in Citrus Essential Oils: A Comprehensive Review. In *Frontiers in Plant Science*, vol. 10, pp. 12. ISSN 1664-462X. Dostupné na: doi:10.3389/fpls.2019.00012
- Hosni, K., Zahed, N., Chrif, R., Abid, I., Medfei, W., Kallel, M., Brahim, N.B., Sebei, H., 2010. Composition of peel essential oils from four selected Tunisian Citrus species: Evidence for the genotypic influence. In *Food Chemistry*, vol. 123, no. 4, pp. 1098-1104. ISSN 03088146. Dostupné na: doi:10.1016/j.foodchem.2010.05.068
- Juráň, S., Pallozzi, E., Guidolotti, G., Fares, S., Šigut, L., Calfapietra, C., Alivernini, A., Savi, F., Večeřová, K., Křůmal, K., Večeřa, Z., Urban, O., 2017. Fluxes of biogenic volatile organic compounds above temperate Norway spruce forest of the Czech Republic. In *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 232, pp. 500-513. ISSN 01681923. Dostupné na: doi:10.1016/j.agrformet.2016.10.005
- Juráň, S., Šigut, L., Holub, P., Fares, S., Klem, K., Grace, J., Urban, O., 2019. Ozone flux and ozone deposition in a mountain spruce forest are modulated by sky conditions. In *Science of The Total Environment*, vol. 672, pp. 296-304. ISSN 00489697. Dostupné na: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.03.491
- Kang, H.J., Chawla, S.P., Jo, C., Kwon, J.H., Byun, M.W., 2006. Studies on the development of functional powder from citrus peel. In *Bioresource Technology*, vol. 97, no. 4, pp. 614-620. ISSN 09608524. Dostupné na: doi:10.1016/j.biortech.2005.03.037
- Khadayat, K., Sherpa, D.D., Malla, K.P., Shrestha, S., Rana, N., Marasini, B.P., Khanal, S., Rayamajhee, B., Bhattarai, B.R., Parajuli, N., 2020. Molecular Identification and Antimicrobial Potential of *Streptomyces* Species

- from Nepalese Soil. In *International Journal of Microbiology*, vol. 2020, pp. 1–8. ISSN 1687-918X, 1687-9198. Dostupné na: doi:10.1155/2020/8817467
- Li, G., Xiang, S., Pan, Y., Long, X., Cheng, Y., Han, L., Zhao, X., 2021. Effects of Cold-Pressing and Hydrodistillation on the Active Non-volatile Components in Lemon Essential Oil and the Effects of the Resulting Oils on Aging-Related Oxidative Stress in Mice. In *Frontiers in Nutrition*, vol. 8, pp. 689094. ISSN 2296-861X. Dostupné na: doi:10.3389/fnut.2021.689094
- Mancuso, M., Catalfamo, M., Laganà, P., Rappazzo, A.C., Raymo, V., Zampino, D., Zaccone, R., 2019. Screening of antimicrobial activity of citrus essential oils against pathogenic bacteria and *Candida* strains. In *Flavour and Fragrance Journal*, vol. 34, no. 3, pp. 187–200. ISSN 0882-5734, 1099-1026. Dostupné na: doi:10.1002/ffj.3491
- Mitropoulou, G., Fitsiou, E., Spyridopoulou, K., Tiptiri-Kourpeti, A., Bardouki, H., Vamvakias, M., Panas, P., Chlichlia, K., Pappa, A., Kourkoutas, Y., 2017. *Citrus medica* essential oil exhibits significant antimicrobial and antiproliferative activity. In *LWT*, vol. 84, pp. 344–352. ISSN 00236438. Dostupné na: doi:10.1016/j.lwt.2017.05.036
- O'Bryan, C.A., Crandall, P.G., Chalova, V.I., Ricke, S.C., 2008. Orange Essential Oils Antimicrobial Activities against *Salmonella* spp. In *Journal of Food Science*, vol. 73, no. 6, pp. M264–M267. ISSN 00221147, 17503841. Dostupné na: doi:10.1111/j.1750-3841.2008.00790.x
- Pandey, A.K., Palni, U.T., Tripathi, N.N., 2014. Repellent activity of some essential oils against two stored product beetles *Callosobruchus chinensis* L. and *C. maculatus* F. (*Coleoptera: Bruchidae*) with reference to *Chenopodium ambrosioides* L. oil for the safety of pigeon pea seeds. In *Journal of Food Science and Technology*, vol. 51, no. 12, pp. 4066–4071. ISSN 0022-1155, 0975-8402. Dostupné na: doi:10.1007/s13197-012-0896-4
- Puvača, N., De Llanos Frutos, R., 2021. Antimicrobial Resistance in *Escherichia coli* Strains Isolated from Humans and Pet Animals. In *Antibiotics* vol. 10, no. 1, pp. 69. ISSN 2079-6382. Dostupné na: doi:10.3390/antibiotics10010069
- Raspo, M.A., Vignola, M.B., Andreatta, A.E., Juliani, H.R., 2020. Antioxidant and antimicrobial activities of citrus essential oils from Argentina and the United States. In *Food Bioscience*, vol. 36, pp. 100651. ISSN 22124292. Dostupné na: doi:10.1016/j.fbio.2020.1006511
- Scallan, E., Hoekstra, R.M., Angulo, F.J., Tauxe, R.V., Widdowson, M.-A., Roy, S.L., Jones, J.L., Griffin, P.M., 2011. Foodborne Illness Acquired in the United States—Major Pathogens. In *Emerging Infectious Diseases*, vol. 17, no. 1, pp. 7–15. ISSN 1080-6040, 1080-6059. Dostupné na: doi:10.3201/eid1701.P11101
- Shahi, S.K., Patra, M., Shukla, A.C., Dikshit, A., 2003. In *BioControl*, vol. 48, no. 2, pp. 223–232. ISSN 13866141. Dostupné na: doi:10.1023/A:1022662130614
- Song, X., Liu, T., Wang, L., Liu, L., Li, X., Wu, X., 2020. Antibacterial Effects and Mechanism of Mandarin (*Citrus reticulata* L.) Essential Oil against *Staphylococcus aureus*. In *Molecules*, vol. 25, no. 21, pp. 4956. ISSN 1420-3049. Dostupné na: doi:10.3390/molecules25214956
- Torres-Alvarez, C., González, A., Rodríguez, J., Castillo, S., Leos Rivas, C., Báez-González, J., 2016. Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant activities of orange essential oil and its concentrated oils. *CyTA*. In *Journal of Food* vol. 00, pp. 1–7. Dostupné na: doi:10.1080/19476337.2016.1220021
- Tripathi, N.N., Asthana, A., Dixit, S.N., 1984. Toxicity of Some Terpenoids Against Fungi Infesting Fruits and Seeds of *Capsicum annum* L. During Storage. In *Journal of Phytopathology*, vol. 110, no. 4, pp. 328–335. ISSN 0931-1785, 1439-0434. Dostupné na: doi:10.1111/j.1439-0434.1984.tb00072.x
- Tripathi, N.N., Kumar, N., 2007. *Putranjiva roxburghii* oil—A potential herbal preservative for peanuts during storage. In *Journal of Stored Products Research*, vol. 43, no. 4, pp. 435–442. ISSN 0022474X. Dostupné na: doi:10.1016/j.jspr.2006.11.005
- Wu, Z., Li, H., Yang, Y., Zhan, Y., Tu, D., 2013. Variation in the components and antioxidant activity of *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* essential oils at different stages of maturity. In *Industrial Crops and Products*, vol. 46, pp. 311–316. ISSN 09266690. Dostupné na: doi:10.1016/j.indcrop.2013.02.015
- Yi, F., Jin, R., Sun, J., Ma, B., Bao, X., 2018. Evaluation of mechanical-pressed essential oil from Nanfeng mandarin (*Citrus reticulata* Blanco cv. Kinokuni) as a food preservative based on antimicrobial and antioxidant activities. In *LWT*, vol. 95, pp. 346–353. ISSN 00236438. Dostupné na: doi:10.1016/j.lwt.2018.05.011
- Zink, D L, 1997. The impact of consumer demands and trends on food processing. In *Emerging Infectious Diseases*, vol. 3, no. 4, pp. 467–469. ISSN 1080-6040. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2640073/>

## Antimikrobiálne vlastnosti rastlinnej silice *Citrus aurantium* Amara proti Gram-pozitívnym a Gram-negatívnym baktériám

Antimicrobial properties of *Citrus aurantium* Amara plant essential oil against Gram-positive and Gram-negative bacteria

Andrea VEREŠOVÁ, Natália ČMIKOVÁ, Miroslava KAČÁNIOVÁ

Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

### Abstract

Aromatic and flammable liquids called essential oils are extracted from plants. The secondary metabolites contained in essential oils are important for plant defence as they often have antibacterial effects. In recent years, consumer distrust of synthetic preservatives has increased, which has increased interest in essential oils and their use in food preservation. The aim of our study was the antimicrobial activity of bitter orange essential oil against Gram-positive and Gram-negative bacteria *in vitro* and *in situ*. The best antimicrobial activity by disc diffusion method and minimum inhibitory concentration was found against Gram-positive bacteria *B. thuringiensis*. *B. thuringiensis* was the most sensitive bacteria using the banana model followed by *B. subtilis*. The results of antimicrobial activity on the cucumber model showed the strongest growth inhibition of *B. subtilis* at a concentration of 500 µl/l. The essential oil of bitter orange in both fruit and vegetable model showed growth inhibition of Gram-positive and Gram-negative bacteria.

**Keywords:** bitter orange, bacteria, antimicrobial activity, *in vitro*, *in situ*

### Úvod

Rod *Citrus*, patriaci do čeľade Rutaceae, zahŕňa rôzne druhy, rôznych veľkostí a foriem, bežne známe ako citróny, limetky, pomaranče, mandarínky, cedráty a grapefruity (García-Salas et al., 2013; Putnik et al., 2017). Sú jednou z centrálnych záhradníckych plodín s univerzálnou poľnohospodárskou produkciou so 100 miliónmi ton ročne (USDA-FAS, 2020). Predtým boli citrusové rastliny spájané s medicínou bylín v mnohých ázijských krajinách, ako je Japonsko, Čína a Kórea. V posledných rokoch sú komercializované pre svoje ovocie a šťavu, alebo sa používajú ako prísady v niekoľkých priemyselných odvetviach (Lv et al., 2015). Okrem toho, citrusové plody sú bohaté na vitamín C a vitamíny B, obsahujú minerály, makroživiny, ako sú sacharidy, vláknina, bielkoviny, lipidy a fenolové zlúčeniny s dôležitými zdravými prospešnými vlastnosťami (Liu et al., 2012; Turner and Burri, 2013). Na druhej strane rastlinné silice získané z citrusových druhov sa vo veľkej miere používajú v potravinárstve a nápojoch, parfumoch, farmaceutickom a kozmetickom priemysle (González-Mas et al., 2019). *Citrus aurantium* L., tiež známy ako kyslý pomaranč, horký pomaranč, sevillský pomaranč, alebo bigarade, je vždyzelený strom, ktorý môže dorásť až do výšky 5 metrov. Preslávený svojimi voňavými bielymi kvetmi, a predpokladá sa, že pochádza z východnej Afriky a Sýrie a bol pestovaný v Spojených štátoch, Španielsku a Taliansku (Mannucci et al., 2018). V súčasnosti je veľký záujem o využitie prírodných bioaktívnych zlúčenín na rastlinnej báze, najmä fenolových kyselín, flavonoidov a terpenoidov, vzhľadom na ich multifunkčné vlastnosti a nutraceutický potenciál (Djenane, 2015; Segneau et al., 2017). Takéto prírodné zlúčeniny majú antikarcinogénne vlastnosti (Anwar et al., 2016) a poskytujú rôzne zdravie prospešné účinky vrátane protizápalových, insekticídnych (Segneau et al., 2017), stimulačných, potlačajúcich chuť do jedla (Suryawanshi, 2011), antioxidačné a antimikrobiálne aktivity (Hashemi et al., 2016; Hsouna et al., 2013), majú zníženú toxicitu a nemajú vedľajšie účinky (Burt, 2004). Používajú sa aj na ochranu potravín pred patogénmi a baktériami podieľajúcimi sa na kazení potravín (Burt, 2004). Rastlinné silice a extrakty

obsahujú rôzne zložky, ktoré majú silné antimikrobiálne účinky, aktivitu proti biofilmom a multirezistentným patogénom (Ahire et al., 2011). Pre baktérie je ťažšie vyvinúť si rezistenciu voči viaczložkovým rastlinným siliciam ako proti antibiotikám, ktoré sa často skladajú len z jednej molekulárnej jednotky (Cowan, 1999; Kotzekidou et al., 2008; Moutaouafiq et al., 2016).

Cieľom našej práce bolo zistiť antimikrobiálne vlastnosti horkého pomaranča proti rôznym druhom baktérií v *in vitro* a *in situ* podmienkach.

## **Materiál a metodika práce**

### **Rastlinná silica**

Rastlinná silica *Citrus aurantium* Amara (CARS) bola zakúpená od firmy Hanus, s.r.o. (Nitra, Slovensko). Rastlinná silica (RS) bola vyrobená lisovaním čerstvého oplodia horkých pomarančov za studena. RS bola skladovaná v tme pri teplote 4 °C. Chemické zloženie silice bolo od výrobcu uvedené nasledovne: limonén 92,9 %, myrcén 1,8 %,  $\beta$ -pinén 0,8 %. Krajina pôvodu pomarančov bolo Taliansko.

### **Testované mikroorganizmy**

Gram-pozitívne baktérie (*Bacillus cereus* CCM 2010, *Bacillus subtilis* subsp. *Spizizenii* CCM 1999, *Bacillus thuringiensis* CCM 19), Gram-negatívne baktérie (*Haemophilus influenzae* CCM 4456, *Klebsiella pneumoniae* CCM 2318, *Shigella sonnei* CCM 1373). Čisté kultúry mikroorganizmov boli získané z českej zbierky mikroorganizmov (Brno, Česká republika).

### **Disková difúzna metóda**

Antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice *Citrus aurantium* Amara (CARS) bola stanovená diskovou difúznou metódou. Mikrobiálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín na Mueller Hinton agare (MHA, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 37 °C. Inokulum sa upravilo na optickú hustotu 0,5 McFarlandovho štandardu ( $1,5 \times 10^8$  KTJ/ml) a 100  $\mu$ l sa pridalo na platne s MHA. Sterilné papierové disky 6 mm nasýtené 10  $\mu$ l rastlinnej silice *Citrus aurantium* Amara sa umiestnili na vrstvu agaru obsahujúcu suspenziu mikroorganizmov. Vzorky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C. Dve antibiotiká ATB (Chloramfenikol, Tobramycin, Oxoid, Basingstoke, UK) boli použité ako pozitívne kontroly pre Gram-negatívne, Gram-pozitívne baktérie. Ako negatívna kontrola slúžili disky impregnované 0,1 % DMSO (dimetylsulfoxid, Centralchem, Bratislava, SK). Antimikrobiálna aktivita bola kategorizovaná ako veľmi silná, stredná a slabá, keď bola zóna inhibície rastu väčšia ako 15, 10 a 5 mm, v tomto poradí. Analýzy sa uskutočňovali trojmo.

### **Minimálna inhibičná koncentrácia (MIC)**

Mikrobiálne inokulum sa kultivovalo 24 hodín v Mueller Hinton Broth (MHB, Oxoid, Basingstoke, UK) pri teplote 37 °C. Alikvotná časť 50  $\mu$ l inokula s optickou hustotou 0,5 McFarland sa pridala na 96-jamkovú mikrotitračnú platničku. Následne sa CARS pripravila sériovým riedením na koncentračný rozsah od 400  $\mu$ l/ml do 0,2  $\mu$ l/ml v MHB a 100  $\mu$ l suspenzie sa dôkladne premiešalo s bakteriálnym inokulom v jamkách. Bakteriálne vzorky sa inkubovali 24 hodín pri teplote 37 °C. MHB s RS bola použitá ako negatívna kontrola a MHB s inokulom bol použitý ako pozitívna kontrola reprezentujúca neinhibovaný rast. Pre neadherentné mikroorganizmy sa absorbancia merala po inkubačnej dobe pri 570 nm spektrofotometrom Glomax (Promega Inc., Madison, WI, USA).

### ***In situ* analýzy**

Antibakteriálna analýza parnej fázy RS *in situ* bola testovaná na všetkých baktériách na modeli banánu a uhorky. Zahriatý MHA sa nalial do 60 mm Petriho misiek (PD) a do veka

PD. Nakrájané banány a uhorky na plátky (o veľkosti 0,5 mm) sa umiestnili na agar. Potom sa pripravilo inokulum, ako bolo opísané vyššie. RS sa zriedila v etylacetáte na 500, 250, 125 a 62,5 µl/l a naniesla sa na sterilný filtračný papier. Po odparení zostávajúceho etylacetátu (1 minúta) sa misky uzavreli a inkubovali pri teplote 37 °C počas 7 dní. Inhibícia rastu baktérií bola hodnotená stereologickou metódou.

*In situ* bakteriálny rast bol stanovený pomocou stereologických metód. V tomto koncepte sa objemová hustota (Vv) bakteriálnych kolónií najprv odhadla pomocou softvéru ImageJ počítaním bodov stereologickej mriežky zasahujúcich kolónie (P) a tie (p) spadajúce do referenčného priestoru (použitý rastový substrát). Objemová hustota bakteriálnych kolónií sa následne vypočítala nasledovne:  $Vv (\%) = P/p$ . Antibakteriálna aktivita RS bola definovaná ako percento inhibície rastu baktérií (BGI)  $BGI = [(C - T)/C] \times 100$ , kde C a T bol bakteriálny rast (vyjadrené ako Vv) v kontrolnej skupine a experimentálnej skupine, resp. negatívne výsledky predstavovali stimuláciu rastu.

### Štatistické vyhodnotenie

Všetky analýzy boli vykonané v troch opakovaníach. Štatistická variabilita údajov bola spracovaná pomocou softvéru Microsoft-Excel.

### Výsledky a diskusia

Rastlinné silice z listov, konárov, plodov a kôry *C. aurantium* boli testované proti *Agrobacterium tumefaciens*, *Dickeya solani* a *Erwinia amylovora* (Okla et al., 2019). Autori zaznamenali zvýšenie priemerov inhibičnej zóny pri zvýšení koncentrácie silice z 10 na 25 µl. V inej štúdií bola pozorovaná antimikrobiálna aktivita rastlinných silíc *C. aurantium* proti *Stenotrophomonas maltophilia*, *Bacillus subtilis*, *Penicillium crustosum*, *P. expansum* a *P. citrinum* s inhibičnými zónami v rozmedzí približne od 8 do 18 mm (Kačániová et al., 2020). Rastlinné silice získané z kvetov *C. aurantium* znížili rast *Streptococcus mutans* a znížili expresiu mRNA génov virulencie (Benzaid et al., 2021). Diskovou difúznou metódou a minimálnou inhibičnou koncentráciou bola hodnotená antimikrobiálna aktivita rastlinnej silice *C. aurantium* Amara a výsledky meraní diskovej difúznej metódy a minimálnej inhibičnej koncentrácie sú uvedené v tabuľke 1. Sledovaním antimikrobiálnej aktivity bolo zistené, že všetky baktérie vykazovali silnú antibakteriálnu aktivitu CARS. Najväčšia inhibičná zóna bola zistená u Gram-pozitívnej baktérií *B. thuringiensis* 18,67 mm. Výsledky antimikrobiálnej aktivity CARS boli nižšie u Gram-negatívnych baktérií. Minimálna inhibičná koncentrácia bolo zistená od 34,56 do 72,45 µl/ml pri MIC 50 a od 41,45 do 84,97 µl/ml pri MIC 90. Najlepšia antimikrobiálna aktivita podobne ako v prípade diskovej difúznej metódy bola zistená u Gram-pozitívnej baktérií *B. thuringiensis* a *B. cereus*. Podobné zistenia uvádza Hsouna et al. (2013) ktorí uviedli, že rastlinné silice kvetov *C. aurantium* vykazovali antibakteriálnu aktivitu proti všetkým testovaným Gram-pozitívnym a Gram-negatívnym druhom baktérií. Zistilo sa, že Gram-pozitívne baktérie sú viac náchylné na rastlinné silice ako Gram-negatívne. Prítomnosť hydrofilného polysacharidového reťazca vo vonkajšej membráne Gram-negatívnych baktérií prispievajú k odolnosti proti hydrofóbnym rastlinným siliciam (Djenane, 2015; Hsouna et al., 2013). Biologická aktivita rastlinnej silice *C. aurantium* Amara proti *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* a *Pseudomonas* bola stanovená pomocou diskovej difúznej metódy s použitím impregnovaných diskov s 20 µl rastlinnej silice. Biologická aktivita bola hodnotená po 48 hodinách, pričom bola neaktívna proti *E. coli* a *Pseudomonas* a stredne aktívna (17 mm) proti *S. aureus*. Získané výsledky potvrdili tradičné vlastnosti skúmanej rastlinnej silice, ako je vôňa, parfumový základ, ako aj prírodné antiseptikum na inhibíciu rastu *S. aureus* (Quintero et al., 2003).

Antimikrobiálna analýza *in situ* s použitím banánu ukázala, že väčšina baktérií bola inhibovaná výparmi vo vyššej koncentrácii CARS (tabuľka 2). Pri najnižších koncentracii silice (62,5 µl/l)

**Tabuľka 1.** Antimikrobiálna aktivita CARS

Baktéria	Inhibičná zóna (mm)	ATB (mm)	MIC 50 (µl/ml)	MIC 90 (µl/ml)
<i>B. cereus</i>	18,33±0,58	27,67±0,58	34,56	41,45
<i>B. subtilis</i>	17,33±0,58	28,67±0,58	45,67	53,75
<i>B. thuringiensis</i>	18,67±1,15	27,33±0,58	34,56	41,45
<i>H. influenzae</i>	15,67±0,58	25,67±0,58	53,76	63,76
<i>K. pneumoniae</i>	15,33±0,58	26,67±0,58	72,45	84,97
<i>S. sonnei</i>	16,33±1,15	25,33±0,58	53,76	63,76

**Tabuľka 2.** *In situ* analýza na banáne a uhorky

Potravinový model	Baktéria	Inhibícia bakteriálneho rastu			
		Koncentrácia RS v µl/l			
		62.5	125	250	500
<b>Banán</b>	<i>B. cereus</i>	23,45±4,67	43,75±5,76	64,87±5,67	91,78±5,34
	<i>B. subtilis</i>	31,45±6,78	53,67±4,67	76,56±5,98	93,45±3,94
	<i>B. thuringiensis</i>	43,56±4,76	57,89±3,65	75,78±5,89	97,65±6,43
	<i>H. influenzae</i>	21,46±5,43	42,78±5,34	64,34±3,56	87,65±5,75
	<i>K. pneumoniae</i>	22,46±4,54	43,56±3,67	62,54±4,93	88,46±4,86
	<i>S. sonnei</i>	23,45±5,78	45,76±4,76	67,49±3,46	87,56±5,34
<b>Uhorka</b>	<i>B. cereus</i>	31,45±4,56	53,67±5,43	67,87±3,87	93,25±5,87
	<i>B. subtilis</i>	33,54±4,67	54,76±4,84	71,65±5,76	94,45±5,34
	<i>B. thuringiensis</i>	34,56±6,45	61,65±3,57	80,56±4,67	93,56±3,28
	<i>H. influenzae</i>	17,87±3,56	31,43±3,72	47,86±5,38	65,87±5,78
	<i>K. pneumoniae</i>	19,56±6,73	28,86±5,78	42,34±6,21	66,78±4,36
	<i>S. sonnei</i>	21,45±6,34	36,83±5,45	46,75±4,38	67,84±4,38

bol zistený nárast baktérií približne okolo 30 %. Najlepšie výsledky použitím CARS boli dokázané u všetkých baktérií pri koncentrácii CARS najvyššej 500 µl/l. Najsenzitivnejšou baktériou s použitím modelu banánu bola baktéria *B. thuringiensis* a po nej nasledovala baktéria *B. subtilis*. Výsledky antimikrobiálnej aktivity na modeli uhorky ukazujú najsilnejšiu inhibíciu rastu u *B. subtilis* 94,45 % pri koncentrácii 500 µl/l. CARS v prípade obidvoch modelov ovocia a zeleniny preukázal inhibičný rast Gram-pozitívnych a Gram-negatívnych baktérií. Antimikrobiálna štúdia CARS bola stanovená v štúdiu *in situ* na mrkve (Kačániová et al., 2020). Najlepšia antibakteriálna aktivita CARS bola zistená proti *P. crustosum* s koncentraciou 62,5 µl/l. Predtým uvádzaná antimikrobiálna aktivita CARS proti *B. subtilis* sa pohybovala od 5 do 10 mg/ml v práci Ellouze et al. (2012). Rastlinné silice sú životne dôležité a zohrávajú kľúčovú úlohu v ochrane plodín a potravinárskom priemysle so širokou škálou aplikácií. Rastlinné silice významne inhibujú rast závažnejších patogénov, ako sú *Salmonella* spp., *E. coli*, *Candida* spp., a zlepšujú ochranu plodín proti rastlinným patogénnym mikroorganizmom. Preto je potrebné pochopiť mechanizmy, ktoré stoja za antimikrobiálnymi, antioxidantnými a antifungálnymi účinkami rastlinných silíc a ich

interakciami. Použitie jedného, alebo viacerých synergistov môže produkovať požadovanú vôňu a chuť bez akýchkoľvek škodlivých účinkov na potravinové produkty; preto sa očakáva, že používanie rastlinných silíc v potravinárskom priemysle a v spotrebnom tovare sa v budúcnosti zvýši (Stevens, 1997).

### Záver

Rastlinné silice horkého pomaranča a ich jednotlivých zložiek sa používajú ako prírodné antimikrobiálne zlúčeniny s cieľom znížiť vplyv mikrobiálnych aktivít v potravinách. V porovnaní s Gram-negatívnymi baktériami sú Gram-pozitívne bakteriálne kmene citlivejšie na bioaktívne zlúčeniny CARS. Limonén, myrcén,  $\beta$ -pinen sú hlavné zložky prítomné v CARS, ktoré sú zodpovedné za maximalizáciu antimikrobiálnej aktivity prostredníctvom rôznych aspektov vrátane zmeny priepustnosti membrány, zmien membránových mastných kyselín a inhibície hybnej sily protónov. V niektorých prípadoch CARS účinne zvyšujú bezpečnosť a kvalitu ovocia a zeleniny, čo je potrebné preskúmať v budúcich štúdiách.

### PodĎakovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu Agentúry na výskum a vývoj SR na základe Zmluvy č. APVV-20-0058 „Potenciál rastlinných silíc z aromatických rastlín na lekárske použitie a konzerváciu potravín“.

**Kontaktná adresa:** Mgr. Andrea Verešová, Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, andrea.veresova1979@gmail.com

### Literatúra

- Ahire, J.J., Patil, K.P., Chaudhari, B.L., Chincholkar, S.B., 2011. *Bacillus* spp. of Human Origin: A Potential Siderophoregenic Probiotic Bacteria. In *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 164, no. 3, pp. 386–400. ISSN 0273-2289, 1559-0291. Dostupné na: doi:10.1007/s12010-010-9142-6
- Anwar, S., Ahmed, N., Speciale, A., Cimino, F., Saija, A., 2016. Bitter orange (*Citrus aurantium* L.) oils. V: *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. B.m.: Academic Press, pp. 259–268. Dostupné na: doi:10.1016/B978-0-12-416641-7.00029-8
- Benzaid, C., Belmadani, A., Tichati, L., Djeribi, R., Rouabhia, M., 2021. Effect of *Citrus aurantium* L. Essential Oil on *Streptococcus mutans* Growth, Biofilm Formation and Virulent Genes Expression. In *Antibiotics*, vol. 10, no. 1, pp. 54. ISSN 2079-6382. Dostupné na: doi:10.3390/antibiotics10010054
- Burt, S., 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. In *International Journal of Food Microbiology*, vol. 94, no. 3, pp. 223–253. ISSN 01681605. Dostupné na: doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022
- Cowan, M.M., 1999. Plant products as antimicrobial agents. In *Clinical Microbiology Reviews*, vol. 12, no. 4, pp. 564–582. ISSN 0893-8512. Dostupné na: doi:10.1128/CMR.12.4.564
- Djenane, D., 2015. Chemical Profile, Antibacterial and Antioxidant Activity of Algerian Citrus Essential Oils and Their Application in *Sardina pilchardus*. In *Foods*, vol. 4, no. 4, pp. 208–228. ISSN 2304-8158. Dostupné na: doi:10.3390/foods4020208
- Ellouze, I., Abderrabba, M., Sabaou, N., Mathieu, F., Lebrihi, A., Bouajila, J., 2012. Season's Variation Impact on *Citrus aurantium* Leaves Essential Oil: Chemical Composition and Biological Activities. In *Journal of Food Science*, vol. 77, no. 9, pp. T173–T180. ISSN 00221147. Dostupné na: doi:10.1111/j.1750-3841.2012.02846.x
- García-Salas, P., Gómez-Caravaca, A.M., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., Guerra-Hernández, E., García-Villanova, B., Fernández-Gutiérrez, A., 2013. Influence of technological processes on phenolic compounds, organic acids, furanic derivatives, and antioxidant activity of whole-lemon powder. In *Food Chemistry*, vol. 141, no. 2, pp. 869–878. ISSN 03088146. Dostupné na: doi:10.1016/j.foodchem.2013.02.124
- González-Mas, M.C., Rambla, J.L., López-Gresa, M.P., Blázquez, M.A., Granell, A., 2019. Volatile Compounds in Citrus Essential Oils: A Comprehensive Review. In *Frontiers in Plant Science*, vol. 10, pp. 12. ISSN 1664-462X. Dostupné na: doi:10.3389/fpls.2019.00012
- Hashemi, S.M.B., Amininezhad, R., Shirzadinezhad, E., Farahani, M., Yousefabad, S.H.A., 2016. The Antimicrobial and Antioxidant Effects of *Citrus aurantium* L. Flowers (Bahar Narang) Extract in Traditional Yoghurt Stew during Refrigerated Storage: Antimicrobial and Antioxidant Activity of Bahar Narang Extract. In

- Journal of Food Safety*, vol. 36, no. 2, pp. 153–161. ISSN 01496085. Dostupné na: doi:10.1111/jfs.12222
- Hsouna, A.B., Hamdi, N., Halima, N.B., Abdelkafi, S., 2013. Characterization of Essential Oil from *Citrus aurantium* L. Flowers: Antimicrobial and Antioxidant Activities. In *Journal of Oleo Science*, vol. 62, no. 10, pp. 763–772. ISSN 1345-8957, 1347-3352. Dostupné na: doi:10.5650/jos.62.763
- Kačániová, M., Terentjeva, M., Galovičová, L., Ivanišová, E., Štefániková, J., Valková, V., Borotová, P., Kowalczewski, P.L., Kunová, S., Felšöciová, S., Tvrda, E., Žiarovská, J., Benda Prokejinová, R., Vukovic, N., 2020. Biological Activity and Antibiofilm Molecular Profile of *Citrus aurantium* Essential Oil and Its Application in a Food Model. In *Molecules*, vol. 25, no. 17, pp. 3956. ISSN 1420-3049. Dostupné na: doi:10.3390/molecules25173956
- Kotzekidou, P., Giannakidis, P., Boulamatsis, A., 2008. Antimicrobial activity of some plant extracts and essential oils against foodborne pathogens *in vitro* and on the fate of inoculated pathogens in chocolate. In *LWT - Food Science and Technology*, vol. 41, no. 1, pp. 119–127. ISSN 00236438. Dostupné na: doi:10.1016/j.lwt.2007.01.016
- Liu, Y., Heying, E., Tanumihardjo, S.A., 2012. History, Global Distribution, and Nutritional Importance of Citrus Fruits. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 11, no. 6, pp. 530–545. ISSN 15414337. Dostupné na: doi:10.1111/j.1541-4337.2012.00201.x
- Lv, X., Zhao, S., Ning, Z., Zeng, H., Shu, Y., Tao, O., Xiao, C., Lu, C., Liu, Y., 2015. Citrus fruits as a treasure trove of active natural metabolites that potentially provide benefits for human health. In *Chemistry Central Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 68. ISSN 1752-153X. Dostupné na: doi:10.1186/s13065-015-0145-9
- Mannucci, C., Calapai, F., Cardia, L., Inferrera, G., D’Arena, G., Di Pietro, M., Navarra, M., Gangemi, S., Ventura Spagnolo, E., Calapai, G., 2018. Clinical Pharmacology of *Citrus aurantium* and *Citrus sinensis* for the Treatment of Anxiety. In *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, vol. 2018, pp. 1–18. ISSN 1741-427X, 1741-4288. Dostupné na: doi:10.1155/2018/3624094
- Moutaouafiq, S., Farah, A., Houssine, A., Fikri Benbrahim, K., Dalila, B., 2016. Comparison of the Chemical Composition and the Bioactivity of the Essential Oils of Three Medicinal and Aromatic Plants from Jacky Garden of Morocco. In *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*. 2016, roč. 8, s. 537–545.
- Okla, M.K., Alamri, S.A., Salem, M.Z.M., Ali, H.M., Behiry, S.I., Nasser, R.A., Alaraidh, I.A., Al-Ghtani, S.M., Soufan, W., 2019. Yield, Phytochemical Constituents, and Antibacterial Activity of Essential Oils from the Leaves/Twigs, Branches, Branch Wood, and Branch Bark of Sour Orange (*Citrus aurantium* L.). In *Processes*, vol. 7, no. 6, pp. 363. ISSN 2227-9717. Dostupné na: doi:10.3390/pr7060363
- Putnik, P., Bursac Kovačević, D., Režek Jambrak, A., Barba, F., Cravotto, G., Binello, A., Lorenzo, J., Shpigelman, A., 2017. Innovative “Green” and Novel Strategies for the Extraction of Bioactive Added Value Compounds from *Citrus* Wastes—A Review. In *Molecules*, vol. 22, no. 5, pp. 680. ISSN 1420-3049. Dostupné na: doi:10.3390/molecules22050680
- Quintero, A., González, C.N., Sánchez, F., Usabillaga, A., Rojas, L., 2003. Constituents And Biological Activity Of *Citrus Aurantium* Amara L. Essential Oil. In *Acta Horticulturae*, vol. 597, pp. 115–117. ISSN 0567-7572, 2406-6168. Dostupné na: doi:10.17660/ActaHortic.2003.597.144
- Segneanu, A., Velcirov, S.M., Olariu, S., Cziple, F., Damian, D., Grozescu, I., 2017. Bioactive Molecules Profile from Natural Compounds. V: Toshiki ASAO a Md. ASADUZZAMAN, ed. *Amino Acid - New Insights and Roles in Plant and Animal*. B.m.: InTech. ISBN 978-953-51-3241-7. Dostupné na: doi:10.5772/intechopen.68643
- Stevens, R., 1997. Book review: a manual on the essential oil industry, edited by Tuley De Silva, United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Vienna, Austria, 1995. pp. 232. In *Flavour and Fragrance Journal*, vol. 12, no. 3, pp. 222–222. ISSN 0882-5734, 1099-1026. Dostupné na: doi:10.1002/(SICI)1099-1026(199705)12:3<222::AID-FFJ684>3.0.CO;2-Q
- Suryawanshi, J.A.S., 2011. An overview of *Citrus aurantium* used in treatment of various diseases. 2011, 7, s. 390–395.
- Turner, T., Burri, B., 2013. Potential Nutritional Benefits of Current Citrus Consumption. In *Agriculture*, vol. 3, no. 1, pp. 170–187. ISSN 2077-0472. Dostupné na: doi:10.3390/agriculture3010170
- USDA-FAS, 2020. Home | USDA Foreign Agricultural Service [WWW Document]. Foreign Agricultural Service (USDA-FAS) Citrus: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service; Washington, DC, USA. URL <https://www.fas.usda.gov/> (accessed 9.13.23).



## Stabilita produkcie sušiny d'atelinotrávnej miešanky a asynchrónnosť jej komponentov

Temporal stability of grass/clover mixture and asynchrony its components influenced by PGPR and mineral fertilizers

Norbert BRITAŇÁK, Miriam KIZEKOVÁ, Iveta ILAVSKÁ, Štefan POLLÁK, Ľubica JANČOVÁ, Ľubomír HANZES

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica, Slovenská republika

### Abstract

The aim of the study was to evaluate effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) alone and/or in a combination of mineral fertilizers on dry matter yield (DMY), asynchronous behaviour of components of a ley and their temporal stability. A ley consists of  $\times$  *Festulolium* hybrid (cv. Hyperon) and red clover (cv. Ganymed). Treatments were as follows: V1 – control (grass-clover mixture); V2 – PGPR applied just before sowing; V3 – the same as V2, but mineral fertilizers (P<sub>45</sub> + K<sub>45</sub>) applied from the 2<sup>nd</sup> year onward, V4 – PGPR + N<sub>30</sub> + PK in the 1<sup>st</sup> year, and PK from the 2<sup>nd</sup> year onward; and V5 – mineral fertilizers (N<sub>90</sub> + PK) applied every year. Here, we present results of the 2<sup>nd</sup> year. There were no differences between treatments in DMY of  $\times$ *Festulolium* hybrid ( $P > 0.28$ ) and red clover ( $P = 0.13$ ). Herbs presented statistically marginal differences ( $P = 0.0923$ ). DMY of grass/clover mixture showed statistically significant differences ( $P < 0.0339$ ). V2 and V4 displayed the highest temporal stability and asynchrony. We concluded that V4 treatment represents the most suitable management of ley under such conditions.

**Keywords:** red clover,  $\times$  *Festulolium* hybrid, asynchrony, temporal stability, dry matter yield

### Úvod

Pestovanie viacročných krmovín na ornej pôde je vítaným prerušovačom obilninového sledu, ktorý zlepšuje pôdnu úrodnosť. Navyše, poskytuje úrody s vysokými kvalitatívnymi i kvantitatívnymi parametrami. Úlohou poľnohospodárstva je vyprodukovať dostatok kvalitných potravín a krmovín pri čo najmenšom negatívnom vplyve na životné prostredie, od agronomickej efektívnosti a udržateľnosti, po rovnako globálnu účinnosť aj trvalú udržateľnosť. Tento cieľ trvalo udržateľnej intenzifikácie je charakteristický využívaním prostriedkov, ktoré poskytuje príroda, napríklad rast rastlín podporujúce mikroorganizmy a ich kombinácia s minerálnymi priemyselnými hnojivami, ktorých spotreba potom môže byť znížená (Ilavská *et al.* 2015, Gunton, *et al.* 2016; Britaňák *et al.* 2022, Jančová *et al.* 2022, Kováčiková *et al.* 2022, Kizeková *et al.* 2023). V predložennom príspevku hodnotíme vplyv pôdnej podpornej látky na báze pôdnych baktérií a priemyselných hnojív, aplikovaných samostatne, alebo v kombinácii, na produkciu sušiny a asynchrónnosť rastu komponentov d'atelinotrávnej miešanky a jej stabilitu úrod.

### Materiál a metodika práce

V roku 2021 bol v Liptovskej Tepličke na ornej pôde založený experiment s d'atelinotravnou miešankou (DTM), ktorá bola ošetrovaná pôdnou podpornou látkou a minerálnymi hnojivami. Územie sa nachádza v horskej výrobnjej oblasti (nadmorská výška 960 m). Priemerný ročný úhrn zrážok dosahuje 790 mm a priemerná denná teplota za rok dosahuje 6,49°C. Geologické podložie sú druhohorné karbonátové horniny, na ktorých sa vyvinul pôdny typ rendzina, pôdny druh je piesočnato-hlinitá pôda. Na jeseň 2020 boli odobrané vzorky pôdy z profilu 0 – 150 mm na stanovenie základných agrochemických parametrov. Pôdna reakcia bola neutrálna (pH<sub>KCl</sub> 6,68). Koncentrácia rastlinám prístupného fosforu bola veľmi nízka (2,32 mg.kg<sup>-1</sup>).

Obsah draslíka bol nízky ( $93,18 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Pôdny organický uhlík vykazoval veľmi vysoké množstvo ( $30,59 \text{ g.kg}^{-1}$ ) a celkový dusík vysokú koncentráciu ( $3,11 \text{ g.kg}^{-1}$ ).

ĎTM pozostávala z medzirodového hybridu (MRH) ( $\times$  *Festulolium*) odrody Hyperon a diploidnej ďateliny lúčnej (ĎL) (*Trifolium pratense*) odrody Ganymed. Výška výsevku bola  $26 \text{ kg.ha}^{-1}$ . Tesne pred sejbou sa do pôdy aplikovala pôdna podporná látka (*Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus megaterium* a *Rhizobium leguminosarum*) ( $4 \times 10^9 \text{ KTJ.cm}^{-3}$ ) v množstve  $10 \text{ l.ha}^{-1}$ . Mesiac po sejbe boli aplikované priemyselné minerálne hnojivá. Kombinácia aplikovaných minerálnych hnojív a pôdnej podpornej látky vytvorili päť variantov (v štyroch opakovaníach), nasledovne:

Variant 1 – kontrola (bez pôdnej podpornej látky a bez priemyselných hnojív); Variant 2 – aplikovanie len pôdnej podpornej látky; Variant 3 – aplikácia pôdnej podpornej látky, hnojenie  $\text{P}_{30}\text{K}_{60}$  hnojivami, ale až v nasledujúcom roku (2022); Variant 4 – pôdna podporná látka  $+\text{N}_{30}\text{PK}$ ; a Variant 5 – bez podpornej látky a aplikovanie  $\text{N}_{45+45}\text{PK}$  počas celého obdobia sledovaní. Hodnoty uvádzané v dolnom indexe predstavujú aplikované čisté živiny v kilogramoch na hektár. Každý z variantov mal štyri opakovanie, ktorých rozmery boli  $1,25 \times 6,00 \text{ m}$ .

V roku 2021 boli vykonané dve kosby: prvá, takzvaná odburiňujúca (10.09.2021) a jedna produkčná kosba (15.10.2021) (vyhodnotenie je uvedené v práci Kizeková *et al.*, 2023). Vykonali sa iba za účelom zabrániť ďateline lúčnej zakvitnúť, pretože kvitnutie tohto druhu v roku zakladania oslabuje rastliny a znižuje produkčný potenciál v ďalších, produkčných rokoch.

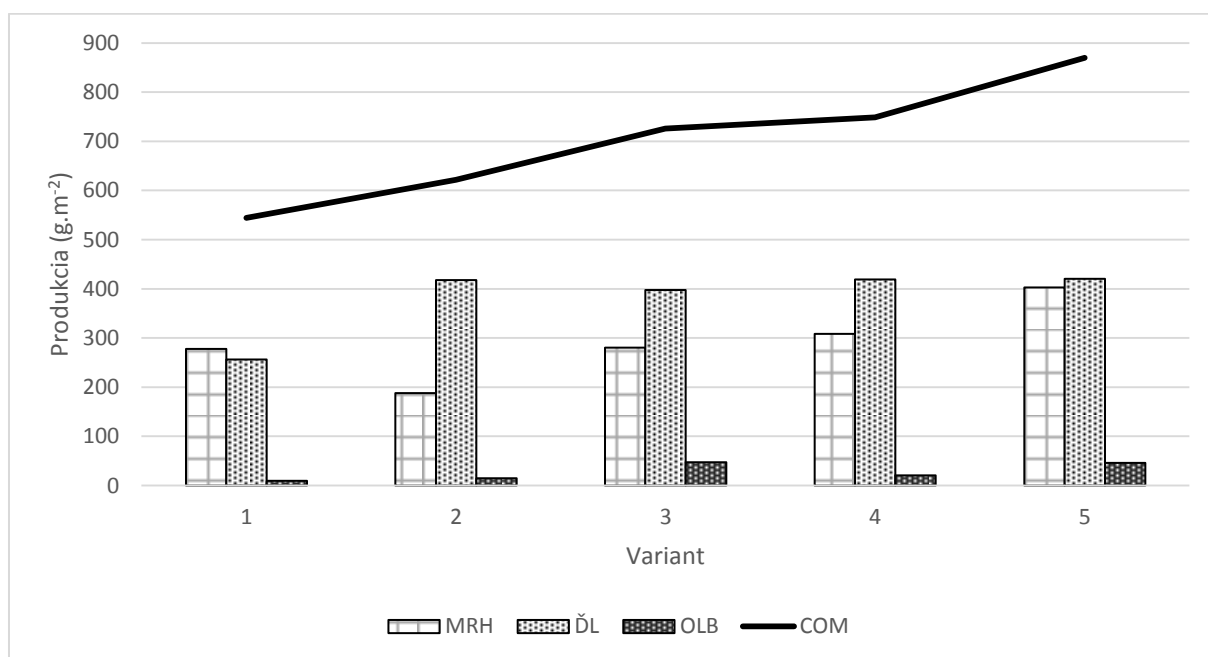
V roku 2022 sa vykonali tri produkčné kosby, v ktorých sa stanovila produkcia sušiny ĎTM (zberová plocha opakovaní, kosenie kosačkou s pojazdom) a produkcia jednotlivých komponentov MRH a ĎL, a ostatných lúčnych bylín (OLB) vyskytujúcich sa v poraste (ručný odber nožnicami na trávnu zo štvorcov  $250 \times 250 \text{ mm}$  z ochrannej plochy). Po odbere rastlinnej hmoty z plochy kovových rámov boli okamžite rastliny rozdelené na MRH, ĎL a OLB. Odvážené (v čerstvom stave) a následne vysušené pri  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  na stanovenie sušiny. Zo získaných údajov boli vypočítané: stabilita produkcie podľa vzťahu  $S = \mu/\sigma$  (Lehman and Tilman, 2000), kde je  $S$  – dočasná stabilita,  $\mu$  – priemer, a  $\sigma$  – smerodajná odchýlka, kde vo výsledku platí, že čím je výsledná hodnota vyššia, tým je porast produkčne stabilnejší. Ďalej bola vypočítaná asynchrónnosť medzi komponentmi podľa vzťahu  $1 - \Phi = 1 - \sigma_{tot}^2 / (\sum_{i=1}^S \sigma_i^2)$  (Loreau and de Mazancourt, 2008), kde  $\Phi$  je synchronnosť ( $1 - \Phi =$  asynchrónnosť),  $\sigma_{tot}^2$  – rozptyl produkcie spoločenstva,  $(\sum_{i=1}^S \sigma_i^2)$  – suma štandardných odchýlok všetkých  $S$  rastlinných druhov v spoločenstve,  $i$  – rastlinných druhov. Asynchrónnosť bola vypočítaná pre i) spoločenstvo ako celok, alebo ii) siete komponenty ĎTM. Rozsah nadobúda hodnoty od 0 (dokonalá synchronnosť) po 1 (dokonalá asynchrónnosť).

Výsledky boli vyhodnotené jednocestnou analýzou variancie s testovaním rozdielov pri 95 % hladine pravdepodobnosti ( $\alpha = 0,05$ ).

### Výsledky a diskusia

Produkcia sušiny kostravovca v ďatelinotrávnej miešanke sa medzi variantmi nelíšila (ANOVA  $F_{4, 19} = 1,39$ ;  $P > 0,28$ ). Kostravovec produkčne dominoval len variantu 1 (graf 1). Ďatelina lúčna produkčne prekonávala trávny komponent na ostatných štyroch sledovaných variantoch, avšak ani pri tomto komponente neboli zaznamenané preukazné diferencie medzi variantmi (ANOVA  $F_{4, 19} = 2,29$ ;  $P > 0,13$ ). Pričom ďatelina lúčna, najmä v prvom produkčnom roku, potláča buriny (Cong *et al.*, 2018). Podiel nesiatych ostatných lúčnych bylín v ĎTM mal marginálne rozdiely medzi variantmi (ANOVA  $F_{4, 19} = 2,44$ ;  $P = 0,0923$ ). Viacnásobným porovnaním sa tieto rozdiely zaznamenali medzi variantmi 3 a 5, ktoré mali vyššiu produkciu sušiny ostatných lúčnych bylín než variant 1. Pri celkovej produkcii sušiny

nadzemnej fytomasy boli zaznamenané preukazné rozdiely (ANOVA  $F_{4, 19} = 3,47$ ;  $P = 0,0339$ ). Rozsah úrod od  $544,4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  po viac ako  $1000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  zodpovedá údajom, ktoré zistili Tzanakakis *et al.* (2017) pre ĎTM pozostávajúcu z d'ateliny lúčnej a sprievodnej trávy, ktorí sledovali rôzne podiely d'ateliny lúčnej vo výsevku a aplikáciou priemyselných hnojív, vrátane dusíka. Viacnásobným porovnávaním rozdielov medzi variantmi sa zistili preukazné rozdiely, ktoré sú uvedené v tabuľke 1. Varianty, ktorým boli aplikované priemyselné hnojivá (varianty 3, 4 a 5) vyprodukovali viac fytomasy než kontrolný variant. Varianty, ku ktorým sa v roku zakladania, t.j. pred sejbou, aplikovala pôdna podporná látka sa navzájom neodlišovali (varianty 2, 3 a 4), ale variant 2 mal preukazne nižšiu produkciu sušiny nadzemnej fytomasy než variant 5. Varianty s najnižšími vstupmi (variant 2) a bez nich, kontrola (variant 1) sa tvorbou nadzemnej fytomasy navzájom nelíšili.



**Graf 1.** Zastúpenie jednotlivých komponentov ĎTM a nesiatic OLB na celkovej produkcii sušiny ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )

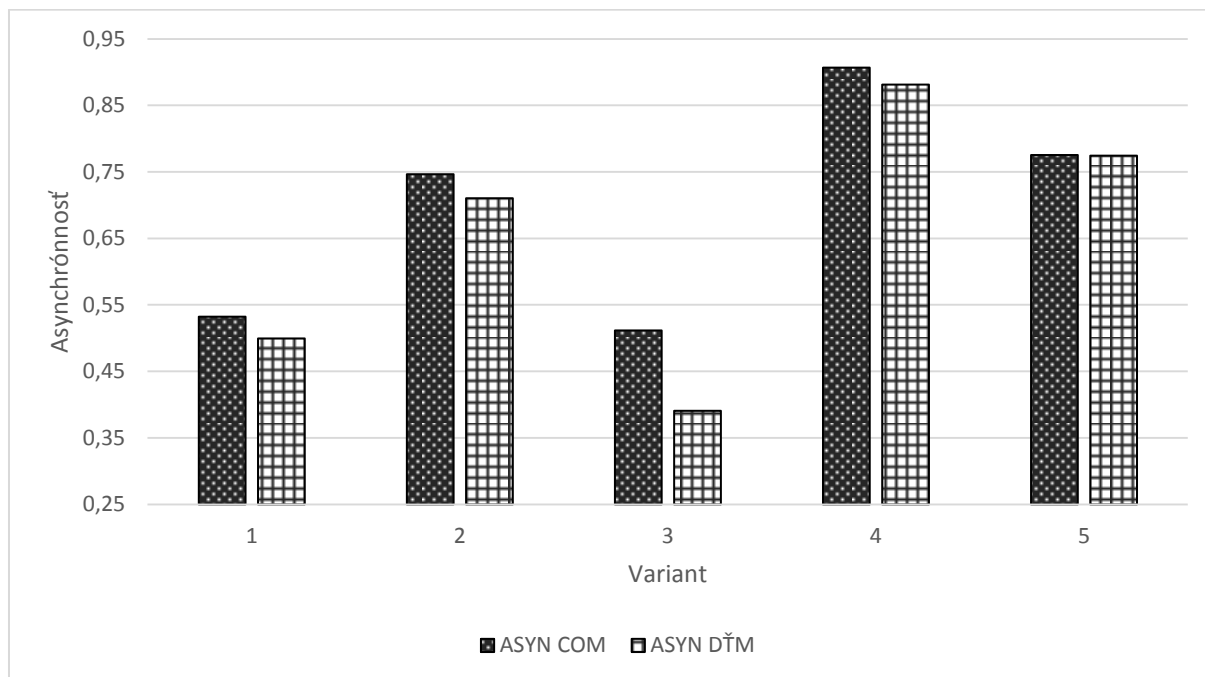
**Tabuľka 1.** Produkcia sušiny ĎTM a dočasná stabilita produkcie

Variant	Produkcia ĎTM ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Stabilita
1	544,4 <sup>a</sup>	3,73
2	621,6 <sup>ab</sup>	6,15
3	726,0 <sup>bc</sup>	3,21
4	748,8 <sup>bc</sup>	7,15
5	870,0 <sup>c</sup>	3,45

Poznámka: rôzne písmená v stĺpci znamenajú, že medzi variantmi existujú preukazné rozdiely

Stabilita produkcie sušiny nadzemnej biomasy ĎTM, ktorá bola vypočítaná pre celé spoločenstvo, neočakávane varíovala. Haughey *et al.* (2018) uvádzajú, že v ideálnom prípade najstabilnejšia produkcia nastáva ak komponenty ĎTM poskytujú vysokú produkciu, ktorá má nízky rozptyl nielen z priestorového, ale aj časového hľadiska. Najstabilnejšou tvorbou úrody sa prezentoval variant 4, ktorého prístup pri zakladaní bola aplikácia priemyselných hnojív, vrátane dusíka, i dodanie pôdnej podpornej látky. Nasledoval variant 2, pre ktorý bolo typické, že bol ošetrený len pôdnou podpornou látkou. Z grafu 1 pre varianty 2 – 5 platí, že kým d'atelina lúčna oscillovala (podieľala sa na stabilite), so stúpajúcou intenzitou hnojenia

priemyselnými hnojivami lineárne rastie podiel kostravovca (a mierne prispieva k nestabilite). Avšak výraznejšia prítomnosť ostatných lúčnych bylín na variantoch 3 a 5 spôsobuje pokles stability. Aj Sasaki *et al.* (2019) uvádzajú, že byliny, konkrétne jednoročné a dvojročné byliny málo prispievajú k stabilite rastlinného spoločenstva. Variant 1, ako sa uviedlo už skôr, má dominantu prezentovanú trávny druhom a je úplne odlišná od ostatných sledovaných ošetrovaní.



**Graf 2.** Asynchrónnosť medzi siatymi komponentmi DŤM (ASYN DŤM), a po započítaní rastlinných druhov, ktoré prenikli do porastov (DŤM COM). Asynchrónnosť je bezrozmerné číslo

Debata o vplyve zvyšujúceho sa počtu druhov na stabilitu produkcie spoločenstiev argumentuje, že zaradenie vyššieho počtu druhov znamená zaradenie takých druhov, ktoré sú odlišné, čiže dopĺňajú sa vlastnosťami (Loreau and de Mazancourt 2008, Haughey *et al.* 2018, Sasaki *et al.* 2019). Preto asynchrónnosť medzi druhmi by mala byť vysoká. Z grafu 2 vyplýva, že najvyššiu asynchrónnosť má variant 4. Prístup pri zakladaní d'atelinotravných porastov, známy aj z poľnohospodárskej praxe, aplikovanie štartovacej dávky N+PK hnojív (v našom prípade aj pôdnej podpornej látky) má za následok to, že oba komponenty sa dopĺňajú a to takým spôsobom, že ich produkcia je nielen stabilná (tabuľka 1), ale má aj nízke zastúpenie ostatných lúčnych bylín.

Dodanie PK hnojív až v nasledujúcom roku, po roku zakladania, má za následok, že do DŤM preniknú nové rastlinné druhy (po započítaní skupiny OLB), to znamená, že porast s uvedeným obhospodarovaním, môže byť v konečnom dôsledku najmenej odolný voči externým faktorom prostredia (napr. Haughey *et al.*, 2018) pričom asynchrónnosť znamená vyššiu stabilitu spoločenstiev (Sasaki *et al.*, 2019).

### Záver

V horskej výrobní oblasti Slovenska sme sledovali komponenty d'atelinotravní miešanky ovplyvnenej aplikáciou pôdnej podpornej látky v kombinácii s priemyselnými hnojivami. Uvedený prístup predstavuje trvalo udržateľnú intenzifikáciu. Medzirodový hybrid a d'atelina lúčna boli zložky produkcie sušiny nadzemnej fytomasy, ktoré sa medzi variantmi neodlišovali. Marginálne diferencie sa zaznamenali v skupine ostatných lúčnych bylín,

pričom neošetrovaná kontrola mala najnižšie vyprodukované množstvo sušiny. Najvyššiu stabilitu produkcie malo kombinovanie aplikácie pôdnej podpornej látky a kontinuálneho hnojenia (variant 4). O niečo nižšiu stabilitu mal variant 2, ku ktorému sa pri zakladaní porastu aplikovala pôdna podporná látka. Oba uvedené varianty sa prezentovali aj najvyššou asynchrónnosťou, t.j. komponenty sa vhodne dopĺňajú a prispievajú tak k stabilite produkcie. Nízka stabilita ako aj asynchrónnosť komponentov miešanky na variante 3, predznamenáva, že vynechanie štartovacej dávky dusíka + PK hnojív v roku zakladania a následná aplikácia PK hnojív v prvom produkčnom roku pôsobí „rušivo“ k predpokladanej trvalej udržateľnosti. Práve pri tomto variante sa predpokladala úspora na vstupoch, pri zvýšenej a stabilnej produkcii sušiny nadzemnej fytohmoty.

### PodĎakovanie

Uvedená práca vznikla s finančnou podporou Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Udržateľné systémy inteligentného farmárstva zohľadňujúce výzvy budúcnosti 313011W112, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a rezortného projektu vedy a výskumu č. 1092/2022/MPRVSR-930.

**Kontaktná adresa:** Ing. Norbert Britaňák, PhD. – Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Oddelenie pratotechniky, Regionálne výskumné pracovisko, ul. Dr. Gašperíka 599, 033 80 Liptovský Hrádok, Slovenská republika, e-mail: norbert.britanak@nppc.sk

### Literatúra

- Britaňák, N., Ilavská, I., Jančová, E., Kizeková, M., Pollák, Š., Hanzes, E. 2022. Vplyv aplikácie pôdnej podpornej látky a priemyselných hnojív na botanické zloženie ďatelinotrávnej miešanky, jej produkciu sušiny a produkciu dusíka a fosforu v roku zakladania porastov. In *Lúkarstvo a pasienkarstvo na Slovensku*, vol. 16, pp. 45-48, ISSN 1337-589X
- Cong, W.-F., Suter, M., Lüscher, A., Eriksen, J. 2018. Species interactions between forbs and grass-clover contribute to yield gains and weed suppression in forage grassland mixtures. In *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 268, pp. 154-161, eISSN 1873-2305
- Gunton, R.M., Firbank, L.G., Inam, A., Winter, D.M. 2016. How scalable is sustainable intensification? In *Nature Plants*, vol. 2, pp. 1-4, doi:10.1038/nplants.2016.65 eISSN 2055-0278
- Haughey, E., Suter, M., Hofer, D., Hoekstra, N.J., McElwain, J.C., Lüscher, A., Finn, J.A. 2018. Higher species richness enhances yield stability in intensively managed grassland with experimental disturbance. In *Scientific Reports*, vol. 8, e15047, 10p. 10.1038/s41598-018-33262-9, eISSN 2045-2322
- Jančová, M., Ilavská, I., Pollák, Š., Dugátová, Z., Britaňák, N., Hanzes, E. 2022. Kvalita siláží z ďatelinotravných miešaniek. In *Lúkarstvo a pasienkarstvo na Slovensku*, vol. 16, pp. 56-60, ISSN 1337-589X
- Kizeková, M., Britaňák, N., Ilavská, I., Pollák, Š., Jančová, E., Hanzes, E. 2023. Využitie rizobaktérií podporujúcich rast rastlín pre udržateľnú produkciu trávnych porastov. In: Hnilička, F. (ed.) Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2023 Zborník recenzovaných vedeckých prác, Česká zemědělská univerzita v Praze, Ústav ekologie lesa Slovenskej akadémie vied, Slovenská spoločnosť pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV, s. 18-22. Vydal: Ústav ekologie lesa Slovenskej akadémie vied, v.v.i. 2023, ISBN: 978-80-89408-37-5
- Kováčiková, Z., Vargová, Z., Kizeková, M. 2022. Ďatelinotravné miešanky na ornej pôde majú stále svoj význam. In *Pícninárské a trávnikárske listy*, vol. 28, pp. 72-77. ISBN 978-80-87091-97-5
- Lehman, C.L., Tilman, D. 2000. Diversity, stability, and productivity in competitive communities. In *The American Naturalist*, vol. 156, pp. 534-552, ISSN 0003-0147
- Loreau, M., de Mazancourt, C. 2008. Species synchrony and its drivers: neutral and nonneutral community dynamics in fluctuating environments. In *The American Naturalist*, vol. 172, pp. E48-E66, ISSN 0003-0147
- Sasaki, T., Lu, X., Hirota, M., Bai, Y.-F. 2019. Species asynchrony and response diversity determine multifunctional stability of natural grasslands. In *Journal of Ecology*, vol. 107, pp. 1862-1875, ISSN
- Tzanakakis, N., Sturite, I., Dörsch, P. 2017. Biological nitrogen fixation and transfer in a high latitude grass-clover grassland under different management practices. In *Plant and Soil*, vol. 421, pp. 107-122, ISSN 0032-079X

## Produkcia trávneho porastu po aplikácii digestátu

Grassland production after digestate application

**Jozef ČUNDERLÍK**

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby -  
ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Mládežnícka 36, 974 21 Banská  
Bystrica, Slovenská republika

### Abstract

The aim of the research task was to verify the influence of different doses of alternative organic fertilizer (digestate – wastewater after biogas generation) on quantitative and qualitative indicators of aboveground biomass of grassland. On average of three years (2019 and 2021) the higher dry matter production was 4.42 t.ha<sup>-1</sup> in 2020. In terms of the production of treatments in the monitored years, the highest yield reached 4.15 t.ha<sup>-1</sup> with treatment a dose of digestate at 150 N kg.ha<sup>-1</sup> rate. The highest content of crude protein 128.02 g.kg<sup>-1</sup> dry matter was in 2020. The optimal K: (Ca + Mg) ratio was achieved on the treatment with a digestate dose of at 90 kg N .ha<sup>-1</sup> rate.

**Keywords:** grassland, digestate, dry matter, production

### Úvod

Aplikáciou organických a minerálnych hnojív do pôdy, okrem dodávania živín pre rastliny sa môžu ovplyvniť fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy a s nimi aj mikrobiálne populácie (Dostál a Richter, 2018). Hospodárske hnojivá sú dôležité pre návrat živín do pôdy, ale môžu mať aj celý rad vedľajších účinkov na pôdu. V posledných rokoch však stavy hospodárskych zvierat v SR neustále klesajú, čo sa prejavuje aj v nedostatku maštalného hnoja. Jednou z možností je využitie vyhnitého kalu získaného ako vedľajší produkt pri výrobe bioplynu (Mitrušková a Pospíšil, 2008). Výroba bioplynu je posledným krokom v systéme využívania biomasy, v ktorom sa súčasne vyrába nosič obnoviteľnej energie – bioplyn s dezinfikovaným biohnojivom (digestát). Priame produkty z bioplynových zariadení (anaeróbnej digestie), teda energia a organické hnojivá prispievajú k napĺňaniu niekoľkých európskych cieľov v oblasti znižovania emisií skleníkových plynov a energetickej bezpečnosti, ako aj k rozvoju obehového biohospodárstva a ekologickej (zelenej) zamestnanosti (Honzik, 2001). Vyhnitý kal z bioplynovej stanice obsahuje značné množstvo živín a za predpokladu že spĺňa stanovené parametre, je možné ho použiť ako hnojivo. Existujú dôkazy, že aplikácia digestátu, okrem zvyšovania množstva živín v pôde, zlepšuje rast rastlín, úrodu a kvalitu produkcie, pričom môže potláčať výskyt fytopatogénnych druhov (Arthurson, 2008).

### Materiál a metodika práce

Cieľom riešenej výskumnej úlohy bolo overiť vplyv rôznych dávok vyhnitého digestátu, ako alternatívneho organického hnojiva na produkciu trávneho porastu v priebehu rokov 2019 - 2021. Úloha sa riešila na plochách pokusného areálu NPPC - VÚTPHP, stanovište Radvaň, ktoré sa nachádza v nadmorskej výške 480 m na sklonitom svahu so SV expozíciou a presnou pozíciou podľa GPS – s.š. 48° 71.875' a v.d. 19° 10.378'. Priemerné ročné zrážky sú 853 mm, za vegetačné obdobie 441 mm. Priemerné ročné teploty sú 7,7 °C, za vegetáciu 13,6 °C. Geologický substrát stanovišťa tvoria zvetraliny andezitov, pôdny typ – kambizem, pôdny druh – hlinitá. Digestát bola tmavá, nepáchnuca, heterogénna suspenzia pevných a koloidných látok.

Digestát sa aplikoval na povrch porastu na jar v každom sledovanom roku v nasledovanej dávke hnojenia:

V1 – nehnojená kontrola

V2 - N 90 v kg.ha<sup>-1</sup> č.ž. digestát (jednorazová dávka na jar)  
 V3 - N 120 v kg.ha<sup>-1</sup> č.ž. digestát (jednorazová dávka na jar)  
 V4 - N 150 v kg.ha<sup>-1</sup> č.ž. digestát (jednorazová dávka na jar)

Na základe chemického rozboru vyhnitého digestátu sa vypočítali dávky digestátu, rovnajúce sa čistým živinám N vo variantoch V2, V3 a V4.

Dávky digestátu sa aplikovali na trávny porast po zazelenaní porastu. Porasty sa v úžitkovom roku využívali 3 x kosbou, pričom 1. kosba sa uskutočnila na začiatku klásenia prevládajúcich druhov tráv, druhá s odstupom 7-8 týždňov po prvej a tretia (podľa stavu porastu) 8-10 týždňov po druhej.

### Výsledky a diskusia

Pred založením pokusu v roku 2019 sme z hĺbky 0-150 mm odobrali pôdne vzorky (tab. 1) na stanovenie základných agrochemických vlastností pôdy. Sledované varianty sa vyznačujú kyslou pôdnou reakciou, strednou zásobou humusu, dobrou zásobou celkového dusíka, vysokým obsahom horčíka a vyhovujúcou zásobou draslíka. Obsah fosforu a vápnika je nízky. Vyhnitý biokal, ktorý sme aplikovali na trávny porast, je pohotovostným zdrojom dusíka, ktorý je fyziologicky využiteľnejší než z minerálnych hnojív. Jeho zloženie je primárne ovplyvnené množstvom a chemickým zložením vstupných surovín, čo sú v našom prípade kukuričná siláž a trávna senáž (tab. 2).

**Tabuľka 1.** Agrochemické vlastnosti pôdy (0-150 mm) v roku 2019

Rok	Variant	pH/KCl	Humus	Cox	N	Ca	P	K	Mg
			g.kg <sup>-1</sup>				mg.kg <sup>-1</sup>		
2019	Kontrola	5,10	52,06	30,20	2,31	1,13	1,73	115,28	884,83
	Biokal 90 kg.ha <sup>-1</sup>	4,30	46,38	26,90	2,04	1,24	1,69	99,31	646,35
	Biokal 120	4,66	42,76	24,80	2,31	1,24	1,52	138,74	705,56
	Biokal 150	4,65	40,69	23,60	2,20	1,29	1,52	157,93	767,26

**Tabuľka 2.** Chemické zloženie digestátu

Rok	pH/KCl	Sušina	N	P	K	Ca	Na	Mg
		%	g.kg <sup>-1</sup>					
2019	7,45	67,51	47,90	15,11	49,46	25,97	9,95	12,32
2020	7,65	61,27	63,38	16,16	50,79	32,65	4,69	16,55
2021	7,41	102,40	46,29	29,78	36,13	15,62	2,93	25,39

Vyhnitý biokal mal v roku 2019 pH 7,45, neokysľoval pôdu, a tým zlepšoval využitie fosforu z pôdy. Obsah sušiny bol 67,51 %. Výrazné rozdiely v chemickom zložení biokalu v roku 2020 sme nezistili. Najvyšší obsah sušiny (102,40 %) a fosforu (29,78 g.kg<sup>-1</sup>) bol v roku 2021. Úrodnosť pôdy závisí od vlastností samotnej pôdy (prirodzená úrodnosť), ako aj od činnosti človeka, ktorý pôdu obrába (umelá úrodnosť). Závisí aj od chemických vlastností pôdy (pH, minerálne zloženie, obsah živín a vody), od fyzikálnych vlastností pôdy a od polohy. S vyššou nadmorskou výškou súvisí väčšie množstvo zrážok a chladnejšia klíma, čo vedie k zvýšenej vlhkosti pôd. Extrémny svah môže zabrániť vzniku dostatočnej vrstvy pôdy, spôsobuje zvýšený odtok vody vplyvom gravitácie. Poloha svahu ďalej určuje množstvo slnečného žiarenia, ktoré dopadá na povrch pôdy (Bedrna a Sotáková, 1968). V roku 2019 bola najvyššia celková produkcia sušiny 2,73 t.ha<sup>-1</sup> na variante s dávkou digestátu 150 kg N č.ž.ha<sup>-1</sup> (tab. 3). Najnižšia celková produkcia 1,53 t.ha<sup>-1</sup> bola na kontrolnom variante. Medzi dávkami digestátu 90 kg.ha<sup>-1</sup> a 120 kg.ha<sup>-1</sup> bol rozdiel úrod 0,31 t.ha<sup>-1</sup> a medzi dávkami digestátu 120 kg.ha<sup>-1</sup> a 150 kg.ha<sup>-1</sup> bol rozdiel úrod len 0,22 t.ha<sup>-1</sup>. Úrody sušiny na hnojených

variantoch dosahovali vyrovnané hodnoty v kosbách. V tretej kosbe sa dosiahli najnižšie úrody sušiny ( $0,27 - 0,53 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na všetkých variantoch. Najvyšší percentuálny nárast úrod (62 %) sme dosiahli v prvej kosbe, kedy úhrny zrážok v mesiaci máj boli nadnormálne a dosahovali vysokú úroveň z dlhodobého priemeru 186 %. Podobne, ako v roku 2019, aj v roku 2020 bola najvyššia celková produkcia  $5,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na variante s dávkou digestátu  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  a najnižšia celková produkcia  $2,96 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  bola na kontrolnom variante (tab. 3). Medzi dávkami digestátu  $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  a  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  bol rozdiel úrod  $0,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  a medzi dávkami digestátu  $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  bol rozdiel úrod  $0,65 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . V tretej kosbe sa dosiahli najvyššie úrody sušiny ( $1,61 - 2,34 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na všetkých variantoch, čo predstavovalo percentuálny nárast úrod (48 %) v porovnaní s prvou a druhou kosbou, kedy úhrny zrážok v mesiacoch august a september sa pohybovali v rozpätí od 105 – 136 mm. Nízka pôdna vlhkosť v jarnom období a následne najvyššia v jesennom období mala vplyv aj na výšku úrod za jednotlivé kosby. Vplyv kosieb na celkovú produkciu sušiny mal klesajúcu tendenciu v smere: 3.kosba > 2.kosba > 1.kosba. Celková produkcia sušiny bola vyššia v roku 2020 o 49 % v porovnaní s rokom 2019.

V roku 2021 sme zaznamenali najvyššiu produkciu  $4,35 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na variante s dávkou digestátu  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Medzi dávkami digestátu  $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a  $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  bol rozdiel úrod  $0,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  a dávkou  $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a  $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  bol rozdiel  $0,45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Rozdiel úrod sme zaznamenali aj medzi dávkami digestátu  $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  a  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , ktorý bol na úrovni  $0,56 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . V poslednom úžitkovom roku sa dosiahli najnižšie úrody sušiny v druhej kosbe ( $0,30 - 0,42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na všetkých variantoch, kedy mesačné úhrny zrážok boli v dôsledku častých lokálnych preháňok a búrok veľmi premenlivé a počas mesiacov jún (19 mm) a júl (84 mm) nerovnomerne rozdelené. To sa prejavilo aj na vplyve kosieb na celkovú produkciu sušiny, kedy mali klesajúcu tendenciu v smere: 1.kosba > 3.kosba > 2.kosba. Celková produkcia sušiny za celé sledované obdobie bola najvyššia v roku 2020, o 19 % vyššia v porovnaní s rokom 2021 a o 49 % v porovnaní s rokom 2019. Vplyv kosieb na celkovú produkciu sušiny za sledované roky mal klesajúcu tendenciu v smere: 1.kosba > 3.kosba > 2.kosba. Hnojivové využitie vyhnitého digestátu znižuje nároky na potrebu priemyselných hnojív, zlepšujú sa hydrofyzikálne vlastnosti pôdy, čo má pozitívny vplyv na celkový vlhový režim pôdy (Igaz, 2001).

**Tabuľka 3.** Produkcia sušiny v kosbách za roky 2019 – 2021

Rok	Variant	1. kosba		2. kosba		3. kosba		$\Sigma$ t.ha <sup>-1</sup>
		t.ha <sup>-1</sup>	%	t.ha <sup>-1</sup>	%	t.ha <sup>-1</sup>	%	
2019	Kontrola	0,90	59	0,36	23	0,27	18	1,53
	Biokal 90kg.ha <sup>-1</sup>	1,41	64	0,43	20	0,36	16	2,20
	Biokal 120 kg.ha <sup>-1</sup>	1,66	66	0,42	17	0,43	17	2,51
	Biokal 150 kg.ha <sup>-1</sup>	1,60	59	0,60	22	0,53	19	2,73
	x	1,39	62	0,45	21	0,40	17	2,24
2020	Kontrola	0,45	15	0,90	30	1,61	55	2,96
	Biokal 90kg.ha <sup>-1</sup>	0,70	15	1,75	38	2,17	47	4,62
	Biokal 120 kg.ha <sup>-1</sup>	0,90	19	1,76	37	2,07	44	4,73
	Biokal 150 kg.ha <sup>-1</sup>	0,98	18	2,06	38	2,34	44	5,38
	x	0,75	17	1,62	35	2,05	48	4,42
2021	Kontrola	0,80	34	0,42	18	1,13	48	2,35
	Biokal 90kg.ha <sup>-1</sup>	2,07	53	0,35	9	1,48	38	3,90
	Biokal 120 kg.ha <sup>-1</sup>	2,05	54	0,30	8	1,44	38	3,79



Rok	Variant	1. kosba		2. kosba		3. kosba		$\Sigma$ t.ha <sup>-1</sup>
		t.ha <sup>-1</sup>	%	t.ha <sup>-1</sup>	%	t.ha <sup>-1</sup>	%	
	Biokal 150 kg.ha <sup>-1</sup>	2,20	51	0,38	9	1,77	40	4,35
	$\bar{x}^4$	1,78	48	0,36	11	1,46	41	3,60

Štatisticky preukazné rozdiely sme zaznamenali v úrodách a obsahu biogénnych prvkov v sušine za sledované roky a varianty (tab. 4, 5, 6, 7). Preukazne ( $P < 0,05$ ) vyššiu úrodu (4,42 t.ha<sup>-1</sup>) sme dosiahli v roku 2020. Preukazné rozdiely boli aj pri obsahoch prvkov v rastlinnej hmote. Najvyšší ( $P < 0,05$ ) sme zaznamenali pri obsahu NL (128,02 kg.ha<sup>-1</sup>) v roku 2020. **Obsah N - látok je závislý od podielu floristických skupín, druhového zloženia, hnojenia, klimatických podmienok a rastovej fázy.** Preukazné rozdiely sme zaznamenali aj pri ostatných prvkoch, nepreukazný rozdiel v rokoch bol len pri sodíku. Preukazne ( $P < 0,05$ ) najnižšiu úrodu (2,22 t.ha<sup>-1</sup>) mal kontrolný variant. Rozdiely medzi kontrolou a ostatnými variantami sú štatisticky preukazné. Nepreukazný rozdiel bol medzi variantmi s dávkami digestátu 90 kg N.ha<sup>-1</sup>, 120 kg N.ha<sup>-1</sup> a s dávkou digestátu 150 kg N.ha<sup>-1</sup>. Preukazne ( $P < 0,05$ ) najnižší obsah NL (116,14 kg.ha<sup>-1</sup>) sme zaznamenali na kontrolnom variante. Preukazné rozdiely medzi kontrolou a dávkou digestátu 150 kg N.ha<sup>-1</sup> boli vo všetkých biogénnych prvkoch a na všetkých variantoch. **Na koncentráciu draslíka v sušine fytomasy vplýva aj floristické zloženie porastov v tom zmysle, že najvyšší obsah draslíka je v bylinách a najnižší je v d'atelinovinách. V našom pokuse mala vyššie zastúpenie skupina bylín oproti d'atelinovinám. Rovnako, ako v prípade vápnika, aj v prípade horčička na jeho relatívne vysokom obsahu v sušine sa podieľa aj vysoké zastúpenie bylín.** Ložek (1995) uvádza, že horčík ovplyvňuje predovšetkým kvalitu krmiva, kým výšky úrod len pri silnejšom nedostatku v pôde. Juriš (2000) uvádza, že hnojivý účinok digestátu je dobrý a živiny z kalu, hlavne dusík, sú prijímané rýchlejšie ako z maštalného hnoja, ale pomalšie ako z priemyselných hnojív.

Preukazne ( $P < 0,05$ ) najvyššia hodnota (4,22) pomeru Ca: P bola v roku 2019, preukazné rozdiely medzi rokmi boli aj pri pomere K : (Ca+Mg). Preukazne ( $P < 0,05$ ) najvyššiu hodnotu (4,17) pri pomere Ca: P mal kontrolný variant. Rozdiel medzi kontrolou a variantom s dávkou digestátu 120 kg N.ha<sup>-1</sup> je štatisticky preukazný pri pomere Ca: P. Nepreukazné rozdiely pomeru Ca: P boli medzi kontrolou a variantami s dávkami digestátu 90 kg N.ha<sup>-1</sup> a 150 kg N.ha<sup>-1</sup>. Rozdiely pomeru K : (Ca+Mg) medzi variantmi nie sú štatisticky preukazné.

**Tauľka 4.** Analýza variancie pre hodnotenie úrod, koncentrácie biogénnych prvkov za roky 2019 – 2021

Rok	Úroda (t.ha <sup>-1</sup> )	Koncentrácia biogénnych prvkov (kg.ha <sup>-1</sup> )					
		NL	P	K	Na	Ca	Mg
2019	2,24 a	120,55 b	2,72 b	25,76 ab	0,29 a	11,18 c	4,42 c
2020	4,42 c	128,02 a	2,75 b	27,21 b	0,31 a	10,07 b	4,14 b
2021	3,60 b	111,17 c	2,46 a	25,11 a	0,32 a	9,06 a	3,70 a
Hd $\alpha_{0,05}$	0,441	5,244	0,167	2,018	0,028	0,725	0,127

**Tabuľka 5.** Analýza variancie pre hodnotenie úrod, koncentrácie biogénnych prvkov za varianty

Variant	Úroda (t.ha <sup>-1</sup> )	Koncentrácia biogénnych prvkov (kg.ha <sup>-1</sup> )					
		NL	P	K	Na	Ca	Mg
kontrola	2,22 a	116,14 a	2,27 a	24,25 a	0,29 a	9,44 a	4,02 a
Biokal 90 kg.ha <sup>-1</sup>	3,57 b	119,11 ab	2,56 b	26,23 ab	0,29 a	10,00 a	4,03 a
Biokal 120 kg.ha <sup>-1</sup>	3,68 bc	119,60 ab	2,77 c	25,61 ab	0,29 a	9,90 a	4,11 ab
Biokal 150 kg.ha <sup>-1</sup>	4,15 c	124,81 b	2,97 c	28,02 b	0,37 b	11,08 b	4,20 b
Hd $\alpha_{0,05}$	0,562	6,682	0,213	2,571	0,036	0,924	0,160

**Tabuľka 6.** Analýza variancie pre hodnotenie pomeru prvkov za roky 2019 – 2021

Rok	Úroda (t.ha <sup>-1</sup> )	Koncentrácia biogénnych prvkov	
		Ca : P	K : (Ca+Mg)
2019	2,24 a	4,22 b	1,72 a
2020	4,42 c	3,65 a	1,96 b
2021	3,60 b	3,75 a	2,11 c
Hd $\alpha_{0,05}$	0,441	0,373	0,140

**Tabuľka 7.** Analýza variancie pre hodnotenie pomeru prvkov za varianty

Variant	Úroda (t.ha <sup>-1</sup> )	Koncentrácia biogénnych prvkov	
		Ca : P	K : (Ca+Mg)
Kontrola	2,22 a	4,17 b	1,89 a
Biokal 90 kg N.ha <sup>-1</sup>	3,57 b	3,93 ab	2,00 a
Biokal 120 kg N.ha <sup>-1</sup>	3,68 bc	3,54 a	1,94 a
Biokal 150 kg N.ha <sup>-1</sup>	4,15 c	3,85 ab	1,88 a
Hd $\alpha_{0,05}$	0,562	0,475	0,178

### Záver

Celková produkcia sušiny za celé sledované obdobie (4,42 t.ha<sup>-1</sup>) bola najvyššia v roku 2020. Najvyššia produkcia, a to 5,38 t.ha<sup>-1</sup>, bola na variante s dávkou digestátu 150 kg N.ha<sup>-1</sup>. Za sledované roky bol obsah dusíkatých látok len na úrovni 111,17 – 128,02 g.kg<sup>-1</sup> sušiny. Pri každoročnom využívaní pri dostatočnej sušine je biokal dobrým organicko – minerálnym hnojivom so špecifickými pozitívnymi vlastnosťami (pH reakcia, potlačená klíčivosť semien burín, nízky zápach).

### Pod'akovanie

Tento príspevok bol spracovaný vďaka podpore ÚOP „Vypracovanie plánov monitoringu vplyvu redukcie odpadovej biomasy a zvyškov z poľnohospodárskej pôdy na zásoby uhlíka v pôde, a plánov manažmentu zachovania kvality pôdy a uhlíka v pôde pre účely plnenia Smernice EÚ č. 2018/2001“, financovanej z kontraktu 1092/2022/MPRVS-930.

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

## Literatúra

- Arthurson, V. 2008. Proper Sanitization of Sewage Sludge: a Critical Issue for a Sustainable Society. *Applied and Environmental Microbiology*, 2008, vol. 74, no.17, pp.5267-5275
- Bedrna, Z., Sotáková, S. 1968. Poľnohospodárske pôdoznanectvo: 1 vydanie Bratislava. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, 1968. ISBN 64 – 038-68
- Dostál, J., Richter, R. 2018. Porovnání kvality kejdy s digestátem z bioplynových stanic a jejich využití ke hnojení zemědělských plodin. In *Kukuřice v praxi*. MZLU v Brně. s. 78 – 81. ISBN 978-80-7375-135-7
- Honzík, R. 2001. Zkušenosti s využitím biologických odpadů pro produkci bioplynu v SRN. In *Možnosti výroby a využití bioplynu v zemědělství ČR*. Třeboň. 2001. s. 75 – 81. ISBN 80-238-7735-6
- Igaz, D. 2001. Spracovanie tekutých organických odpadov a ich využitie v poľnohospodárskej krajine z hľadiska ochrany životného prostredia, autoreferát dizertačnej práce. Nitra: SPU, 2001, s. 25.
- Juriš, P. 2000. Hygienické a ekologické požiadavky na recykláciu organických odpadov v poľnohospodárstve. Prešov: Vydavateľstvo M. Vaška, 2000. s.158. ISBN 80-7165-257-1
- Ložek, O. 1995. Základy výživy a hnojenia rastlín. MP SR, Ústav vedecko-technických informácií pre pôdohospodárstvo, Nitra, SPU: s.132. ISBN 80-85330-21-0
- Mitrušková, M., Pospíšil, R. 2008. Efektivnost' aplikace biokalu v produkčnom procese poľných plodín. Dizertačná doktorandská práca. Nitra: SPU, 2008, s.145

## **Optimalizácia botanického zloženia a produkcie trávnych porastov**

Optimizing the botanical composition and grassland production

**Zuzana DUGÁTOVÁ, Mariana JANČOVÁ, Štefan POLLÁK, Miriam KIZEKOVÁ**

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum - Výskumný ústav rastlinnej výroby –  
Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Banská Bystrica, Mládežnícka 36,  
974 32 Banská Bystrica, Slovenská republika

### **Abstract**

Oversowing of grass/clover mixture is a way how to optimize the botanical composition of grasslands and to increase the dry matter yield and herbage quality. The aim of the research was to evaluate the effect of grass/clover mixture on the botanical composition, dry matter yield and potential production efficiency of the pasture in the foothills of Slovakia. The experiment was set up on grazing areas for sheep of the agricultural farm RD - Hron Slovenská Lupča in Ráztoka. The pasture was grazed in five cycles during the growing season. Oversowing of grass/clover mixture reduced the occurrence of herbs and increased the coverage of sown species, which led to an improvement in the nutritional value of the pasture. From the point of view of dry matter yield and potential production efficiency, oversown grassland showed statistically significantly higher dry matter yield and potential PMPPDI compared to the original pasture in all monitored years.

**Keywords:** botanical composition, feed value, grasslands, indicators of quality and nutritional value of herbage

### **Úvod**

Trávne porasty primárne slúžia ako najdôležitejší obnoviteľný zdroj potravy v potravovom reťazci hospodárskych zvierat (Novák, 2004). Okrem produkcie, trávne porasty z hľadiska celospoločenských úžitkov, prispievajú najmä k zachovaniu biodiverzity, regulácii klímy, čistote vody, úrodnosti pôdy a podpore kolobehu vody a živín v ekosystéme. Trávne porasty tvoria produkciu počas celého vegetačného obdobia a poskytujú polobielkovinový krm s vyrovnaným pomerom dusíkatých látok a cukrov (Bíro et al., 2009).

Pre zlepšenie produkčného potenciálu, kvality krmu a botanického zloženia trvalých trávnych porastov je potrebná obnova trávneho porastu. Prísevom je možné doplniť nové produkčnejšie a kvalitnejšie druhy do pôvodného trávneho porastu. Najväčší význam sa v súčasnej dobe prisudzuje prísevom ďatelinotravných miešaniak, vďaka ich vysokej produkcii, vysokej kvalite krmu, rovnomernému rozloženiu produkcie v priebehu roka a schopnosti symbiotickej fixácie dusíka. Problematikou prísevu do trávnych porastov sa zaoberali Kohoutek et al. (2006), Boberfeld a Hrabě (2006), Müller et al. (2008). Zmyslom bezorebného prísevu, ako ekologicky šetrnej technológie, je okrem skvalitnenia druhového zloženia aj vytvorenie podmienok na zahustenie mačiny a zamedzenie zaburinenosti (Novák, Kubinec, 2002). Loreau et al. (2002, 2010) uvádzajú, že miešanky vedia lepšie reagovať na variabilitu klímy a vykazujú lepšiu odolnosť voči teplotnému stresu. Tieto vlastnosti prejavujú najmä miešanky s hlboko koreniacimi ďatelinovinami, ktoré lepšie využívajú vodu z hlbších vrstiev pôdy. Kombinácia tráv a ďatelinovín poskytuje zvieratám krmivo s vyváženým obsahom cukrov a bielkovín, pre chovateľov zabezpečuje vyššie a stabilnejšie úrody sušiny v porovnaní s monokultúrami (Elgersma a Sjøgaard, 2018). Pozitívna interakcia medzi druhmi vedie k vyššej produktivite (Tilman et al., 2014). Biologická diverzita udržiava rovnovážny stav ekosystému. Každý druh v ekosystéme zohráva dôležitú úlohu a práve ich kombinácia poskytuje ekosystému schopnosť predchádzať katastrofám alebo po nich regenerovať (Kanianska et al., 2016).

Cieľom príspevku je hodnotenie vplyvu prísevu ďatelinotrávnej miešanky na botanické zloženie, produkciu sušiny a potenciálnu produkčnú účinnosť pasienkového porastu v pasienkovom chove oviec.

### Materiál a metodika práce

Hodnotenie vybraných parametrov sa realizovalo na pasienkovom poraste v katastri obce Ráztoka v rokoch 2019-2021. Lokalita sa nachádza **na okraji Národného parku Nízke Tatry** v nadmorskej výške 547 m n.m. (48°49'4.19"S, 19°23'23.76"V), okres Brezno. Prevládajúcim pôdnym typom je kambizem a pôdu môžeme charakterizovať, ako ťažkú ílovito-hlinitú. Do experimentu boli zaradené dva varianty (veľkosť sledovanej plochy jedného variantu - 1ha). Variant 1: prísev ďatelinotrávnej miešanky (ĎTM) zloženej z *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Festulolium* festukoidného typu, *Festulolium* lolioidného typu, *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis*. Výsevok ďatelinotrávnej miešanky bol 36 kg.ha<sup>-1</sup> (z toho 4 kg.ha<sup>-1</sup> ďatelinoviny, 8 kg.ha<sup>-1</sup> *Festulolium* festukoidného typu, 8 kg.ha<sup>-1</sup> *Festulolium* lolioidného typu, 16 kg.ha<sup>-1</sup> ostatné trávne druhy). Variant 2 predstavoval pôvodný pasienkový porast. Zápis druhového botanického zloženia porastu (k dispozícii u autorov príspevku), sa vykonával každoročne v jarnom období, metódou redukovanej projektívnej dominancie podľa Klappa (1965). V termínoch využívania (pasienkových cykloch) sa na každom variante uskutočnil zápis agrobotanických skupín a odber rastlinných vzoriek z plochy 1 m<sup>2</sup> v dvoch opakovaniach na stanovenie produkcie sušiny.

Z odobratých priemerných vzoriek zelenej fytomasy (cca 500 g) sa pri laboratórnej analýze stanovil obsah: sušiny, dusíkatých látok (NL), vlákny, acidodetergentnej vlákny (ADV) a neutrálnedetergentnej vlákny (NDV), podľa pokynov, uvedených vo Výnose Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky č. 2145/2004-100, ktorým sa mení a dopĺňa výnos č. 1497/1/1997-100 o úradnom odbere vzoriek a o laboratórnom skúšaní a hodnotení krmív. Na základe laboratórne stanoveného obsahu živín sa podľa rovníc uvedených vo Výnose Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky č. 2145/2004-100 vypočítala výživná hodnota (PDI, NEL). Potenciálna produkčná účinnosť porastu vyjadrená produkčným mliekovým potenciálom (PMP) v kg FCM (mlieko korigované na 4 % tuku) sa pre PMP<sub>NEL</sub> a PMP<sub>PDI</sub> stanovila výpočtom (NEL/3,13 a PDI/50). Získané výsledky boli spracované metódou viacfaktorovej analýzy rozptylu ANOVA použitím *Tukeyovho HSD testu* pri hladine preukaznosti rozdielov  $\alpha = 0,05$ .

### Výsledky a diskusia

Botanické zloženie pasienkového porastu na experimentálnej ploche bolo výrazne ovplyvnené vegetačným obdobím (poradím pasienkových cyklov) a prísevom (tabuľka 1). Počas vegetačného obdobia boli odlišné trendy vo vývoji botanického zloženia medzi prisiatym a pôvodným trávny porastom. Významné zmeny zastúpenia agrobotanických skupín v pasienkových porastoch za sledované vegetačné obdobia nastali medzi 1. a 3. pasienkovým cyklom (obrázok 1). V porovnaní s 1. pasienkovými cyklami sa v 2. pasienkových cykloch u oboch variantov pokryvnosť tráv znížila a zvýšila sa pokryvnosť skupiny bylín, ktorá dosiahla maximum pri oboch variantoch v 3. pasienkových cykloch (29,50 % - 1. variant, 36,33 % - 2. variant). Rozdiely v zastúpení skupiny bôbovítých medzi jednotlivými pasienkovými cyklami boli výraznejšie v pôvodnom poraste oproti porastu s prísevom (obrázok 1). Počas doby trvania experimentu sa prisievajúci porast charakterizoval vyššou stabilitou pokryvnosti sledovaných agrobotanických skupín počas celej pasienkovej sezóny.

V pôvodnom trávnom poraste dominovala počas vegetačného obdobia skupina tráv s najvyšším zastúpením druhov: *Festuca rubra*, *Avenula pubescens*, *Trisetum flavescens*. Na poraste 1. variantu sa vplyvom prísevu zmenilo botanické zloženie, znížilo sa zastúpenie

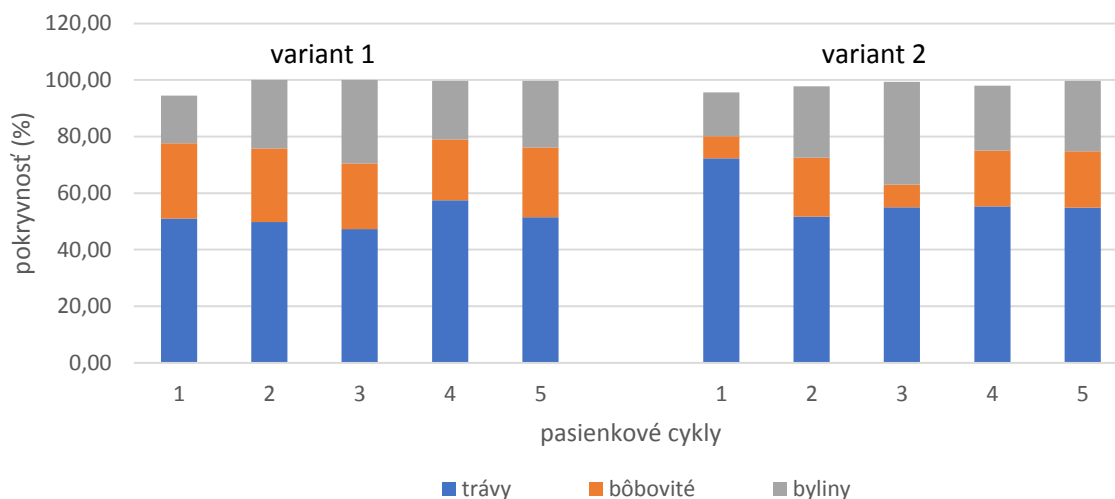
skupiny tráv ( $r = -0,49^{++}$ ) a bylín ( $r = -0,18^-$ ). Zaznamenali sme plošné rozširovanie kultúrnych druhov tráv

**Tabuľka 1.** Priemerná pokryvnosť agrobotanických skupín

Priemerné hodnoty		Trávy	Bôbovité	Byliny
		%		
rok	1	54,00	18,30	26,25
	2	53,95	22,35	21,55
	3	55,95	18,85	24,10
cyklus pasenia	1	61,67	17,25	16,17 <sup>a</sup>
	2	50,75	23,42	24,75 <sup>ab</sup>
	3	51,17	15,58	32,92 <sup>b</sup>
	4	56,42	20,58	21,83 <sup>ab</sup>
	5	53,17	22,33	24,17 <sup>ab</sup>
variant	1	51,43	24,40 <sup>b</sup>	22,93
	2	57,83	15,27 <sup>a</sup>	25,00
Hd (rok)		11,66	9,50	9,66
Hd (cyklus)		17,78	14,48	14,73
Hd (variant)		7,86	6,40	6,51

Hodnoty s rozdielnymi písmenami malej abecedy označujú preukaznosť rozdielov ( $P < 0,05$ )

*Lolium multiflorum*, *Lolium perenne* a *Festulolium*. Pozitívny vplyv prísevu sa potvrdil aj v zvýšení pokryvnosti bôbovítých druhov ( $r = 0,72^{++}$ ) s dominanciou *Trifolium pratense* a *Trifolium repens*.



**Obrázok 1.** Rozdiely pokryvnosti agrobotanických skupín v pasienkových cyklov

Odhadovou metódou na základe botanického zloženia, je možné stanoviť kvalitu krmu (Novák, 2000, 2004). Hodnotenie kvality trávneho porastu má význam, pretože pomerne vysoký podiel burinových druhov a prázdnych miest významne znižujú kvalitatívnu hodnotu porastu. Na oboch pasienkových porastoch sme zaznamenali výskyt hodnotných druhov bylín (*Achillea millefolium*, *Alchemilla vulgaris*, *Crepis capillaris*, *Daucus carota*, *Leontodon autumnalis*, *Pimpinella major*, *Taraxacum officinale*), ktoré zlepšujú krmnú hodnotu a kvalitu krmu. Mnohé pasienkové byliny sú liečivými rastlinami (Kováč a Kováčová, 2001; Pahlow, 2001). Účinné liečivé látky nachádzajúce sa v rôznych nadzemných častiach rastlín pri príjme

zvieratami v malých množstvách vykazujú priaznivé dietetické účinky na trávenie, metabolizmus a ich zdravotný stav.

Produkcija sušiny je determinovaná vlastnosťami komponentov trávneho porastu, podmienkami stanovišťa a poveternostnými podmienkami. Rozhodujúcimi faktormi hospodárskeho výnosu trávneho porastu potom sú prirodzená úrodnosť pôdy, úroveň výživy, floristické zloženie, počet a termín kosieb, priebeh počasia na jar a počas vegetačného obdobia, najmä dažďových zrážok a zloženia zmesi pri obnove alebo príseve (Fiala et al., 2007). Veľkosť primárnej produkcie nadzemnej fytohmoty je výsledkom fotosyntetickej aktivity listovej plochy porastu za určité časové obdobie, ktorá interaguje nielen s podmienkami lokality (pôda, vlhkosť, teplota), ale aj so vzájomnými vzťahmi medzi rastlinami v poraste (Hopkins et al., 1990; Gibson, 2009). Na produkciu sušiny sledovaných trávnych porastov mali preukazný vplyv všetky hodnotené faktory: rok pokusu, vývoj porastov v pasienkových cykloch a prísev (tabuľka 2). Preukazne vyššia produkcia sušiny bola zaznamenaná v prvých dvoch pasienkových cykloch a na variante s prísevom d'atelinotrávnej miešanky vo všetkých pokusných rokoch. *Festulolium* lolioidného typu sa v porastoch uplatní a zabezpečuje produkciu v prvých rokoch, v ďalších rokoch v súčinnosti s podmienkami stanovišťa i počasia zabezpečí zapojenosť, vytrvalosť aj produkčnú schopnosť porastu *Festulolium* festukoidného typu (Ilavská et al., 2016).

**Tabuľka 2.** Priemerná produkcia sušiny, obsah živín a produkčný mliekový potenciál pasienkového porastu

Priemerné hodnoty	Produkcija t.ha <sup>-1</sup>	Sušina g.kg <sup>-1</sup>	NL	Vláknina ADV	Vláknina NDV	PMP <sub>NEL</sub>	PMP <sub>PDI</sub>	
			g.kg <sup>-1</sup> sušiny			kg FCM		
rok	1	1,67 <sup>b</sup>	275,31 <sup>a</sup>	135,11	310,40	484,79	1,61 <sup>a</sup>	1,72
	2	1,12 <sup>a</sup>	297,42 <sup>b</sup>	138,79	329,24	514,26	1,62 <sup>ab</sup>	1,77
	3	1,15 <sup>a</sup>	298,07 <sup>b</sup>	130,67	320,36	507,87	1,63 <sup>b</sup>	1,66
cyklus pasenia	1	1,74 <sup>b</sup>	284,74 <sup>a</sup>	143,84 <sup>b</sup>	275,66 <sup>a</sup>	475,69	1,64 <sup>b</sup>	1,83 <sup>b</sup>
	2	2,27 <sup>b</sup>	279,81 <sup>a</sup>	121,80 <sup>a</sup>	344,22 <sup>c</sup>	523,43	1,61 <sup>ab</sup>	1,55 <sup>a</sup>
	3	0,77 <sup>a</sup>	281,03 <sup>a</sup>	128,70 <sup>ab</sup>	329,10 <sup>bc</sup>	497,02	1,62 <sup>ab</sup>	1,64 <sup>ab</sup>
	4	0,96 <sup>a</sup>	320,37 <sup>b</sup>	132,66 <sup>ab</sup>	343,05 <sup>c</sup>	527,48	1,62 <sup>ab</sup>	1,69 <sup>ab</sup>
	5	0,82 <sup>a</sup>	285,38 <sup>a</sup>	147,29 <sup>b</sup>	307,96 <sup>b</sup>	487,9	1,60 <sup>a</sup>	1,87 <sup>b</sup>
variant	1	1,52 <sup>b</sup>	279,82 <sup>a</sup>	141,32 <sup>b</sup>	312,74 <sup>a</sup>	490,95	1,62	1,80 <sup>b</sup>
	2	1,10 <sup>a</sup>	300,72 <sup>b</sup>	128,40 <sup>a</sup>	327,26 <sup>a</sup>	513,66	1,63	1,63 <sup>a</sup>
Hd (rok) 0,05	0,49	21,58	13,07	19,74	42,08	0,02	0,17	
Hd(cyklus)0,05	0,74	32,91	19,93	30,10	64,16	0,03	0,25	
Hd(variant)0,05	0,33	14,54	8,81	13,30	28,36	0,01	0,11	

Hodnoty s rozdielnymi písmenami malej abecedy označujú preukaznosť rozdielov (P < 0,05)

Objemové krmivá sú všeobecne krmivá charakteristické priemernou výživnou hodnotou a stráviteľnosťou (Šimko et al., 2019). Pasienkové porasty predstavujú zmes d'atelinovín, tráv a bylín, s rozdielnou výživnou hodnotou. Ich botanické zloženie ovplyvňuje koncentráciu vlákniny, energie a ich stráviteľnosť. Pri d'atelinotravných miešankách je d'atelina lúčna v trávnom poraste zdrojom dusíkatých látok (NL). Trávy majú v porovnaní s d'atelinovinami nižší obsah NL, ale vyšší obsah tuku a vlákniny, a tým aj vyššiu energetickú hodnotu. Starutím porastu sa zvyšuje podiel stebiel k listom, čím sa celkovo zvyšuje aj obsah vlákniny v celej rastline a klesá obsah NL (Gregorová et al., 1998). Prísev d'atelinotrávnej miešanky do pôvodného pasienkového porastu preukazne zvýšil obsah NL ( $r = 0,42^{++}$ ) a znížil obsah zložiek vlákniny ADV ( $r = -0,23^{-}$ ) a NDV ( $r = -0,27^{+}$ ), čo dávame do súvisu so zmenami

v botanickom zložení porastu (zvýšenie zastúpenia skupiny bôbovitých a zníženie pokryvnosti trávnych druhov).

Potenciálna produkčná účinnosť PMP<sub>PDI</sub> variantu s prísевom d'atelinotrávnej miešanky bola v priemere pokusných rokov o 0,17 kg FCM vyššia, ako produkčná účinnosť kontrolného variantu bez prísевu (tabuľka 2).

### Záver

Prísев d'atelinotrávnej miešanky do pasienkového porastu zmenil pomer agrobotanických skupín v poraste. Oproti pôvodnému porastu sa na variante s prísевom zvýšilo zastúpenie hodnotných trávnych druhov a bôbovitých a preukazne sa znížil podiel málo hodnotných bylín. Na variante s prísевom d'atelinotrávnej miešanky bola zaznamenaná vyššia priemerná produkcia sušiny v pasienkovej sezóne o 0,42 t.ha<sup>-1</sup> oproti pôvodnému porastu. Pozitívny vplyv prísевu sa prejavil aj zvýšením potenciálnej produkčnej účinnosti porastu. Vo všetkých sledovaných rokoch, boli oproti pôvodnému porastu, zaznamenané vyššie hodnoty PMP<sub>PDI</sub> na poraste s prísевom d'atelinotrávnej miešanky.

### Pod'akovanie

Tento prísевok bol spracovaný vďaka podpore RPVV „Environmentálne prínosy inovatívnych stratégií obhospodarovania trávnych porastov a využitia krajiny“, financovaného z kontraktu 1092/2022/MPRVSR–930.

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

### Literatúra

- Bíro, D. et al. 2009. Výživa zvierat. 2. prepracované vydanie, Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2009, 173 s., ISBN 978-80-552 - 0321-8.
- Boberfeld, O., Hrabě, F. 2006. Regenerace pastevního porostu bezorebným prísевem. In Sborník z mezinárodního semináře „Ekologické aspekty pastvy v českých a rakouských vyšších výrobních oblastech“, MZLU v Brne, 17-20.
- Elgersma, A., Søgaard, K. 2018. Changes in nutritive value and herbage yield during extended growth intervals in grass–legume mixtures: Effects of species, maturity at harvest, and relationships between productivity and components of feed quality. *Grass and Forage Science*, 73, 78-93. DOI: 10.1111/gfs.12287.
- Fiala, J., Kohoutek, A., Klír, J. 2007. Výživa a hnojení travních a jetelovinatrných porostů. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2007. 40s. ISBN 978-80-87011-25-6.
- Gibson, D. J. 2009. Grasses and grassland ecology. Oxford University Press: Oxford and New York 2009, 305 p. ISBN 978-0-19-85919-4
- Gregorová, H., Holúbek, R., Jančovič, J., Malý, O., Novák, J., Slamka, P., Šimko, M. 1998. Krmovínárstvo. 2. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 251 pp.
- Hopkins, A. et al. 1990. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen. 1. Herbage production and herbage quality. In *Grass and Forage Science* 45 (1), 1990, p. 43 – 55.
- Ilavská, I., Jančová, M., Britaňák, N., Hanzes, L., Pollák, Š. 2016. Možnosti pestovania medziodových hybridov tráv v horskej oblasti. In *Lúkarstvo a pasienkarstvo na Slovensku*, roč. 10, č. 2, s. 52-56. ISSN 1337-589X.
- Kanianska, R., Jaďud'ová, J., Makovníková, J., Kizeková, M., Tomaškin, J. 2016. Biodiverzita ako predpoklad plnenia ekosystémových služieb. In *Ekosystémové služby*. 244 s. ISBN 978-80-557-1129-4.
- Kováč, P. - Kováčová, M. 2001. Receptár liečivých rastlín v zverolekárstve. Vydavateľstvo VA PRINT, Nitra
- Klapp, E. 1965. Grünlandvegetation und Standort. Verlag Paul Parey - Berlin und Hamburg, 1965.
- Kohoutek, A. et al. 2006. Prísевy jetelovin a trav do trvalých travních porostů. Praha: VÚRV, v.v.i., 40s. ISBN 978-80-87011-19-5.
- Loreau, L., Naeem S., Inchausti, P. 2002. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives. (Reprint 2007) Oxford University Press: Oxford, 294 p., ISBN 978-0-19-851571-5.
- Loreau, M. 2010. Linking biodiversity and ecosystems: towards a unifying ecological theory. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 365: 49-60.



**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravínárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

- MP SR 1997. Výnos č. 1497/1/1997-100 o úradnom odbere vzoriek a o laboratórnom skúšaní a hodnotení krmív. In *Vestník Ministerstva pôdohospodárstva SR*, roč. 30, 1997, čiastka 11, s. 586.
- MP SR 2004. Výnos Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky z 23. augusta 2004 č. 2145/2004-100, ktorým sa mení a dopĺňa výnos Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky zo 7. októbra 1997 č. 1497/4/1997-100 o úradnom odbere vzoriek a o laboratórnom skúšaní a hodnotení krmív v znení výnosu Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky z 12. februára 2003, č. 149/2/2003-100.
- Müller, M., Hrabě, F. 2008. Vplyv bezorebného prísevu na výnosy a botanické složení pastevního porostu (Effect of owersowing on yields and botanical composition of pasture sward). *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun* : sborník Mendelovy zemědělské a lesnícké univerzity v Brně 2008, LVI, No. 4, pp. 127–134.
- Novák, J. 2000. Ekosystémy krmovín. Ochrana biodiverzity. SPU, Nitra, ISBN 80-7137-734-1
- Novák, J, Kubinec, J. 2002. Ekologicky celoročný chov dobytka bez ustajnenia na horských pasienkoch. In *Slovenský chov*, 11, 26-28.
- Novák, J. 2004. Evaluation of grassland quality. In *Ekológia*, vol. 23, 2004, no.2, pp.127-143. ISSN 1335-342X.
- Pahlow, M. 2001. *Das grosse Buch der Heilpflanzen*. Verlagsgruppe Weltbild GmbH Augsburg,
- Šimko, M., Gálik, B., Juráček, M., Bíro, D., Rolinec, M., Hanušovský, O. 2019. Kŕmenie prežúvavcov a neprežúvavcov. Vyd. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 439 s. ISBN 978-80-552-2139-7.
- Tilman, D., Isbell, F., Cowles, M. 2014. Biodiversity and ecosystem functioning. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45: 471- 439.

## Potenciál nutričnej hodnoty horských pasienkov počas pastevnej sezóny v Národnom parku Veľká Fatra

The nutritional value potential of mountain pastures during the grazing season in Veľká Fatra National Park

**Stela JENDRIŠÁKOVÁ**

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica, Slovenská republika

### Abstract

The decree of the Ministry of Culture from December 1973 declared the Velka Fatra Protected Landscape Area and at the same time the scope of agricultural activities was defined, the grazing of farm animals was gradually prohibited and then tall grass spread, vegetation became thinner and the danger of avalanches increased (40-200 avalanches occur annually). In order to protect the preserved ecosystems in this area, the Velka Fatra National Park was established in 2002 and animals were allowed to graze. Mountain pastures rich in rare plant communities occupy an area of more than 2000 ha in the Velka Fatra National Park and are characterized by a great variety of species. The analysis of organic and inorganic nutrients of forage samples from pastures was a factor that allowed the prediction of the nutritional value of pastures in two grazing cycles of the grazing season. The differences in the content of monitored parameters in the feed of samples from mountain pastures were not statistically significant at the level of significance  $P < 0.05$ .

**Keywords:** biotop, grassland, nutritive value, pasture, protected areas

### Úvod

Návrat k pasienkovému spôsobu hospodárenia na vysokohorských travinno – bylinných porastoch, ktoré boli v minulosti tradičnými pasienkami v súčasnosti narastá v súvislosti s ochranou a zachovaním týchto ekosystémov a zároveň aj postupnými zmenami klimatických pomerov. V súčasnosti je v Národnom parku Veľká Fatra (NPVF) povolená pastva mladého dobytka a oviec, ale poľnohospodári túto možnosť veľmi nevyužívajú. Pastevný chov jalovic bude podporovaný v rámci intervencie uvedenej v Strategickom pláne SPP na roky 2023 – 2027 (CAP Strategic Plan 2023-2027 – SLOVAKIA). Chov zvierat na pasienku má prispievať aj k ochrane klímy a zníženiu znečistenia ovzdušia vo vzťahu k emisiám amoniaku. Zníženie emisií amoniaku je možné dosiahnuť zvýšením podielu času, ktorý zvieratá strávia na pastve. Dôvodom je najmä to, že do pôdy presiakne veľké množstvo moču ešte predtým, ako močovina degraduje a unikne ako amoniak. V podmienkach pre realizáciu pasenia jalovic je uvedené pasenie minimálne od 1.5. do 31.10. (s výnimkou dní s nepriaznivými poveternostnými podmienkami) a zabezpečiť pasenie počas minimálne 150 dní pre jalovice od veku 12 mesiacov. Biocenotické zloženie spásaného ekosystému predstavuje dočasnú rovnováhu a závisí od použitého manažmentu. Len čo sa zmení manažment, zmení sa aj vegetácia pasienkov (SPATZ a PACHRISTOU, 1999). Pôdny kryt vo Veľkej Fatre je výrazne diferencovaný v závislosti od vlastností geologického podkladu, parametrov reliéfu a podnebných zmien. Odlesnenie, spolu s relatívne veľkými úhrnmi zrážok, spôsobili odvápnenie pôd, ktoré viedlo k vzniku kambizemí modálnych so sprievodnými rendzinami vylúhovanými a rendzinami kambizemnými. Na kryštalíniku sa vyvinuli podzoly modálne (ŠÁLY, 2006). Pasienkové porasty majú mnohozložkovú botanickú skladbu, ktorá sa mení v priebehu vegetácie a ich výživná hodnota je v úzkom vzťahu s koncentráciou vlákniny, prítomnosťou lignínu a jeho väzby na celulózu a hemicelulózu (ANTONIEWICZ et al., 1992; ČEREŠŇÁKOVÁ et al., 1996; REEVES, 1987; CHRENKOVÁ et al., 2000).

Neutrálne detergenná vláknina je najpresnejším ukazovateľom štruktúrnych zložiek bunkových stien rastlín a je vo veľmi úzkom korelačnom vzťahu k príjmu sušiny, celkovej aktivite prežúvania a limituje stráviteľnosť živín jednotlivých krmív (ŠIMKO et al., 2010).

### Materiál a metodika práce

Nutričnú hodnotu krmiva z pasienkov sme zisťovali na trávnych porastoch v NPVF v nadmorskej výške nad 1300 m, na plochách pasienkov (obrázok 1) pre dva pasienkové cykly počas vegetačného obdobia. Pasienkové plochy Veľkej Fatry ležia v klimaticky chladnej oblasti. Vo vrcholových častiach Veľkej Fatry sa vyskytuje ročne 180 a viac dní, v ktorých teplota vzduchu klesne pod 0°C a 60 -70 dní s celodenným mrazom. Značné rozpätie v nadmorskej výške Veľkej Fatry sa zreteľne prejavuje aj v množstve zrážok (Atlas krajiny SR). Porasty boli spásané pod dohľadom pastiera a pastierskych psov, postupne po honoch oddelených od seba prirodzenými hranicami, ktoré tvorili rokliny, lesné cesty a chodníky a les. Pasenie jalovic bolo realizované formou honového pasenia: hon č.1 – Kráľova Skala, hon č. 2 pod Krížnou, hon č. 3 - Kráľova Studňa (obrázky 2 - 5).

Na TP sme každoročne pred spásaním zisťovali botanické zloženie TP (% D) metódou redukovanej projektívnej dominancie (KLAPP, 1964). Diagnostické, dominantné a expanzívne taxóny biotopov sme identifikovali podľa Katalógu biotopov Slovenska (2002). Kírmnu hodnotu taxónov (FV) sme určili podľa zoznamu, ktorý uvádza NOVÁK (2008), FV vychádzajú z hodnôt, ktoré uvádzajú KLAPP, BOEKER, KÖNIG a STÄHLIN (1953). Z botanických zápisov sme vykonali hodnotenie kvality trávneho porastu podľa NOVÁKA (2004) na základe vzťahu:  $E_{GQ} = \sum Si \cdot n (D \times FV) / 8$ , kde  $E_{GQ}$  (Evaluation of Grassland Quality) je bonitácia trávneho porastu; Si – rastlinný druh, Sn – počet druhov v botanickom zápise; D – dominancia druhu v %; FV (Feeding Value) je kírmna hodnota druhu; 8 – faktor.

V ďalšom kroku sme každý rok (2019 – 2021) odoberali vzorky na 3 honoch, pokosením plochy 1 x 1 m, v 4 opakovaniach. Odbery vzoriek boli vykonávané po dosiahnutí pasienkovej zrelosti porastov 2 x počas vegetačného obdobia. Zo vzoriek bola po zvážení a vysušení odobratá priemerná vzorka na stanovenie nutričnej hodnoty podľa Výnosu MP SR č. 2145/2004-100 o úradnom odbere vzoriek a o laboratórnom posudzovaní a hodnotení krmív. Vo vzorkách bolo laboratórne stanovené množstvo sušiny, hrubej vlákniny, hrubého proteínu, hrubého tuku, hrubého popola, minerálnych látok (Ca, P, K, Na, Mg), NDV (neutrálne detergenná vláknina) a ADV (acido-detergenná vláknina). Obsah parametrov: ME (metabolizovateľná energia), NEL (netto energie laktácie), NEV (netto energia výkrmu), PDI (skutočne stráviteľný hrubý proteín v tenkom čreve) sme vypočítali pomocou regresných rovníc. Získané údaje boli spracované metódou ANOVA one way pre celkové posúdenie nutričnej hodnoty v dvoch pasienkových cykloch. Na zistenie významných rozdielov sme použili Tukeyov test na hladine významnosti  $P < 0,05$ .

### Výsledky a diskusia

Na porastoch (obrázky 2 - 7) sme v rokoch 2019 až 2021 zaznamenali podiel botanických skupín (graf 1). Zistili sme stabilné zastúpenie skupiny tráv a trávam podobných druhov (75 %). Skupina leguminóz mala najvyššiu prezenciu v roku 2019 (10 %). Zistili sme, že počas experimentu sa stabilne vyskytovali taxóny *Deschampsia caespitosa*, *Briza media*, *Festuca rubra*, *Festuca sp.*, *Poa chaixii*. Na porastoch dominuje *Deschampsia caespitosa*, pričom jej pokryvnosť dosahovala 30 až 50 % v skupine tráv. Z leguminóz mal dominantné zastúpenie *Anthyllis vulneraria*. Zaznamenali sme aj vzácnu *Soldanella carpatica*. V jarnom aspekte na porastoch biotopu dominovali *Anemone narcissiflora* a *Trollius altissimus*, ktoré vytvárali početné kolónie (obrázok 7), a preto porast nespĺňal legislatívnu podmienku Prílohy č. 7 Nariadenia vlády č. 439/2006 Z. z., pre hospodárske krmivá, podľa ktorej nesmú obsahovať prímies škodlivých a jedovatých rastlín a prímies menejhodnotných a nehodnotných rastlín v

nich môže byť najviac 60 %. Počas vegetačného obdobia sme v bonitácii TP zistili klesajúci trend, ale hodnota  $E_{GQ}$  bola počas vegetačného obdobia v rámci limitu  $E_{GQ}$  25 – 50 (porast málo hodnotný až menej hodnotný).

Analýza organických a anorganických živín vzoriek krmiva z pasienkov bola faktorom, ktorý umožnil predikciu výživnej hodnoty krmív pasienkov. V práci sme mali za cieľ posúdenie nutričnej hodnoty krmiva, konkrétne parametrov: sušina, popol, Ca, P, K, Mg, Na, hrubá vláknina, ADV, NDV, N- látky, PDI, ME, NEL a NEV v dvoch pasienkových cykloch pastevného obdobia. ZEMAN a kol. (1995), uvádza v 1. pasienkovom cykle: priemerný obsah sušiny  $185,00 \text{ g.kg}^{-1}$ , hrubej vlákniny  $200 \text{ g.kg}^{-1}$ , lignínu  $45,0 \text{ g.kg}^{-1}$ , PDI  $93,40 \text{ g.kg}^{-1}$ , ME  $9,84 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , NEL  $5,83 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , NEV  $5,72 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a v 2. pasienkovom cykle obsah sušiny  $180,00 \text{ g.kg}^{-1}$ , hrubej vlákniny  $221,60 \text{ g.kg}^{-1}$ , lignínu  $49,90 \text{ g.kg}^{-1}$ , PDI  $102,10 \text{ g.kg}^{-1}$ , ME  $10,26 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , NEL  $6,12 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , NEV  $6,05 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Z našich výsledkov vyplýva, že čerstvé zelené krmivo pasienkov obsahovalo väčší podiel viazanej vody, priemerný obsah sušiny bol v prvom pasienkovom cykle  $163,62 \text{ g.kg}^{-1}$  a v druhom cykle  $172,88 \text{ g.kg}^{-1}$ , čo poukázalo na nižší a zároveň aj opačný trend obsahu sušiny v pasienkových cykloch ako uvádza ZEMAN a kol. (1995). Po vyčerpaní uvoľnených živín dochádza k 1 - 2 ročnej depresii v úrodách sušiny, po ktorej nasleduje režim adaptácie porastov novým podmienkam. V nich už variabilitu úrod zapríčiňujú väčšinou klimatické faktory (KRAJČOVIČ, 1997). Spôsob obhospodarovania pasienkov (honové pasienie) nemal štatisticky významný vplyv na parametre nutričnej hodnoty, živín a produkciu sušiny (tabuľky 1 - 3).

**Tabuľka 1.** Štatistické vyhodnotenie priemerného obsahu sušiny a popola ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) nadzemnej fytomasy v rokoch 2019 – 2021

Pasienkový cyklus	n		Sušina	SD	Minimálny obsah	Maximálny obsah		Popol	SD	Minimálny obsah	Maximálny obsah
1.	36	A	163,62	8,55	148,96	178,23	A	82,68	3,60	41,63	123,77
2.	36	B	172,88	9,79	158,22	187,54	B	86,34	3,56	45,29	127,39
p-Value Levene's test for homogeneity of variances			0,7200					0,8693			
One way Anova P < 0,05 (*)											

V tabuľkách uvádzame aritmetický priemer, minimálne a maximálne hodnoty a smerodajnú odchýlku (SD) obsahu živín a produkcie za obdobie 3 rokov experimentu v každom cykle. Prezenziu obsahu vlákniny, frakcií vlákniny a energetickú hodnotu krmiva vyjadrenou NEL, NEV a ME uvádzame na grafe 2 a obsah N – látok a PDI na grafe 3. Preukazné rozdiely v obsahu hrubej vlákniny a frakcií NDV a ADV v krmivách medzi pasienkovými cyklami a ani v rokoch sa nepotvrdili. Priemerný obsah hrubej vlákniny bol v 1. cykle  $252,14 \text{ g.kg}^{-1}$  aj v 2. cykle  $246,02 \text{ g.kg}^{-1}$ ), vyšší, ale naopak obsah v 1. aj 2. pasienkovom cykle krmivo na pasienku malo nižší obsah PDI, ME, NEL, NEV ako uvádza ZEMAN a kol. (1995). T. j. obsah PDI bol v 1. cykle  $66,54 \text{ g.kg}^{-1}$  a v 2. cykle  $71,71 \text{ g.kg}^{-1}$ , ME  $8,64 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ,  $8,82 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , NEL  $4,95 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a  $5,11 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a NEV  $4,51 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a  $4,82 \text{ MJ.kg}^{-1}$  nižší ako uvádza ZEMAN a kol. (1995).

Pri odchove jalovic na pasienku sa musí rešpektovať zmena obsahu živín v trávnom poraste počas vegetácie. Na začiatku pastevného obdobia, keď je porast bohatý na dusíkaté látky, pri nízkom obsahu sušiny a vlákniny, je potrebné jalovice prikrmovať sacharidovými krmivami (siláž, obilné šroty) a suchými objemovými krmivami (seno), (ŠIMKO, et al, 2017).

**Tabuľka 2.** Štatistické vyhodnotenie priemerného obsahu vlákni a frakcií vlákni (g.kg<sup>-1</sup>) nadzemnej fytomasy v rokoch 2019 – 2021

<b>Pasienkový cyklus</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>
<b>n</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
<b>Vláknina</b>	<b>252,14</b>	<b>246,02</b>
Smerodajná odchýlka	20,14	16,90
Minimálny obsah	222,39	216,22
Maximálny obsah	275,82	281,49
Levene's test for homogeneity of variances	B	A
One way Anova P < 0,05 (*), p-Value	0,7074	
	A	B
<b>ADV</b>	<b>293,03</b>	<b>312,86</b>
Smerodajná odchýlka	24,38	26,07
Minimálny obsah	252,57	272,39
Maximálny obsah	333,49	353,31
Levene's test for homogeneity of variances	A	B
One way Anova P < 0,05 (*), p-Value	0,9650	
<b>NDV</b>	<b>468,01</b>	<b>480,06</b>
Smerodajná odchýlka	19,75	9,29
Minimálny obsah	443,28	455,32
Maximálny obsah	49,75	504,79
Levene's test for homogeneity of variances	A	B
One way Anova P < 0,05 (*), p-Value	0,3020	

Priemerný obsah ADV krmiva pasienkov bol 293,03 g.kg<sup>-1</sup> a 312,86 g.kg<sup>-1</sup>, teda je predpoklad, že ADV krmiva z paše bude mať v pasienkovej zrelosti porastu optimálnu úroveň. Acidodetergentná vláknina ADV – je podzložkou NDV a tvorí ju celulóza (45 – 65 %) a lignín (10 – 20 %). NDV poskytuje energiu pre mikrobiálnu syntézu a zaisťuje správnu funkciu bachora (EASTRIDG, 2006).

Priemerný obsah NDV bol v 1. cykle 468,01 g.kg<sup>-1</sup> a v 2. cykle 480,06 g.kg<sup>-1</sup>, teda vyšší ako 45 %. Podiel NDV by nemal klesnúť pod 30 % a prekročiť 45 % v sušine KD. Pri nadmernom zvyšovaní obsahu NDV klesá príjem krmív a živín v KD (PETRIKOVIČ a SOMMER, 2002). Neutrálndetergentná vláknina je najpresnejším ukazovateľom štruktúrnych zložiek bunkových stien rastlín a je vo veľmi úzkom korelačnom vzťahu k príjmu sušiny, celkovej aktivite prežúvania a limituje stráviteľnosť živín jednotlivých krmív (ŠIMKO et al., 2010). Jalovice vo veku 6 mesiacov prijímú denne asi 15 – 20 kg a jalovice staršie ako 1 rok asi 25 – 30 kg pasienkového porastu (ŠIMKO, et al., 2017).

**Tabuľka 3.** Štatistické vyhodnotenie priemerného obsahu N – látok, PDI (g.kg<sup>-1</sup>) a energie krmiva ME, NEL a NEV (MJ.kg<sup>-1</sup>) v rokoch 2019 – 2021

<b>Pasienkový cyklus</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>
<b>n</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
<b>N - látky</b>	<b>115,55</b>	<b>120,79</b>
Smerodajná odchýlka	18,26	12,38
Minimálny obsah	90,54	95,79
Maximálny obsah	140,56	145,8
Levene's test for homogeneity of variances	A	B
One way Anova P < 0,05 (*), p-Value	0,6750	

Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023

<b>PDI</b>	66,54	71,71
SD	8,30	4,42
Min	55,89	61,05
Max	77,19	82,36
Levene's test for homogeneity of variances	A	B
One way Anova P < 0,05 (*), p-Value	0,4410	
<b>ME</b>	<b>8,64</b>	<b>8,82</b>
Smerodajná odchýlka	0,64	0,56
Minimálny obsah	7,67	7,86
Maximálny obsah	9,6	9,78
Levene's test for homogeneity of variances	A	B
One way Anova P < 0,05 (*), p-Value	0,8300	
<b>NEV</b>	<b>4,51</b>	<b>4,82</b>
SD	0,66	0,48
Min	3,59	3,91
Max	5,42	5,74
Levene's test for homogeneity of variances	A	B
One way Anova P < 0,05 (*), p-Value	0,4830	
<b>NEL</b>	<b>4,96</b>	<b>5,11</b>
Smerodajná odchýlka	0,46	0,4
Minimálny obsah	4,26	4,42
Maximálny obsah	5,63	5,79
Levene's test for homogeneity of variances	A	B
One way Anova P < 0,05 (*), p-Value	0,7330	

V krmive vysokohorských pasienkov sme zistili priemerný obsah draslíka a horčíka vyšší ako je optimum a to v obidvoch pasienkových cykloch, naopak vápnik, sodík a fosfor mali nižší obsah (tabuľka č.4).

**Tabuľka 4.** Priemerný obsah minerálnych prvkov v sušine krmiva nadzemnej fytohmoty v rokoch 2019 – 2021

Pasienkový cyklus	Popol g.kg <sup>-1</sup>	P g.kg <sup>-1</sup>	K g.kg <sup>-1</sup>	Na g.kg <sup>-1</sup>	Ca g.kg <sup>-1</sup>	Mg g.kg <sup>-1</sup>
1.	82,68	2,24	26,91	0,27	7,25	3,15
2.	86,34	2,59	17,97	0,36	9,40	3,94

V krmivách z pasienkov bol jednoznačne v najvyšších koncentráciách obsah draslíka, čo je spôsobené vysokým podielom botanickej skupiny tráv. Z minerálnych látok v trávach prevažuje najmä K (ŠIMKO et al., 2017). Neprimerane vysoký obsah draslíka v rastlinách zvyšuje aj nebezpečenstvo pasienkovej tetanie zvierat (ŠÚR et al., 2002). Vzhľadom na fyziologické požiadavky zvierat viacerí autori (KLAPP, 1971; KRAJČOVIČ a kol., 1968; KOVÁČ a kol., 1989; VELICH, 1986) uvádzajú, že kvalitné lúčne seno, ale najmä pasienkový porast, ako hlavný zdroj výživy polygastrických zvierat v horských a podhorských oblastiach, by mal v sušine obsahovať 2,8 – 3,5 g.kg<sup>-1</sup> P, 20 g.kg<sup>-1</sup> K, 5 – 7 g.kg<sup>-1</sup> Ca, 2,5 g.kg<sup>-1</sup> Mg a 2 g.kg<sup>-1</sup> Na. V tabuľke č. 5 uvádzame pomer minerálnych prvkov, ktorých pomer je veľmi dôležitý pre príjem krmiva formou paše. Pomer Ca: P je u tráv užší než u d'atelinovín a pohybuje sa v rozpätí od 1,3 – 2,1:1 (ŠIMKO et al., 2017). Avšak v krmivách z vysokohorských pasienkov sme zistili vyšší podiel vápnika a pomer obsahu minerálov Ca:P

nebol optimálny. Z hľadiska prebytku vápnika je potrebné skrmovať aj adekvátne množstvo fosforečných solí (ŠIMKO et al., 2017).

**Tabuľka 5.** Pomer makroprvkov v sušine krmiva nadzemnej fytomasy v rokoch 2019 – 2021

Pasienkový cyklus	2019		2020		2021	
	Pomer Ca:P Optimum 1:1 až 2:1	Pomer K:Na Optimum (5 – 10) : 1	Pomer Ca:P Optimum 1:1 až 2:1	Pomer K:Na Optimum (5 – 10) : 1	Pomer Ca:P Optimum 1:1 až 2:1	Pomer K:Na Optimum (5 – 10) : 1
1.	3,20 : 1	106,41 : 1	3,61 : 1	102,38 : 1	2,86 : 1	90,00 : 1
2.	4,59 : 1	66,40 : 1	3,14 : 1	57,82 : 1	3,39 : 1	33,51 : 1

### Záver

Z výsledkov práce vyplýva, že rozdiely v obsahu sledovaných parametrov výživnej hodnoty v krmivách z vysokohorských pasienkov počas 3 rokov medzi 1. a 2. pasienkovým cyklom neboli štatisticky preukazné. Nižšie hodnoty PDI, NEV a NEL súvisia s fenologickou fázou bylinnej zložky pasienkov. Fenologická fáza je rozhodujúcim faktorom pre krmnú hodnotu rastlín, a tým aj kvalitu pasienkového porastu. Pasienkovú zrelosť porastov určuje fenologické štádium vývoja tráv, t. j. keď dominantné trávy v poraste ukončujú odnožovanie a začínajú tvoriť stebľa. Práve v tomto štádiu je paša pre zvieratá aj z hľadiska výživy lepšie stráviteľná a vhodná pre zabezpečenie optimálneho príjmu sušiny krmiva zvieratami, lebo rastliny už neobsahujú taký vysoký podiel vody. Existuje predpoklad, že vysokohorské trávne porasty pri dosiahnutí pasienkovej zrelosti poskytnú krmivo na stabilnej úrovni aj v nadmorskej výške 1300,00 – 1345,76 m.

### Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla v rámci úlohy Rezortného projektu: „Environmentálne prínosy inovatívnych stratégií obhospodarovania trávnych porastov a využitia krajiny“, vďaka podpore kontraktu číslo 1092/2022/MPRVSR-930

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

### Literatúra

- Antoniewicz, A. M., Van Vuuren, A.M., Van der Koelen, C. J., Kosmala, J. 1992. Intestinal digestibility of rumen undegraded protein of formaldehyde-treated feedstuffs measured by mobile bag and in vitro technique. Anim. Feed Sci. Technol., 39, 1992, p.111-124.
- Čerešňáková, Z., Chrenková, M., Fľak, P. 1996. Relation of content and composition of cell walls to the in vitro digestibility of dry mater, organic matter and crude protein in roughages. J. Anim. Sci., vol. 29. 1996, p. 153-158.
- Eastridge, M. L. 2006. Major advances in applied dairy cattle nutrition. In Journal of Dairy Science, vol. 89, no. 4, pp. 1311-1323. ISSN 0022-0302.
- Havlík, P., 2006. Ekonomika pastevního chovu. In: Mládek, J., Pavlů, V., Hejzman, M., Gaisler, J., (eds.): Pastva jako prostředek údržby trvalých travních porostů v chráněných územích. Metodická příručka pro ochranu přírody a zemědělskou praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby Praha, s. 84–86.
- Hejzman, M., Pavlů, V., Krahulec, F., 2002. Pastva hospodářských zvířat a její využití v ochranářské praxi. Zprávy Čes. Bot. Společ., Praha, 37: 203–216.
- Chrenková, M., Čerešňáková, Z., Sommer, A. 2000. Efektivna degradovateľnosť a predikcia črevnej stráviteľnosti v bachore nedegradovaných N-látok krmív. Czech J. Anim. Sci., vol. 45, 2000, p.487-491.

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

Krajčovič, V., 1997. Dynamika tvorby paše na poloprirodných trávnych porastoch. In: KRAJČOVIČ, V. a kol. 1968. *Krmovinarstvo*. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry v Bratislave, 1968, 564 s. ISBN 64-032-68.

Reeves, J. B. 1987. Lignin and fibre compositional changes in forages over a growing season and their effects on in vitro digestibility. *J. Dairy Sci.*, 70, 1987, p. 1583-1584

Strategický plán SPP na roky 2023 – 2027 (CAP Strategic Plan 2023-2027 – SLOVAKIA). 2021. Dostupné na: <https://www.apa.sk/legislativa-spp-2023-2027>

Šály, R. 2006. Pôdy alpskeho a subalpskeho stupňa Západných Karpát, Technická univerzita Zvolen, 58 s.

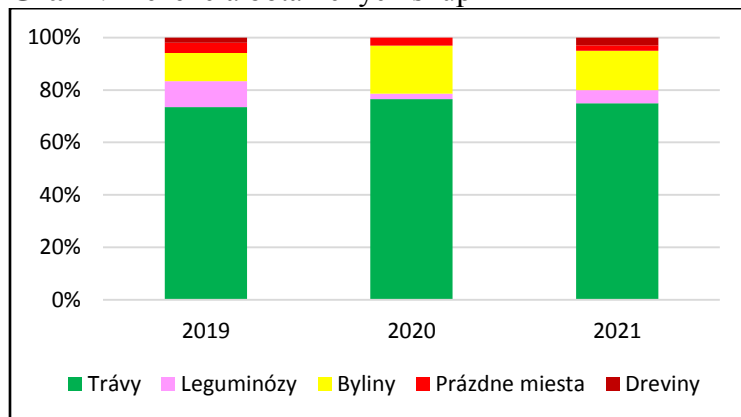
Šimko, M., Bíro, D., Juráček, M. 2017. Kímenie prežúvavcov. Vyd. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 145 s. ISBN 978-80-552-1785-7.

Šimko, M., Čerešňáková, Z., Bíro, D., Chrenková, M., Kopčeková, J., Juráček, Gálik, B. 2010. Sacharidy vo výžive prežúvavcov: vedecká monografia. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2010. ISBN 978-80-552-0337-9.

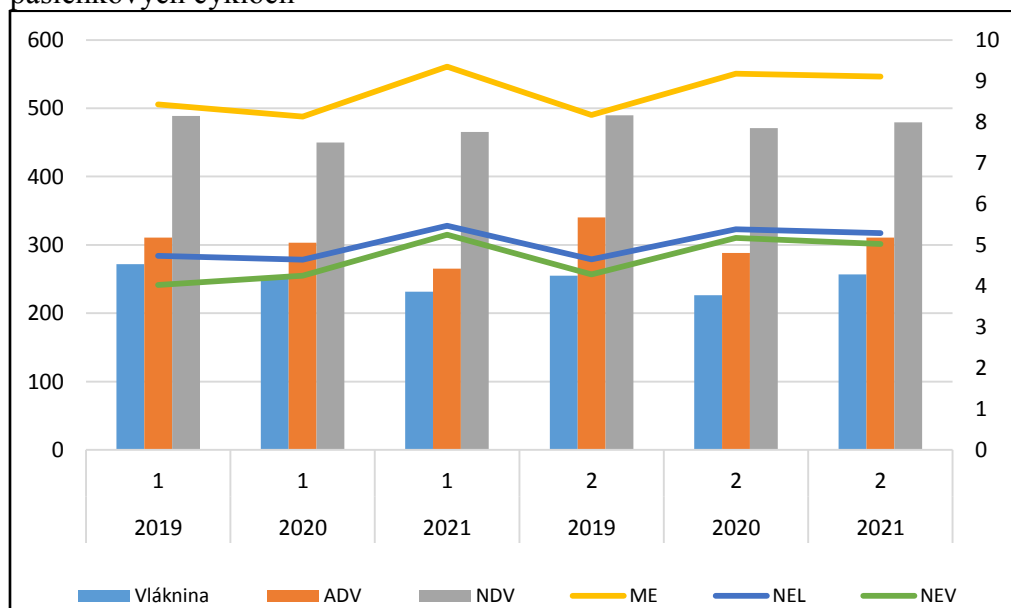
Spatz, G. and T.G. Papachristou. 1999. Ecological strategies of shrubs invading extensified grasslands: their control and use. In: V. Papanastasis, J. Frame and A. Nastis (Editors), *Grasslands and Woody Plants in Europe*. International Symposium, Thessaloniki, May 27-29, 1999. EGF, Vol., 4, Grassland Science in Europe, pp. 27-37.

Zeman, L., Šimeček, K., Krása, A., ŠimekM., Lossmann, J., Třináctý, J., Rudolfová, Š., Veselý, P., Háp, I., Doležal, P., Kračmar, S., Tvrzník, P., Michele, P., Zemanová, D., Šiške, V. 1995. Katalog krmiv (Tabulky výživné hodnoty krmiv). 1. vyd. Pohořelice: VÚVZ Pohořelice, 1995. 465 s. ISBN 80-901598-3-4.

**Graf 1.** Prezencia botanických skupín

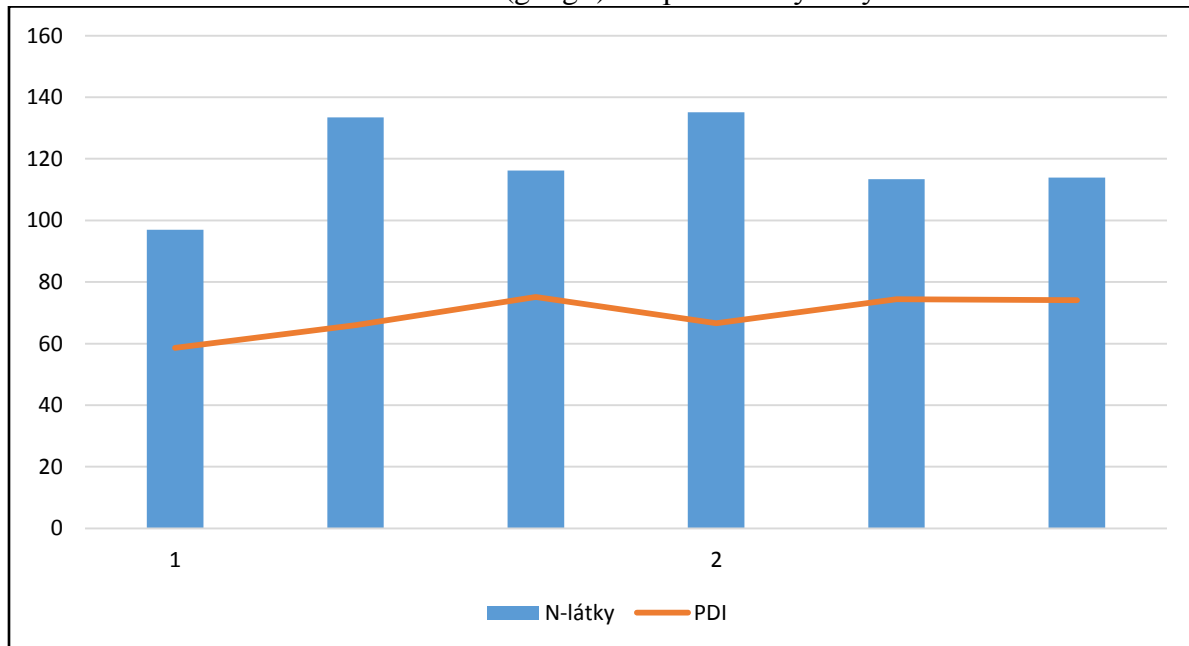


**Graf 2.** Obsah vlákniny a frakcií vlákniny ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) a energie krmiva ( $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) v 2 pasienkových cykloch





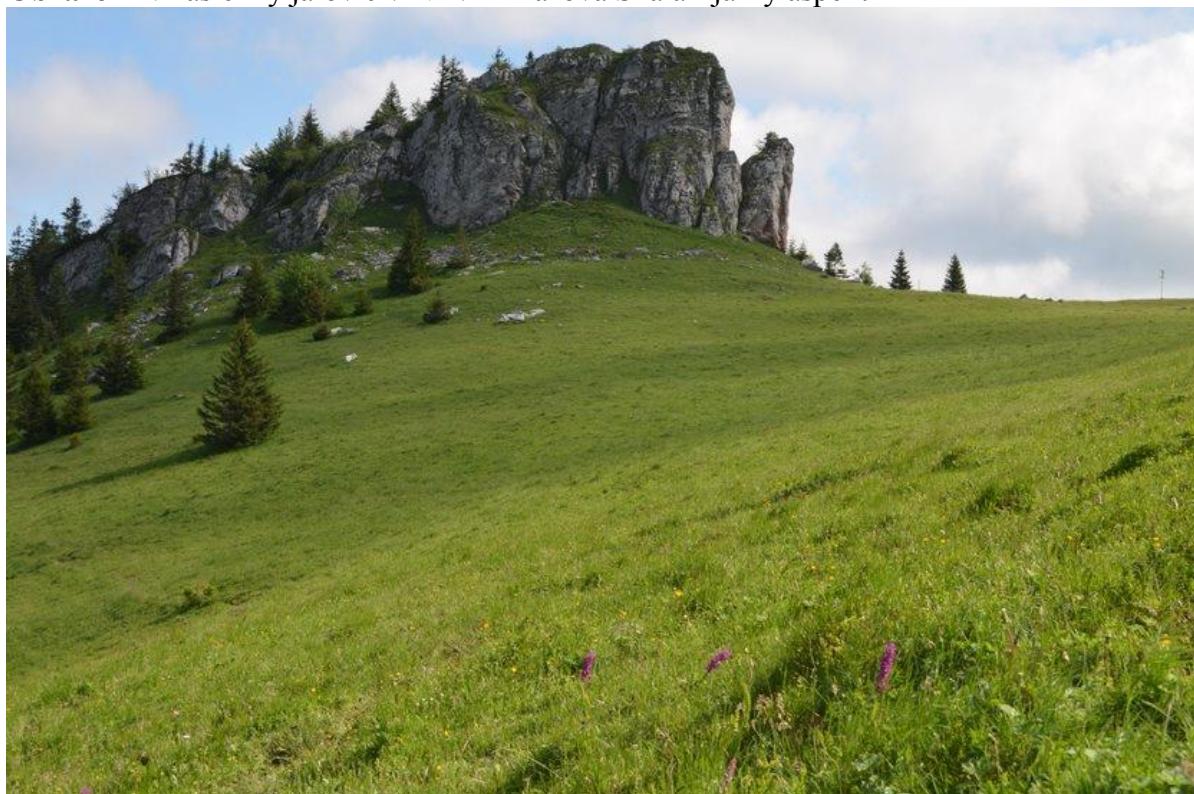
**Graf 3.** Obsah N – látok a obsah PDI ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) v 2 pasienkových cykloch



**Obrázok 1.** Vysokohorské trávne porasty - Národný park Veľká Fatra



**Obrázok 2.** Pasienky jalovic v NPVF Kráľova Skala - jarný aspekt



**Obrázok 3.** Pasienky jalovic v NPVF Kráľova Skala - letný aspekt



**Obrázok 4.** Pasienky jalovic v NPVF - pod Krížnou



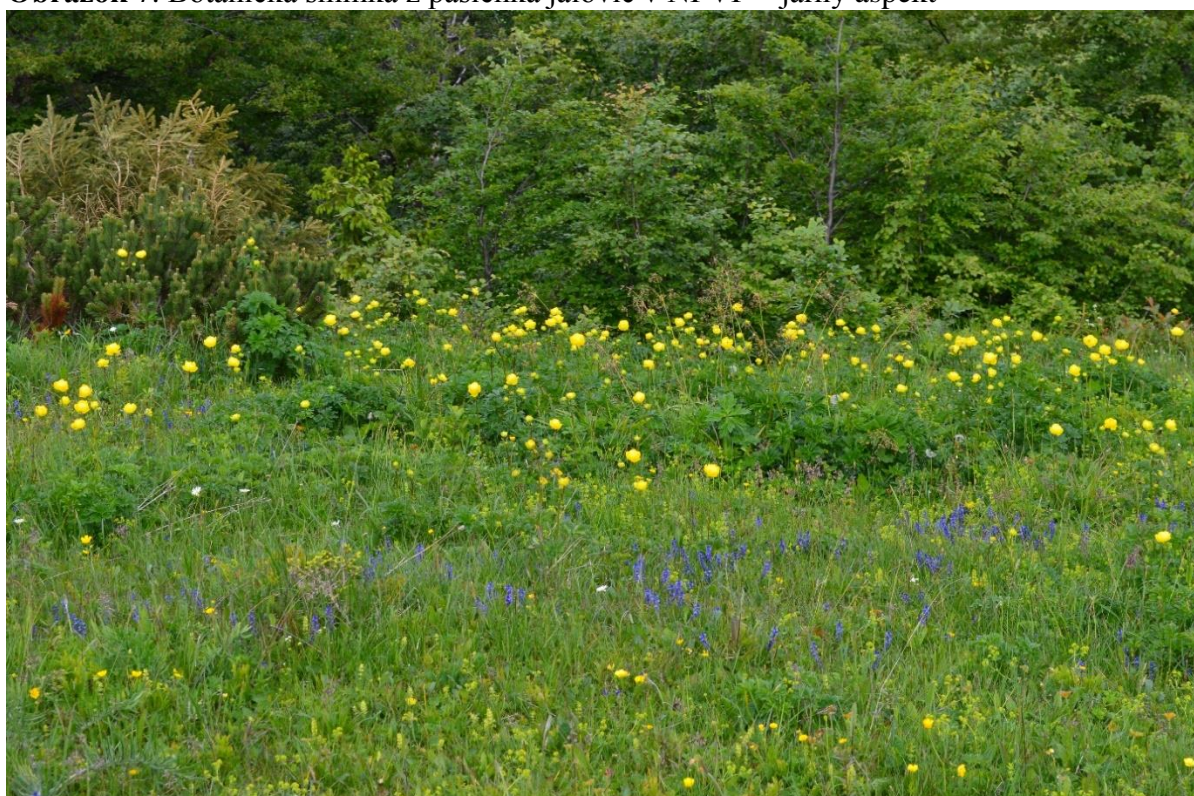
**Obrázok 5.** Pasienky jalovic v NPVF - Kráľova Skala



**Obrázok 6.** Botanická snímka z pasienka jalovic v NPVF – jarný aspekt



**Obrázok 7.** Botanická snímka z pasienka jalovic v NPVF – jarný aspekt



## Monetarizácia emisií z trávnych porastov

Monetization of emissions from grasslands

**Štefan POLLÁK, Mariana JANČOVÁ, Zuzana DUGÁTOVÁ, Miriam KIZEKOVÁ**

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum - Výskumný ústav rastlinnej výroby –  
útvár trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Banská Bystrica, Mládežnícka 36,  
974 32 Banská Bystrica, Slovenská republika

### Abstract

Carbon sequestration by permanent grasslands is one of their ecosystem services. Greenhouse gas emissions and removals in the grassland category were obtained using the IPCC 2006 GL methodology for LULUCF and national data on grassland and land area converted to grassland in 2021. In 2021, the total grassland area was 849,273 ha. It is approximately 17.3% of the total area of Slovakia. In recent years, the capture of CO<sub>2</sub> by grasslands has been dramatically reduced areas. In 2021, -54.94 Gg of CO<sub>2</sub> was captured. The paper documents the decreasing ability of grasses to capture CO<sub>2</sub> and carbon sequestration by individual items from the soil component, through living to dead organic matter. In 2021, at an average emission allowances price of €39.90.t<sup>-1</sup>, the value of the ecosystem service of permanent grasslands for CO<sub>2</sub> sequestration reached € 2,192,008.

**Keywords:** carbon sequestration, emissions, emission allowance price, grasslands

### Úvod

Od nepamäti využíval človek prírodné prostredie a jeho zdroje. Priamo aj nepriamo vplýval na okolité prostredie, na prírodné zložky v priestore aj čase. Charakter pôsobenia sa postupne menil, nešlo už len o krátkodobé, strednodobé a dlhodobé pôsobenie, ale aj priestorové od miestnej, regionálnej až po globálnu mierku. Vzájomné spolupôsobenie prírody a človeka je základom pre koncept ekosystémových služieb (ES). ES sú teda koncepciou na pomedzí prírodných, sociálnych a ekonomických vied (Mederly et al., 2019). Ich vzájomnú dynamiku popisuje Černecký et al. (2020) ako neustále prebiehajúce prírodné procesy, kde zahŕňa sekvestráciu uhlíka, udržiavanie vhodných atmosférických podmienok atď. za ES, ktoré nenahradiťne pomáhajú pri udržiavaní stabilnej klímy na národnej a medzinárodnej úrovni. Zhodnotenie ES regulácie globálnej klímy je nevyhnutným podkladom pre nastavenie udržateľného využívania krajiny. Z hľadiska významu sú na prvom mieste lesné ekosystémy, poľnohospodárska krajina a trávne porasty.

Trvalé trávne porasty ako unikátne komplexy ekosystémov, ktoré zaberajú široké spektrum rôznorodých štruktúr v geografickom priestore sú charakteristické pestrými ekologickými nárokmi. Svojimi funkciami sa významnou mierou podieľajú na stabilite a biologickej diverzite územia. Ich význam z hľadiska absorpcie emisií je značný, aj keď doposiaľ nie exaktne podchytený. Slovenská republika ako členský štát OSN sa prihlásila k rámcovému dohovoru OSN o zmene klímy (UNFCCC) a zaviazala sa okrem iného monitorovať a reportovať každoročne emisie skleníkových plynov produkované v rôznych sektoroch v rámci 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, ktorým sa menia Nariadenia EP a Rady (ES) č. 663/2009 a (ES) č. 715/2009.

Dôležitou súčasťou agendy UNFCCC je sektor LULUCF. Tento sektor zahŕňa všetky skleníkové plyny ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  a  $\text{N}_2\text{O}$ ) a základné znečisťujúce látky z lesných požiarov ( $\text{NO}_x$  a  $\text{CO}$ ). 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), ako sú definované v Marakéšskych dohodách. Okrem toho sa produkty z dreva označované ako produkty z vyťaženého dreva (HWP) vykazujú, ako dodatočná skupina v rámci LULUCF (sektor CRF 4.G). V sektore LULUCF je inventarizácia založená na definícii reprezentatívnych typov kategórií využitia pôdy – lesná pôda (Forest land, FL), orná pôda (Crop land, CL), trávne porasty (Grass land, GL), mokrade (Wetlands), sídla (Settlements, S) a iná pôda (Other Land, OL). Okrem toho sa uvádzajú aj ich časové zmeny. Prvé tri kategórie majú najväčší význam vzhľadom na ich relatívnu veľkosť pokrytia rozlohy Slovenska, ktoré predstavuje viac ako 90 % celého územia. Procesy spojené s využívaním pôdy a zmenami vo využívaní pôdy väčšinou súvisia s bilanciou  $\text{CO}_2$  (IPCC 2006 GL).

Systém obchodovania s emisnými kvótami – European Union Emission Trading Scheme (ETS) - je hlavným nástrojom EÚ pre znižovanie emisií skleníkových plynov. Do systému je aktuálne zapojených viac ako 11 tisíc priemyselných a energetických zariadení, ktoré v EÚ vytvárajú cca 40 % emisií skleníkových plynov. Každá kvóta reprezentuje právo vypustiť 1 tonu emisií ekvivalentu oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) (MŽP, 2022). Prevádzkovatelia zariadení môžu dostať časť kvót bezplatne. Ďalšie kvóty môžu získať kúpou cez primárnu aukciu na základe aktuálnej ponuky zo strany štátov, alebo na sekundárnom trhu kde medzi sebou obchodujú firmy. V priebehu roka prebiehajú jednotlivé aukcie na Európskej energetickej burze (EEX) Bukovina (2021).

### **Materiál a metodika práce**

V živej biomase zostávajúcich trávnych porastov nenastala žiadna zmena podľa prístupu úrovne 1. Tento prístup bol použitý pri odhade emisií/záchytov v tejto kategórii. Nedošlo k žiadnym zmenám v type ani intenzite hospodárenia a biomasa je na trávnych porastoch približne v ustálenom stave (akumulácia uhlíka rastom rastlín je vyvážená stratami pasením, rozkladom a požiarom). Emisie  $\text{CO}_2$  sa považujú za nevýznamné, pretože sa nepredpokladá žiadna zmena v DOM (mŕtva organická hmota) a zásoby uhlíka v pôde (úroveň 1, IPCC 2006 GL). Toto je konzervatívny predpoklad, ak krajina neočakávala významné zmeny v kategóriách alebo režimoch riadenia počas vykazovaného roka.

Každoročne aktualizované priemerné objemy porastových zásob  $\text{BCEFR}$  (0,657 pre ihličnany a 0,853 pre listnaté) a štandardný obsah uhlíka (0,51 pre ihličnaté a 0,48 pre listnaté) boli použité na výpočet zásob uhlíka biomasy v lesnej krajine pred konverziou. Štandardné hodnoty 4,7 t C/ha pre bylinnú nadzemnú a podzemnú biomasu boli použité pre zásobu uhlíka biomasy na trávnych porastoch pred konverziou. Zásoba uhlíka z jednoročného rastu trávnej vegetácie po konverzii je 13,6 t C/ha (z tabuľky 6.4, IPCC 2006 GL).

Odhad emisií DOM zahŕňa emisie zo zmien mŕtveho dreva súvisiacich s premenou lesnej pôdy. Čistá zmena zásob uhlíka v mačine porastu je odhadnutá pomocou úrovne 2 pre konkrétnu krajinu. Vychádza sa z existujúcich súborov údajov z pôdných inventúr a publikovaných informácií (Šály, 1998, Kobza et al., 2002, 2009, 2014, Pavlenda, 2008). Na výpočet čistej zmeny zásob uhlíka v mačine porastu bola použitá stredná hodnota 8,3 t C/ha/rok pre zásoby uhlíka (predstavujúca povrchovú organickú vrstvu). Rovnica 2.23 (IPCC 2006 GL) sa použila na výpočet ročných zmien zásob uhlíka v mŕtvej organickej hmote pre pôdu prepočítanú na ornú pôdu. Na uplatnenie okamžitej oxidácie uhlíka v mačine porastu sa zásoby mačiny porastu v rámci „novej kategórie“ nastavili na nulu a prechodné obdobie na hodnotu jedna. Zmena zásob uhlíka v mačine porastu v každom roku sa vypočítala ako súčet ročných zmien zásob uhlíka pre každú kategóriu spojenú s pôdou prevedenou na trávne

porasty. Výpočet zmeny zásoby uhlíka v minerálnych pôdach bol založený na údajoch z pôdnej inventarizácie so štandardným predpokladom 20-ročného obdobia pre rovnováhu zásoby uhlíka v podmienkach „novej kategórie“. Výpočty zmeny zásob uhlíka v minerálnej pôde v dôsledku konverzií lesnej pôdy a ornej pôdy na trávne porasty boli vykonané podľa IPCC 2006 GL. Na odhad čistých zmien zásob uhlíka v minerálnej pôde sa použili priemerné zásoby uhlíka na hektár. Zásoba uhlíka v pôde bola vypočítaná pre hĺbku 30 cm.

Výpočet zmeny zásoby uhlíka v mačine porastu bol oddelený od výpočtov zmien v pôde. Informácie o zásobách uhlíka v povrchovej organickej vrstve lesných pôd (na základe údajov z inventáru pôdy) sa použili na výpočet zmeny zásoby uhlíka v mŕtvej organickej hmote (lesná pôda prepočítaná na ornú pôdu) so štandardným 20-ročným obdobím pre rovnováhu zásob uhlíka v podmienkach „novej kategórie“. Nasledujúce faktory (priemerná ročná zmena zásoby uhlíka v pôde) boli vypočítané pre rôzne typy konverzie: lesná pôda prepočítaná na trávne porasty -0,704 t C/ha/r, orná pôda prepočítaná na trávne porasty +0,742 t C/ha/r, iná pôda prepočítaná na trávne porasty +1,055 t C/ha/r. Zmena zásob uhlíka v pôde v každom roku sa vypočítala ako súčet ročných zmien zásob uhlíka pre každú kategóriu súvisiacu s pôdou premenenou na trávnaté plochy.

Cieľom príspevku je zhodnotenie ekosystémovej služby TTP prostredníctvom monetarizácie emisií kategórie Grass land sektoru LULUCF podľa metodiky IPCC 2006 GL.

### Výsledky a diskusia

Sumárna výmera trávnatých plôch posledné roky klesá, v roku 2021 predstavovala 849 273 ha, čo predstavuje približne 17,3 % z celkovej rozlohy krajiny. Zmeny v charaktere a využívaní krajiny dlhodobu eviduje Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky. Z týchto údajov sa zostavujú základné jedno a dvadsaťročné zostavy využitia krajiny pre potreby LULUCF. Obhospodarované trvalé trávne porasty (TTP) v roku 2021 predstavovali 506 922 ha. Tieto TTP sú využívané a hospodáriace subjekty na ich výmery zväčša poberajú rôzne podpory. Vývoj výmer obhospodarovaných TTP (tabuľka 1) charakterizuje lineárna rovnica  $y = 988,32x + 841869$  ( $y$  = výmera v ha,  $x$  = rok) ( $R^2 = 0,2013$ ;  $P = 0,01^+$ ).

**Tabuľka 1.** Výmery TTP na Slovensku podľa spôsobu obhospodarovania

TTP	Priemerná hodnota	Smerodajná odchýlka	Variačný koeficient	SE
Zberová plocha (ha) *	509 020	151 529	0,30	21013,32
Úroda (t) *	1 188 978	354 430	0,30	49150,67
Úroda z ha (t) *	2,34	0,62	0,27	0,085
Výmera deklarovaná ÚGKK SR (ha) **	858 176	20 665	0,02	3653,06
Rozdiel výmer (ha) – neobhospodarované plochy **	223 933	158 670	0,71	28052,65
Percento podielu (%) – neobhospodarované plochy **	25,84	18,22	0,71	3,22

ÚGKK SR - Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky

\* údaje za roky (1970-2020) \*\* údaje za roky (1990-2020)

Neobhospodarované TTP v roku 2021 predstavovali 342 351 ha. Tieto plochy TTP sú zanedbávané a opustené, podliehajú zrýchlenej sukcesii. Vývoj výmer neobhospodarovaných TTP v období rokov 1990 – 2021 vyjadruje rovnica  $y = 14233x - 10914$  ( $y$  = výmera v ha,  $x$  = rok) ( $R^2 = 0,7079$ ;  $P < 0,0001^{++}$ ). ( $^+$  rozdiel je štatisticky významný,  $^{++}$  rozdiel je vysoko štatisticky významný).

Bližšiu charakteristiku zmien využitia krajiny dokumentujú ročné zmeny zásob uhlíka v mačine porastu v danom roku, ktoré sa vypočítali ako súčet ročných zmien zásob uhlíka pre každú kategóriu spojenú s pôdou prepočítanou na GL (tabuľka 2).

**Tabuľka 2.** Zmeny využitia krajiny v kha (vybrané kategórie)

Využitie územia	2020 (kha)	2021 (kha)	2022 (kha)	Priemerná hodnota	Smerodajná odchýlka	Variačný koeficient	SE
			MASE				
TTP na Lesnú krajinu*	0,639	0,598	<b>0,674</b> 1,14	0,848	0,510	0,594	0,089
Lesná krajina na TTP*	0,009	0,016	<b>-0,04</b> 0,22	0,119	0,141	1,176	0,025
TTP na Lesnú krajinu**	19,711	19,887	<b>19,781</b> 3,79	16,102	2,087	0,134	0,383
Lesná krajina na TTP**	1,405	1,320	<b>1,178</b> 0,28	3,852	1,470	0,394	0,268

\* za 1 ročné obdobie, \*\* za 20 ročné obdobie

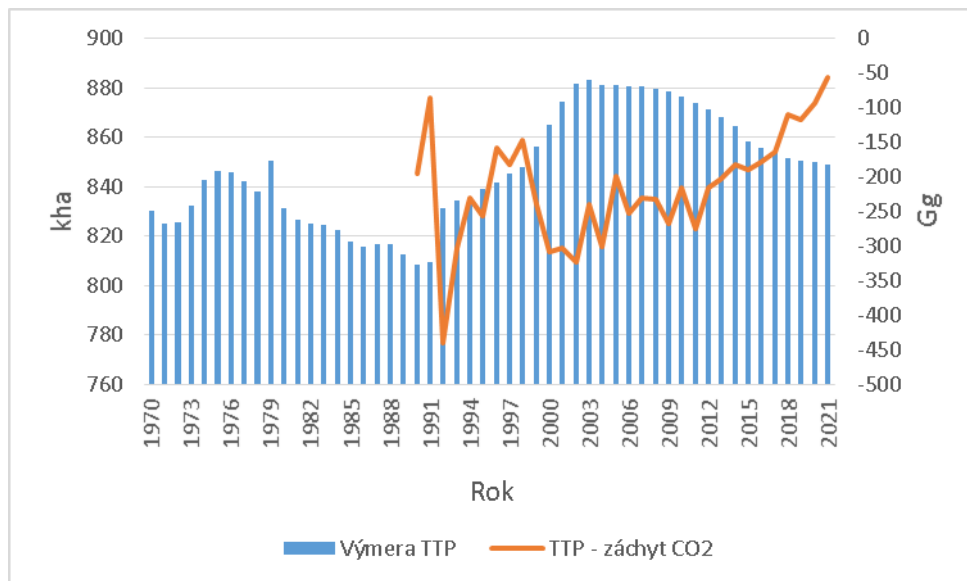
Projekcie hlavných vstupných parametrov - výmery a zmeny vo výmerách v jednotlivých kategóriách využívania krajiny v sektore LULUCF na rok 2021 boli stanovené prostredníctvom funkcie exponenciálneho vyrovnávania MS Excel, v nástroji Prognóza (projekcie dynamické). Interval spoľahlivosti bol nastavený na 95 %. Parameter MASE znamená mieru presnosti predpovede, čím je jej hodnota vyššia, tým je miera predpovede menej presná. Expertný nástroj prezentovaný Prognózami môže poslúžiť ako prvý odhad emisných hodnôt. Keďže je založený na matematických vzorcoch a pracuje s pravdepodobnosťami, má svoje limity o čom nás oboznamuje aj parameter miery presnosti MASE. Proces jednoročnej zmeny lesnej krajiny na TTP je kontinuálne klesajúci, limitne sa blížiaci nule, preto aj matematický odhad na rok 2021 je na úrovni -0,04 s parametrom MASE 0,22. Takto nízka hodnota parametru zvyšuje pravdepodobnosť tejto hodnoty.

Pri jednoročných prevodoch využitia krajiny je zreteľný kontinuálne narastajúci trend straty výmer TTP v prospech lesného fondu ( $y = 0,0259x + 0,4212$ ; ( $y =$  výmera v kha,  $x =$  rok),  $R^2 = 0,2322$ ;  $P = 0,0052^{++}$ ). Naopak pri jednoročných prevodoch využitia krajiny v kategórii lesná krajina premenená na trávne porasty sa sleduje nižší východiskový stav a klesajúci trend až k nulovej úrovni ( $y = -0,0102x + 0,287$ ; ( $y =$  výmera v kha,  $x =$  rok),  $R^2 = 0,4631$ ;  $P < 0,0001^{++}$ ). Výpočet zmeny zásoby uhlíka v minerálnych pôdach bol založený na údajoch z pôdnej inventarizácie so štandardným predpokladom 20 - ročného obdobia pre rovnováhu zásoby uhlíka v podmienkach „novej kategórie“ (tabuľka 2). Dvadsaťročné prevody využitia krajiny v kategórii trávne porasty premenené na lesnú krajinu charakterizuje vyrovnaný trend mierneho nárastu v poslednom desaťročnom období ( $y = 0,0563x + 15,173$ ; ( $y =$  výmera v kha,  $x =$  rok),  $R^2 = 0,0595$ ;  $P = 0,1785$ ). Naproti tomu dvadsaťročné prevody využitia krajiny v kategórii lesná krajina premenená na trávne porasty korelujú s jednoročnými zmenami v danej kategórii. Sledujeme nižší východiskový stav a klesajúci trend ( $y = -0,1368x + 6,1086$ ; ( $y =$  výmera v kha,  $x =$  rok),  $R^2 = 0,7142$ ;  $P < 0,0001^{++}$ ).

Dynamiku zmien výmer TTP na Slovensku od roku 1970 do roku 2021 a stanovené emisie podľa metodiky IPCC: 2006 IPCC Guidelines vyjadrené v kt CO<sub>2</sub> ekvivalentov dokumentuje obrázok 1. Obdobie celospoločenských zmien po roku 1990 sa odrazilo v zmenách výmer aj v záchytoch emisií. Vývoj výmer TTP je charakterizovaný lineárnou rovnicou  $y = 0,9976x + 821,15$ ; ( $y =$  výmera v kha,  $x =$  rok), ( $R^2 = 0,4248$ ;  $P < 0,0001^{++}$ ), ktorá poukazuje na výrazný nárast výmer TTP v deklarovanom období. Napriek zvyšujúcim sa výmerám TTP v



hodnotenom období bol zaznamenaný klesajúci trend množstva záchytovej CO<sub>2</sub> ( $y = 3,5022x - 351$ ; ( $y = kt\ CO_2$ ,  $x = rok$ ),  $R^2 = 0,1798$ ;  $P = 0,0019^{++}$ ).



**Obrázok 1.** Plochy TTP v SR (1970-2021) a záchyty emisií CO<sub>2</sub> (1990-2021)

Opúšťanie obhospodarovania TTP a v posledných rokoch aj pokles ich výmer sa výrazne odzrkadľuje na stratách ich vitálnych funkcií a zhoršujúcom sa stave v záchytoch emisií. Na začiatku monitorovacieho obdobia TTP vykazovali vysoké záchyty CO<sub>2</sub>, ktoré však posledné roky výrazne klesajú. V roku 2019 bol zaznamenaný záchyt na úrovni -118,93 kt CO<sub>2</sub> (Szemesová et al., 2020), nasledujúci rok 2020 na úrovni -92,86 kt CO<sub>2</sub> (Labovský et al., 2021) a v roku 2021 na úrovni -54,97 kt CO<sub>2</sub>. (Szemesová et al., 2022).

Emisie CO<sub>2</sub> a zmeny zásob uhlíka v živej biomase sú dôležité ukazovatele, ktoré sa stanovujú v rámci každoročnej emisnej inventúry. V hodnotenom období (tabuľka 3) je zaznamenaný trvalo klesajúci trend prírastkov zásob (záchytovej) uhlíka ( $y = -0,483x + 13,701$ ; ( $y = kt\ C$ ,  $x = rok$ ),  $R^2 = 0,2956$ ;  $P = 0,0013^{++}$ ) a strát uhlíka ( $y = 0,7978x - 24,728$ ; ( $y = kt\ C$ ,  $x = rok$ ),  $R^2 = 0,4024$ ;  $P < 0,0001^{++}$ ).

**Tabuľka 3.** Zmena zásob uhlíka na TTP (1990-2021)

Zmeny zásob uhlíka a emisie CO <sub>2</sub> /odstraňované z pôdy	Priemerná hodnota	Smerodajná odchýlka	Variačný koeficient	SE
Emisie (kt CO <sub>2</sub> equivalent)	-215,418	80,059	-0,372	14,152
Celková plocha (kha)	858,176	20,665	0,024	3,653
Zmeny zásob uhlíka v živej biomase				
Prírastok – záchyt (kt C)	5,732	8,334	1,453	1,473
Strata (kt C)	-11,564	11,798	-1,020	2,085
Čistá zmena (kt C)	-5,832	14,108	-2,419	2,494
Čistá zmena zásob uhlíka v mŕtvej organickej hmote (kt C)	-1,758	1,921	-1,093	0,339

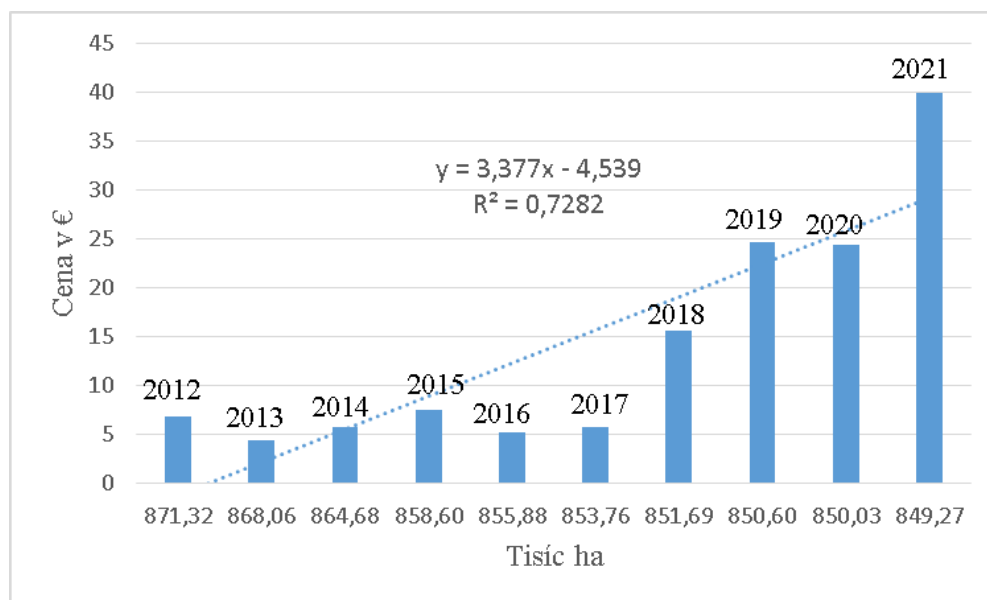
Rozdiel prírastku a straty zásoby uhlíka (C) živej biomasy je výsledný parameter čistej zmeny zásob C v živej biomase TTP. Obdobne ako pri parametri záchyty CO<sub>2</sub>, aj pri parametri zásoby uhlíka v biomase sa prejavuje klesajúci trend ( $y = 0,3149x - 11,027$ ; ( $y = kt\ C$ ,  $x = rok$ ),  $R^2 = 0,0438$ ;  $P = 0,2503$ ). Uvedené indikuje znižovanie vstupov a intenzity

obhospodarovania TTP. V čistej zmene zásob uhlíka v pôde (tabuľka 4) sa prejavuje ešte výraznejší klesajúci trend ( $y = 0,1333x - 3,9574$ ; ( $y = kt C$ ,  $x = \text{rok}$ ),  $R^2 = 0,4237$ ;  $P < 0,0001^{++}$ ). Tento ukazovateľ ilustruje zmeny v obhospodarovaní za posledných viac ako 30 rokov, kedy došlo k zmene prístupu, znižovaniu vstupov a intenzity obhospodarovania TTP.

**Tabuľka 4.** Zmena zásob uhlíka v pôde na TTP (1990-2021)

Čistá zmena zásob uhlíka v pôde	Priemerná hodnota	Smerodajná odchýlka	Variačný koeficient	SE
Minerálne pôdy	66,571	18,868	0,283	3,335
Zmena zásob uhlíka v živej biomase na plochu				
Prírastok – záchyt (t C/ha)	0,007	0,010	1,467	0,002
Strata (t C/ha)	-0,014	0,014	-1,050	0,002
Čistá zmena (t C/ha)	-0,007	0,017	-2,445	0,003
Čistá zmena zásob uhlíka v mŕtvej organickej hmote na plochu (t C/ha)	-0,002	0,002	-1,129	0,000

Mederly et al. (2019) definuje regulačné ekosystémové služby a podporné ekosystémové funkcie a bližšie reguláciu kvality ovzdušia (R1) a odvoláva sa na Burkhard & Maes (2017), ktorí „označujú znečistenie ovzdušia za jedno z hlavných environmentálnych rizík“. Pre výpočet hodnoty ekosystémovej služby TTP z pohľadu záchytov CO<sub>2</sub> sme vychádzali zo zverejnených cien emisných povoleniek Inštitútom finančnej politiky – MF SR (Bukovina, 2021). Vývoj cien emisných povoleniek má za hodnotené obdobie (obrázok 2) rastúci charakter.



**Obrázok 2.** Korelácia vývoja cien emisných povoleniek a výmer TTP od roku 2012 až 2021

Nakoľko sa od roku 2012 do roku 2021 zaznamenal pokles výmer TTP korelácia s vývojom cien emisných povoleniek je vyjadrená rovnicou  $y = 3,377x - 4,539$ ; ( $y = \text{cena za } 1t \text{ CO}_2 \text{ v } \text{€}$ ,  $x = \text{výmera TTP v kha}$ ), ( $R^2 = 0,7282$ ;  $P < 0,001^{++}$ ). Tento trend dokladuje stúpajúci význam ekosystémových služieb. Ak by sme finančne ohodnotili záchyt TTP v roku 2021 na úrovni - 54,97 Gg CO<sub>2</sub> priemernou cenou emisnej povolenky 39,90 €·t<sup>-1</sup> dosiahli by sme cenu ekosystémovej služby na úrovni 2 193 303 €. Monetarizácia tejto služby je nižšia ako za

predchádzajúci rok o 67 881 €, čo spôsobil výrazný pokles záchyty emisií TTP (o 59,42 %) napriek zvýšeniu priemernej ceny emisnej povolenky o 63,24 %.

### Záver

Prínosy a úžitky, ktoré poskytujú ekosystémy, ako je napr. voda, potraviny, drevo, tvorba pôdy, čistenie ovzdušia a vody, ochrana pred povodňami a suchom, opelenie plodín a ďalšie, môžeme definovať ako ekosystémové služby. Ničenie biodiverzity ľudskou činnosťou znižuje odolnosť a schopnosť zdravých ekosystémov poskytovať túto širokú škálu tovarov a služieb. V prípade poloprirodných ekosystémov, alebo človekom ovplyvnených ekosystémov môže paradoxne človek svojou nečinnosťou spôsobovať ich degradáciu a znižovanie vitálnych funkcií. V našom príspevku sme sa zamerali len na časť potenciálnych ekosystémových služieb TTP vyplývajúcich z metodiky IPCC 2006 GL a uskutočnili sme monetarizáciu ES len na príklade záchyty emisií. Prezentovanými výsledkami sme ilustrovali výrazné klesanie záchyty CO<sub>2</sub> a následné znižovanie zásob uhlíka v najdôležitejších parametroch. Alarmujúci je trend poklesu zásob uhlíka v živej biomase a čistej zmeny zásob uhlíka v mŕtvej organickej hmote v pôde. Taktiež sledujeme dlhodobé negatívne trendy pri zmene využívania trávnych porastov v prospech lesnej krajiny. Zarastanie a sukcesia drevinami s následným vývojom lesa je dominantný jav.

Sektor LULUCF s čistým odstránením -7 655,96 kt CO<sub>2</sub> ekv. v roku 2021 je veľmi dôležitý sektor emisnej agendy IPCC. Napriek tomu, že trvalé trávne porasty sú jeho najmenšou súčasťou, zachytili -54,97 kt CO<sub>2</sub>. Výsledky emisnej inventúry potvrdili dlhobojší trend znižovania viazania uhlíka a znižovanie záchyty CO<sub>2</sub> trávnyimi porastmi.

### Pod'akovanie

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 1092/2022/MPRVSR-930.

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

### Literatúra

Burkhard, B., Maes, J. (Eds.) 2017. Mapping Ecosystem Services. Sofia: Pensoft Publishers, (2017), 374 p. ISBN 978-954-642-852-3.

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, 166 pp. ISBN 978-80-8184-078-4.

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.

Bukovina, J., 2021: Prognózy príjmov z obchodovania s emisnými kvótami. Metodológia výpočtu. Bratislava, 2021. Inštitút finančnej politiky – Ministerstvo financií SR, 8s. Dostupné na: IFP: <https://www.mfsr.sk/files/archiv/86/Manual-emisnekvoty.pdf>

Kobza, J., Barančíková, G., Cepková, V., Došeková, A., Fulajtár, E., Houšková, B., Makovníková, J., Matúšková, L., Medved', M., Pavlenda, P., Schlosserová, J., Styk, J., Vojtáš, J., 2002: Soil monitoring of the Slovak republic - present state and development of monitored soil properties 1997-2001. Bratislava, Soil Science and Conservation Research Institute, 178 pp. (in Slovak).

Kobza, J., Barančíková, G., Čumová, L., Dodok, R., Hrivnáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková - Bezáková, Z., Pálka, B., Pavlenda, P., Schlosserová, J., Styk, J., Širáň, M., Tothová, G., 2009: Soil monitoring of the Slovak

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

- republic - present state and development of monitored soil properties 2002 – 2006, Bratislava, Soil Science and Conservation Research Institute, 200 s. (in Slovak).
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivnáková, K., Makovníková, J., Pálka, B., Pavlenda, P., Schlosserová, J., Styk, J., Širáň, M., 2014: Soil monitoring of the Slovak republic - present state and development of monitored soil properties 2007 - 2012. Bratislava, Soil Science and Conservation Research Institute, 249 s. (in Slovak).
- Mederly, P., Černecký, J. a kol. Katalóg ekosystémových služieb Slovenska. ŠOP SR, UKF v Nitre, ÚKE SAV, Banská Bystrica, 2019, 215 strán. ISBN: 978-80-8184-067-8.
- Ministerstvo životného prostredia MŽP SR., 2022: Obchodovanie s emisnými kvótami, Systém obchodovania s emisnými kvótami, citované: 1.8.2022, <https://www.minzp.sk/klima/obchodovanie-emisnymi-kvotami/>
- Labovský, J., Horvát, J., Danielik, V., Tonhauzer, K., Priwitzer, T., Barka, I., Pavlenda, P., Sviček, M., Bezák, P., Pollák, Š., Bodík, I., Hrabčák, M., Jonáček, Z., Petraš, M., 2021. NATIONAL INVENTORY REPORT OF THE SLOVAK REPUBLIC 2021, Bratislava: SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE, 2021. p.498. ISBN 978-80-99929-20-4.
- Pavlenda, P., 2008: Quantification of carbon stocks in forest soils. In: Kobza, J. (Ed.): Piate pôdoznalecké dni. Pôda - národné bohatstvo. Zborník z medzinárodnej konferencie, Bratislava: VÚPOP, 2013, s. 243-250 (in Slovak).
- Szemesová, J., Labovský, J., Horvát, J., Danielik, V., Tonhauzer, K., Priwitzer, T., Barka, I., Pavlenda, P., Sviček, M., Bezák, P., Pollák, Š., Bodík, I., Hrabčák, M., Jonáček, Z., Gera, M., 2020. NATIONAL INVENTORY REPORT OF THE SLOVAK REPUBLIC 2020, Bratislava: SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE, 2020. p.492. ISBN 978-80-99929-06-8.
- Szemesová, J., Labovský, J., Horvát, J., Danielik, V., Tonhauzer, K., Priwitzer, T., Barka, I., Pavlenda, P., Sviček, M., Bezák, P., Buchová, K., Pollák, Š., Bodík, I., Hrabčák, M., Jonáček, Z., Petraš, M., Hrobák, M., Škultéty, J., 2022. NATIONAL INVENTORY REPORT OF THE SLOVAK REPUBLIC 2022, Bratislava: SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE, 2022. version 2. p.537. ISBN 978-80-99929-32-7.
- Šály, R., Pedológia: Skriptum. 1998, Zvolen: TU Zvolen, 1998, 177. ISBN 80-228-0714-1.

## Zmeny v diverzite trávneho porastu vplyvom rôznej výživy

Changes in grassland diversity due to different fertilization

Vladimíra VARGOVÁ

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby –  
Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Banská Bystrica, Mládežnícka 36,  
974 23 Banská Bystrica, Slovenská republika

### Abstract

The purpose of this study was to determine the impact of different fertilization on the diversity of alluvial meadow. The first field experiment was established in the western part of the Zvolenská kotlina basin at 350 m a.s.l. The experiment consisted of 5 treatments of fertilization: unfertilized grass swards, PK fertilized grass swards and grass swards fertilized 50, 100, 150 kg N.ha<sup>-1</sup>. The monitored periods were 2019-2021. Grass swards were cut three times. We evaluated the botanical composition of the stand before each mowing. Considering the botanical composition at the fertilized treatments was dominated by grasses. The treatment PK grass swards had higher representation of herbs and leguminosae, especially in the second cut. They higher value of diversity had control non-fertilized treatment. Fertilized treatments had lower diversity. The control treatment reached the highest value of the balance index, ie the grasslands was the most balanced.

**Keywords:** grasslands, fertilised, botanical composition, Shannon diversity index

### Úvod

Trávne porasty sú zdrojom tradičných rastlinných druhov, prírodného bohatstva krajiny a svojou rôznorodosťou predstavujú najvyššiu diverzitu rastlinných druhov na poľnohospodárskej pôde. Medzi najrozmanitejšie ekosystémy patria poloprárodné trávne porasty. Môžu mať až 80 druhov rastlín na meter štvorcový (Habel *et al.*, 2013; Vickery *et al.*, 2001). Rastliny majú kľúčovú úlohu v ekosystémovej vyrovnanosti a preto sú nevyhnutné pre udržateľnosť životného prostredia. (Martins a Oliveira, 2016). Fungovanie ekosystémov však nie je ovplyvnené iba celkovým počtom druhov ako takých, ale aj funkčnými vlastnosťami najčastejšie sa vyskytujúcich druhov (Grime, 1998). Druhové zloženie trávnych porastov je výsledkom pôsobenia interakcií všetkých ekologických faktorov v ekosystéme a zároveň spôsobu a intenzity využívania. Podľa Kacki a Hegedúšovej (2019) faktory zodpovedné za zmeny v rastlinných spoločenstvách, za zmeny vo využívaní pôdy a zlepšovaní poľnohospodárskych systémov majú výrazný vplyv na vegetáciu.

Floristická diverzita zohráva dôležitú úlohu pri stabilite a produkcii trávneho ekosystému a predstavuje celkovú rozmanitosť druhov žijúcich na konkrétnom stanovišti. Diverzita trávnych druhov sa mení v závislosti od aktuálnych podmienok prostredia, ktorým je vystavená ďalšia existencia či zánik druhov. Vysoká diverzita je zvyčajne spojená s relatívne nízkou produktivitou, ktorá je odrazom zásoby prístupných živín na stanovišti a aj od spôsobu obhospodarovania trávneho porastu. Najvýznamnejšími ekologickými faktormi pôsobiacimi na druhové zloženie, produkciu a kvalitu krmu trávnych porastov sú vodný a živinový režim. Hnojenie zvyšuje produkciu využiteľnej biomasy všetkých druhov v poraste (Vozár a Jančovič, 2014). Aj podľa Blüthgen *et al.* (2012) a Allan *et al.* (2014) druhová diverzita a intenzita hospodárenia súvisí s frekvenciou kosenia, hnojenia a pasenia. Cieľom príspevku bolo zhodnotenie vplyvu rôznej intenzity hnojenia na diverzitu trávneho porastu.

### Materiál a metodika práce

Na stanovišti Veľká Lúka (okres Zvolen) v nadmorskej výške 350 m bol blokovou metódou založený pokus s veľkosťou pokusnej parcely 32 m<sup>2</sup> v roku 1961. V príspevku uvádzame

výsledky za obdobie rokov 2019-2021. Dlhodobý priemer zrážok za vegetáciu je 430 mm a za rok 780 mm. Priemerná denná teplota vzduchu za rok je 9,6 °C a za vegetáciu 16,5 °C. Pôdny typ je fluvizem a trávny porast z fytoecologického hľadiska bol charakterizovaný ako zväz *Alopecurion pratensis*.

**Tabuľka 1.** Varianty pokusu

Varianty/ dodané živiny	1	2	3	4	5
<b>N</b>	0	0	50	100	150
<b>P</b>	0	22	7,5	15	22,5
<b>K</b>	0	41,5	20	40	60

Pokus bol tvorený piatimi variantami s rôznou úrovňou hnojenia (Tab. 1). Na začiatku vegetačného obdobia bol v celej dávke aplikovaný fosfor, draslík a 65 % dusíka z celkového množstva. Druhá dávka N bola dodaná po prvej kosbe. Porasty sa využívali tromi kosbami: 1. kosba (začiatok klasenia prevládajúcich druhov tráv), 2. kosba (6 až 8 týždňov po 1. kosbe), 3. kosba (8 až 10 týždňov po predchádzajúcej). Pred každou kosbou sme robili floristickú analýzu metódou projektívnej dominancie podľa Malocha (1953) na určenie všetkých rastlinných druhov prítomných v poraste. Diverzitu a vyrovnanosť trávnych porastov sme vypočítali podľa Shannonovho indexu diverzity a vyrovnanosti (Begon, Harper a Townsend, 1997).

*Shannonov index diverzity* (Begon *et al.*, 1997):

$$H = -\sum_{i=1}^S Pi \ln Pi$$

H – index diverzity, S – celkový počet druhov v snímke,  $P_i$  – podiel  $i$ -teho druhu na snímke

*Shannonov index vyrovnanosti* (Begon *et al.*, 1997):

$$J = \frac{-\sum_{i=1}^S Pi \ln Pi}{\ln S}$$

J – index vyrovnanosti, S – celkový počet druhov v snímke,  $P_i$  – podiel  $i$ -teho druhu na snímke

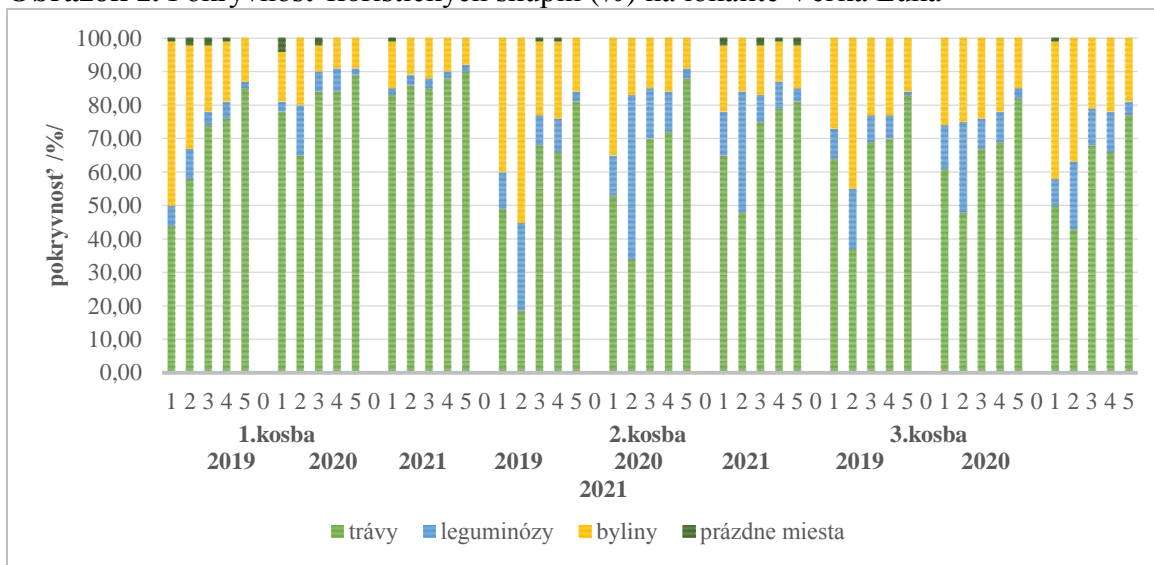
Sypané pôdne vzorky sme odoberali v jesennom období (október) z hĺbky 0 - 150 mm. Z odobratých priemerných pôdnych vzoriek sme stanovovali pH v KCl,  $C_{ox}$ , N, P, K, Mg podľa Vyhlášky MPRV SR č. 151/2016 Z.z. Získané výsledky z pôdnych rozborov boli spracované štatistickou metódou analýzy variancie ANOVA prostredníctvom Tukeyovho testu na hladine významnosti 0,05.

### Výsledky a diskusia

Trávny porast spĺňa v krajine rôzne funkcie a prináša množstvo benefitov. Za najvýznamnejšiu považujeme druhovú diverzitu, keďže od druhového zloženia sa odvíjajú funkcie vegetácie (Klimantová, 2016). Druhová diverzita je ukazovateľom štruktúry trávnych porastov vyjadrujúcim počet mimoprodukčných vlastností druhov, ktoré spoločenstvo vytvára (Klimeš, 2000). Floristické zloženie trávnych porastov nie je v priebehu rokov stabilné, mení sa v závislosti od ekologických faktorov, z nich možno čiastočne ovplyvňovať živinový a vodný režim stanovišťa alebo pôdnu reakciu (Mrkvička *et al.*, 2002). Hodnotenie stavu vegetácie je možné aj prostredníctvom funkčných vlastností vegetácie pomocou socioekologických funkcií. Pokryvnosť floristických skupín je uvedená na obrázku 1. V prvých kosbách sme zaznamenali vysoký podiel tráv na hnojených variantoch, s najvyšším podielom na variante 5 (obr. 1). Z trávnych druhov v poraste dominovala *Anthoxanthum*

*odoratum* L. a *Alopecurus pratensis* L. Najväčšie zastúpenie leguminóz sa zistilo v roku 2020 na variante 2 s 15 %-ným podielom. Z druhov dominovala *Trifolium pratense* L. Byliny dosiahli najvyšší podiel v roku 2019 na nehnojenom variante, a to 49 %. Z nich prevládali *Leontodon hispidus* L., *Plantago lanceolata* L., *Taraxacum officinale* auct. non Weber. V druhých kosbách stúpol podiel leguminóz a bylín. V roku 2020 sa zvýšilo zastúpenie bylín najmä na variantoch 1, 3 a 4. Bylinné druhy v poraste prezentovali *Leontodon hispidus* L. a *Plantago lanceolata* L. Pokryvnosť leguminóz stúpila najviac na variante s PK hnojením v roku 2020 (49 %). Najvyššie zastúpenie tráv bolo evidované na variante 5. Dominovali *Arrhenatherum elatius* L., *Agrostis stolonifera* L., *Alopecurus pratensis* L.

**Obrázok 1.** Pokryvnosť floristických skupín (%) na lokalite Veľká Lúka



Zaznamenali sme pokles zastúpenia leguminóz v tretích kosbách, najviac v roku 2020, na 2 – 27 % v porovnaní s druhou kosbou. Variant 2 dosiahol najnižšiu pokryvnosť tráv, od 37 % (2021) do 48 % (2020). Vyššie dávky dusíka na variante 5 (150 kg.ha<sup>-1</sup>) zabezpečili vyšší podiel tráv, 82 – 83 %. Z druhov dominovali *Arrhenatherum elatius* L., *Agrostis stolonifera* L. a *Trisetum flavescens* (L.) P. Beauv. Najviac bylín (45 %) sme zaznamenali na variante 2 v roku 2019. Nehnojený variant dosiahol v rokoch 2020 a 2021 najvyšší podiel bylín (26 %, 41 %). Z nich dominovali *Leontodon hispidus* L., *Plantago lanceolata* L., *Ranunculus acer* L. a *Achillea millefolium* L.

Na základe pokryvnosti rastlinných druhov sme vypočítali Shannonov index druhovej diverzity (H) a vyrovnanosti (J). Výsledky sú uvedené v tabuľkách 2 a 3. Index diverzity sa v prvej kosbe 2019 pohyboval od 2,50 – 2,85, v druhej od 2,38 – 2,88 a v tretej kosbe od 2,15 – 2,73 (Tab. 2). Najnižšia hodnota (2,15) bola zaznamenaná na variante 2 s hnojením PK. Variant bez hnojenia mal vyššiu priemernú hodnotu diverzity (2,72) ako hnojené varianty, okrem variantu 3, kde bola zaznamenaná jej najvyššia hodnota, 2,78. V roku 2020 sa hodnoty Shannonovho indexu diverzity v prvej kosbe znížili takmer na všetkých variantoch pri porovnaní s rokom 2019. Hodnoty oscilovali od 2,29 na variante 5 do 2,62 na variante 4. V druhej kosbe nastal mierny pokles hodnôt diverzity na hnojených variantoch a v tretej kosbe bol evidovaný mierny nárast hodnôt indexu diverzity. Hnojené varianty s dávkou dusíka 50 kg a 100 kg.ha<sup>-1</sup> (3 a 4) dosiahli vyššie hodnoty diverzity ako variant s najvyššou dávkou dusíka. Priemerné hodnoty indexu diverzity v roku 2021 mierne stúpili na všetkých variantoch, okrem nehnojeného, kde bol evidovaný pokles na 2,73. Maximálny nárast bol na variante s najvyššou dávkou dusíka, na 2,45. Za sledované obdobie bola najvyššia priemerná

hodnota (2,81) zistená na nehnojenom variante v roku 2020 a aj najnižšia hodnota indexu diverzity (2,31), a to na variante 5.

**Tabuľka 2.** Shannonov index diverzity (H)

Rok	Kosba	Varianty				
		1	2	3	4	5
2019	1	2,56	2,50	2,85	2,73	2,78
	2	2,85	2,38	2,88	2,76	2,63
	3	2,73	2,15	2,61	2,56	2,28
<b>Priemerná hodnota</b>		<b>2,72</b>	<b>2,35</b>	<b>2,78</b>	<b>2,69</b>	<b>2,56</b>
2020	1	2,58	2,47	2,34	2,62	2,29
	2	2,87	2,26	2,62	2,34	2,39
	3	2,97	2,68	2,69	2,54	2,34
<b>Priemerná hodnota</b>		<b>2,81</b>	<b>2,47</b>	<b>2,55</b>	<b>2,50</b>	<b>2,31</b>
2021	1	2,49	2,50	2,67	2,59	2,37
	2	2,93	2,49	2,49	2,54	2,42
	3	2,77	2,62	2,76	2,65	2,57
<b>Priemerná hodnota</b>		<b>2,73</b>	<b>2,54</b>	<b>2,64</b>	<b>2,59</b>	<b>2,45</b>

Varianty v roku 2019 boli menej vyrovnané ako v roku 2020. Hodnoty indexu vyrovnanosti (J) v prvej kosbe 2019 oscilovali od 0,77 do 0,87 (Tab. 3). Nehnojený variant (1) dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu indexu vyrovnanosti (0,85), to znamená, že porast bol najvyrovnanejší. Jurko (1990) uvádza, že čím sa hodnoty indexu vyrovnanosti (J) viac blížila k 1, tým je spoločenstvo vyrovnanejšie. Najnižšia hodnota (0,70) bola zistená na variante 2 v tretej kosbe, kedy bol porast najmenej vyrovnaný. V roku 2020 sa zvýšili hodnoty vyrovnanosti na kontrolnom variante a variante s PK hnojením. Hodnoty J sa v prvej kosbe pohybovali od 0,81 (3, 5) do 0,91 (variant 4).

**Tabuľka 3.** Shannonov index vyrovnanosti (J)

Rok	Kosba	Varianty				
		1	2	3	4	5
2019	1	0,80	0,77	0,87	0,83	0,84
	2	0,86	0,80	0,84	0,87	0,80
	3	0,89	0,70	0,80	0,82	0,75
<b>Priemerná hodnota</b>		<b>0,85</b>	<b>0,75</b>	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>	<b>0,80</b>
2020	1	0,86	0,89	0,81	0,91	0,81
	2	0,88	0,74	0,81	0,77	0,72
	3	0,89	0,80	0,86	0,82	0,75
<b>Priemerná hodnota</b>		<b>0,88</b>	<b>0,81</b>	<b>0,83</b>	<b>0,83</b>	<b>0,76</b>
2021	1	0,81	0,84	0,85	0,87	0,82
	2	0,87	0,83	0,77	0,79	0,77
	3	0,86	0,81	0,85	0,84	0,80
<b>Priemerná hodnota</b>		<b>0,85</b>	<b>0,83</b>	<b>0,82</b>	<b>0,83</b>	<b>0,80</b>

Najvyššiu priemernú hodnotu indexu vyrovnanosti sme zaznamenali na nehnojenom variante (0,88) a najnižšiu hodnotu indexu na variante s najvyššou dávkou hnojenia (0,76). Ďalší rok zaznamenal v prvej kosbe mierny pokles Shannonov indexu vyrovnanosti. Najnižšie hodnoty boli zaevidované v druhej kosbe na variantoch 3 a 5. Pri porovnaní rokov 2019 až 2021 sme



zistili rovnakú situáciu ako pri indexe diverzity. Nehnojený variant dosiahol najvyšší index vyrovnanosti.

**Tabuľka 4.** Vplyv rokov a variantov na pôdnu reakciu a zásoby prvkov v pôde

		pH	Cox g.kg <sup>-1</sup>	N g.kg <sup>-1</sup>	P mg.kg <sup>-1</sup>	K mg.kg <sup>-1</sup>	Mg mg.kg <sup>-1</sup>
<b>Rok</b>	<b>2019</b>	4,61 <sup>a</sup>	20,37 <sup>a</sup>	2,91 <sup>b</sup>	6,53 <sup>a</sup>	116,44 <sup>a</sup>	352,04 <sup>a</sup>
	<b>2020</b>	4,73 <sup>b</sup>	20,04 <sup>a</sup>	2,10 <sup>a</sup>	4,11 <sup>a</sup>	109,44 <sup>a</sup>	359,68 <sup>a</sup>
	<b>2021</b>	4,54 <sup>a</sup>	26,19 <sup>b</sup>	2,33 <sup>a</sup>	14,95 <sup>b</sup>	125,15 <sup>a</sup>	353,57 <sup>a</sup>
<b>Varianty</b>	<b>1</b>	4,38 <sup>ab</sup>	25,35 <sup>a</sup>	2,62 <sup>a</sup>	3,92 <sup>a</sup>	118,54 <sup>a</sup>	396,98 <sup>c</sup>
	<b>2</b>	4,21 <sup>a</sup>	19,54 <sup>a</sup>	2,09 <sup>a</sup>	12,39 <sup>b</sup>	145,22 <sup>a</sup>	305,73 <sup>a</sup>
	<b>3</b>	4,57 <sup>b</sup>	22,25 <sup>a</sup>	2,61 <sup>a</sup>	3,49 <sup>a</sup>	111,23 <sup>a</sup>	385,29 <sup>b</sup>
	<b>4</b>	4,59 <sup>b</sup>	24,17 <sup>a</sup>	2,60 <sup>a</sup>	3,94 <sup>a</sup>	115,85 <sup>a</sup>	359,33 <sup>b</sup>
	<b>5</b>	4,83 <sup>c</sup>	21,13 <sup>a</sup>	2,38 <sup>a</sup>	4,59 <sup>a</sup>	114,89 <sup>a</sup>	370,09 <sup>b</sup>

Rozdielne indexy znamenajú štatisticky preukazné rozdiely medzi úrovňami faktorov (Tukey t -test, P = 0,05).

V roku 2019 bola pôdna reakcia silne kyslá, v ďalšom roku sa hodnota pH mierne zvýšila, na 4,73 a následne v roku 2021 klesla, kedy bola signifikantne najnižšia (P<0,05). Za uvedené roky štatisticky najvyššia pôdna reakcia bola na variante 5 (tab. 4). Na nehnojenom variante sme zaznamenali vysoký obsah humusu (25,35 g.kg<sup>-1</sup>C<sub>ox</sub>) a dusíka (2,62 g.kg<sup>-1</sup>). Pri porovnaní rokov sme zaznamenali signifikantné (P<0,05) zníženie obsahu prijateľného dusíka v pôde (tab. 4). Hnojené varianty mali preukazný vplyv na pôdnu reakciu a obsah horčíka. Nárast koncentrácie horčíka bol signifikantne najvyšší na variante 1 (396,98 mg.kg<sup>-1</sup>).

### Záver

Príspevok prezentuje druhovú diverzitu rastlinného spoločenstva aluviálnej lúky v období rokov 2019-2021. Z botanického hľadiska bola najvyššia pokryvnosť trávnych druhov na hnojených variantoch, najmä *Arrhenatherum elatius* L., *Agrostis stolonifera* L. a *Alopecurus pratensis* L. Na variante s fosforečno-draselným hnojením mali dominanciu leguminózy a byliny. Maximálna hodnota Shannonovho indexu diverzity sa zistila na kontrolnom variante (2,81). Varianty s vyššími dávkami hnojenia dosiahli nižšie hodnoty indexu diverzity. Rovnaké výsledky sme zaznamenali aj pri vyrovnanosti, kedy najvyrovnanejší porast bol na nehnojenom variante (0,88). Najmenej vyrovnaný porast sa zistil na variante s dávkou dusíka 150 kg.ha<sup>-1</sup>, fosforu 22,5 kg.ha<sup>-1</sup> a draslíka 60 kg.ha<sup>-1</sup>. Nižšie dávky dusíka, fosforu a draslíka ovplyvňovali diverzitu menej ako ich vyššie dávky. Hnojené varianty mali preukazný vplyv na pôdnu reakciu a obsah horčíka.

### Pod'akovanie

Tento príspevok bol spracovaný z výsledkov riešenia Rezortného projektu výskumu a vývoja (RPVaV) „Multifunkčné hospodárenie na rôznych typoch trávnych porastov“.

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

## Literatúra

- Allan, E.C., *et al.* 2014. Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*.111. 308-313. DOI: 10.1073/pnas.1312213111.
- Blüthgen, N., Simons, N., Jung, K., Prati, D., Renner, S., Boch, S., Fischer, M., Hölzel, N., Klaus, V., Kleinebecker, T., Tschapka, M., Weisser, W., Gossner, M. 2016. Land use imperils plant and animal community stability through changes in asynchrony rather than diversity. In *Nature Communications*. 7. DOI: 10697. 10.1038/ncomms10697.
- Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C. R. 1997. Ekologie - jedinci, populace a spoločenstva. Olomouc: Vydavatelství University Palackého. 949 s. ISBN 80-7067-695-7
- Grime, J.P. 1998. Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. In *Journal of Ecology*, 86: 902-910. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1998.00306.x>
- Habel, J. CH. *et al.* 2013. European grassland ecosystems: threatened hotspots of biodiversity. In *Biodiversity and Conservation*, 22.10: 2131-2138.
- Jurko, A. 1990. Ekologické a socioekonomické hodnotenie vegetácie. Bratislava: Príroda, 183 s. ISBN 80-07-00391-6
- Kaçacki, Z., Hegedúšová, K. Plant community responses to changes in management. In *Biologia*, 74, 4, pp. 335-337 <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00228-9>
- Klímantová, A. 2016. Hodnotenie vybraných ekologických a socioekonomických vlastností vegetácie trávnych porastov katastrálneho územia obce Hodruša-Hámre. In *Ekologické štúdie*, roč. 7, č. 1, s. 46-53.
- Klímeš, F. 2000. Dynamics of species richness of floodplain meadows. In *Rostlinná výroba*, roč. 46, č. 5, p. 198-208.
- Maloch, M. 1953. Krmovinná výroba II. Bratislava : SPN, 1953, 616s.
- Mrkvička, J, Veselá, M. 2002. The influence of long-term fertilization on species diversity and yield potential of permanent meadow stand. In *Rostlinná výroba*, 2002, roč. 48, č. 2, s. 69 – 75.
- Martins-Loução, M.A., Gaio-Oliveira, G.. 2017. New Challenges to Promote Botany's Practice Using Botanic Gardens: The Case Study of the Lisbon Botanic Garden. In *Plant Biodiversity: Monitoring, Assessment and Conservation*, pp.1-17
- Vickery, J. A., *et al.* 2001. The management of lowland neutral grasslands in Britain: effects of agricultural practices on birds and their food resources. In *Journal of Applied Ecology*, 38.3, pp. 647-664.
- Vozár, L., Jančovič, J. 2014. Ošetrovanie trávnych porastů. In Skládanka, J. *et al.* Pícninářství. Brno : MU, s. 225-245. ISBN 978-80-7509-111-6

## Vplyv úhrnu zrážok a teploty na produkciu sušiny trávneho porastu

Effect of rainfall and temperature on dry matter production of grassland

Vladimíra VARGOVÁ, Zuzana DUGÁTOVÁ

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby –  
Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Banská Bystrica, Mládežnícka 36,  
974 23 Banská Bystrica Slovenská republika

### Abstract

The aim of the research was to evaluate the production of dry matter yield and the soil of permanent grasslands in the foothill of Slovakia near the village of Braváčovo (610 m a.s.l.). The soils were extremely acidic and were characterized by a high content of humus and nitrogen supply. The supply of acceptable phosphorus, potassium and magnesium in the soil was low level. The highest dry matter yield ( $9.40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) was found in permanent grassland at year 2021 in locality 1. Variability in rainfall and average temperature over growing period was an important factor affecting dry matter yield production. The dry matter yield showed a high negative correlation with the rainfall ( $r = -0.7434$ ) and high positive correlation with the average temperature ( $r = -0.7131$ ), with significant confirmation ( $P < 0.05$ ).

**Keywords:** grasslands, botanical composition, dry matter yield, soil, rainfall, temperature

### Úvod

Nerovnomerné rozloženie atmosférických zrážok a hlavne vysoká teplota vzduchu majú za následok vädnutie a nedostatočný vývin rastlín, zahorenie trávnatých porastov a tvorbu prísušku a puklín v pôdach (Labudová *et al.*, 2021). Trávne ekosystémy sú voči extrémnemu počasiu odolnejšie ako poľné kultúry. Trvalé porasty môžu využívať okrajové obdobia vegetačnej sezóny, napríklad i krátke teplé obdobia v priebehu zimy, k regenerácii po predchádzajúcom roku a k príprave na ďalší rok. Trávy vytvárajú odnože, byliny posilňujú svoj koreňový systém. V prípade suchých rokov môžu rastliny tieto chladnejšie a vlhšie obdobia využiť k čerpaniu živín z pôdneho roztoku, živín, ktoré sú v dobe sucha pre rastliny nedostupné (Hrevušová *et al.*, 2022). Trávne porasty sú odolnejšie aj vďaka ich druhovej rozmanitosti. Druhovo bohaté lúky a pasienky dokážu na výkyvy počasia reagovať pružnejšie, pretože v poraste dominujú druhy, ktorým najviac vyhovujú lokálne podmienky. Keď nastane zmena podmienok, napríklad v dôsledku dlhotrvajúceho sucha, menia sa pomery medzi druhmi. Začnú sa viac rozširovať druhy s vlastnosťami, ktoré sú menej citlivé na deficit vlahy. Suchovzdorné rastliny majú rôzne stratégie ako šetriť s vodou, napr. majú úzke listy, pevné povrchové pletivá alebo chlípky na stonkách a listoch. Niektoré majú mohutný a hlboký koreňový systém a môžu využiť vodu z nedostupných miest. Cieľom príspevku bolo zhodnotenie vplyvu teploty a zrážok na produkciu sušiny fytomasy na trávnom poraste.

### Materiál a metodika práce

Sledované lokality sa nachádzajú vo východnej časti Nízkych Tatier, nad obcou Braváčovo (okres Brezno) v nadmorskej výške 716 m n.m. Lokality boli využívané pasením hovädzieho dobytku. Lokalita 1 mala výmeru 6,23 ha (48,847492 N, 19,740606 E) a lokalita 2 - 7,20 ha (48,848114 N, 19,742308 E). Prevládajúcim pôdnym typom je kambizem s pôdnym druhom hlinitopiesočnatým (obrázok 1). Územie je zaradené do mierne teplej klimatickej oblasti, okrsok mierne teplý, so suchou až vlhkou kotlinovou klímou (M5). Priemerné ročné teploty dosahujú hodnoty 3 – 6,5 °C a priemerné ročné množstvo zrážok v kotlině sa pohybuje v rozmedzí od 700 do 750 mm.

**Obrázok 1.** Mapa záujmového územia



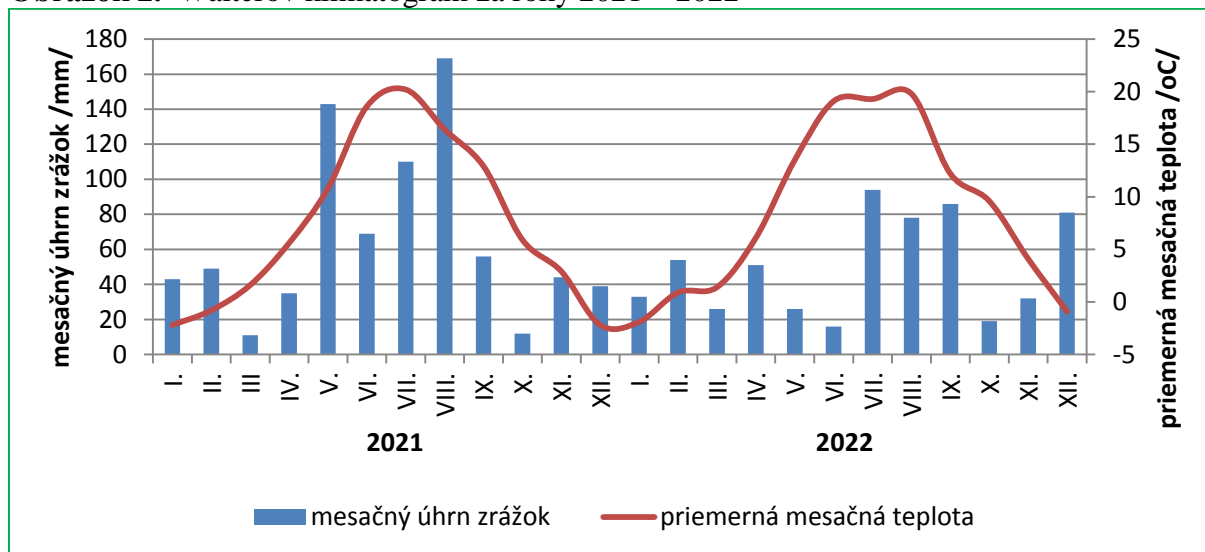
Na každej lokalite sme hodnotili floristické zloženie trávneho porastu, odber rastlinných vzoriek a vzoriek pôdy. Pomocou redukovanej projektívnej dominancie podľa Malocha (1953) sme analyzovali floristické zloženie hlavných floristických skupín tráv, leguminóz, ostatných lúčnych bylín a prázdnych miest. Realizovali sme tri odbery (máj, júl, september) vzoriek zelenej fytomasy (cca 500 g) na stanovenie produkcie sušiny podľa STN 47 7007. Z rovnakých lokalít sme odoberali aj zmesné pôdne vzorky z hĺbky 0 – 15 cm. Z odobratých vzoriek sme stanovili pH/KCl, obsah organického uhlíka, fosfor, draslík a horčík, pomer HK/FK. Rozbor pôd sa robil podľa Vyhlášky MPRV SR Zz. č.151/2016, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o agrochemickom skúšaní pôd a o skladovaní a používaní hnojív. Získané výsledky boli spracované štatistickou metódou analýzy variancie ANOVA prostredníctvom Tukeyovho testu na hladine významnosti  $P < 0,05$  a na určenie vzájomných vzťahov bol použitý Pearsonov korelačný koeficient. Analýzy boli vykonané použitím programu STATGRAPHIC Centurion XVII.I.

### Výsledky a diskusia

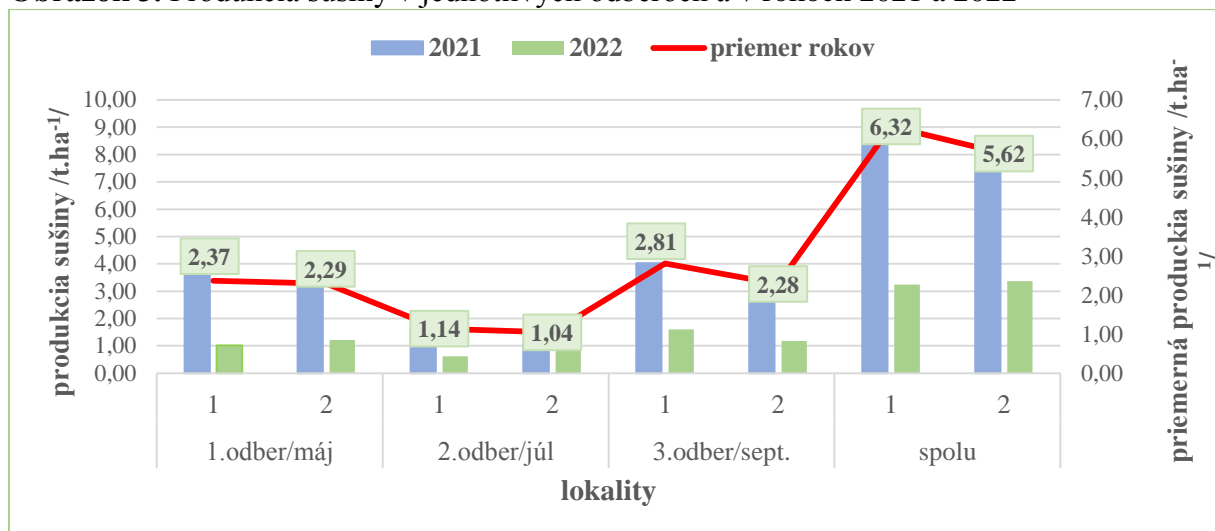
Rok 2021 mal počas vegetácie úhrn zrážok 582 mm s priemernou mesačnou teplotou 14,0 °C. Maximálne mesačné úhrny zrážok boli zaznamenané v mesiaci august, 169 mm, pričom najnižší úhrn zrážok bol v apríli, 35 mm (obrázok 2). Najvyššia priemerná mesačná teplota bola v júli (20,2 °C). V roku 2022 bol úhrn zrážok za vegetáciu 351 mm, čo je takmer o 40 % menej ako v predchádzajúcom roku (tj. menej o 231 mm). Veľmi nízky mesačný úhrn bol zaznamenaný v mesiacoch apríl, máj a jún (51 mm; 26 mm; 16 mm). Maximálne množstvo zrážok spadlo v júli (94 mm). Priemerná mesačná teplota za vegetačné obdobie bola vyššia o 1,00 °C ako v roku 2021.

Lokality sa vyznačovali 72 a 74 %-ným zastúpením trávnych druhov, bez výskytu prázdnych miest. V poraste boli zastúpené hlavne hodnotné až vysokohodnotné druhy s dominanciou *Trisetum flavescens* (L.) P. Beauv., *Dactylis glomerata* L., *Festuca rubra* L., *Poa pratensis* L., *Alopecurus pratensis* L. Leguminózy mali v poraste 10 – 11 %-ný podiel. Z nich opäť prevládali druhy *Trifolium repens* L. a *Trifolium pratense* L. Floristická skupina bylín dosiahla v poraste 16 – 17 %-nú pokryvnosť a vyznačovala sa najvyšším počtom zaznamenaných druhov ako *Taraxacum officinale* auct. non Weber., *Acetosa pratensis* Mill., *Alchemilla vulgaris* L., *Achillea millefolium* L., *Ranunculus acer* L.

**Obrázok 2.** Walterov klimatogram za roky 2021 – 2022



**Obrázok 3.** Produkcia sušiny v jednotlivých odberoch a v rokoch 2021 a 2022



Veľkosť primárnej produkcie nadzemnej fytomasy je výsledkom fotosyntetickej aktivity listovej plochy porastu za určité časové obdobie, ktorá interaguje nielen s podmienkami lokality (pôda, vlhkosť, teplota), ale aj so vzájomnými vzťahmi medzi rastlinami v poraste. (Hopkins *et al.*, 1990; Gibson, 2009). S týmito vplyvmi na produkciu úzko súvisia ďalšie z kritických faktorov, od ktorých závisí úroda nadzemnej fytomasy, a to výživa a hnojenie (Vargová *et al.*, 2017) a frekvencia využívania (Pearson a Ison, 1987; Kováčiková *et al.*, 2012). V roku 2021 bola evidovaná vyššia produkcia sušiny ako v roku 2022 (obrázok 3), kedy bol úhrn zrážok počas vegetácie nižší až o 40 %. V jednotlivých odberoch v roku 2021 sa úroda na lokalitách pohybovala od 1,11 (2.odber - lokalita 2) do 4,03 t.ha<sup>-1</sup> (lokalita 1). Lokalita 1 v jarnom a jesennom odbere dosiahla vyššiu produkciu sušiny ako druhá lokalita. Obe lokality mali v lete nízku produkciu sušiny, pričom minimálna hodnota úrody 1,11 t.ha<sup>-1</sup> bola evidovaná na lokalite 2. Ďalší rok bol suchý a mal negatívny vplyv na produkciu, ktorá bola veľmi nízka ( $P < 0,05$ ) so signifikantným potvrdením. Vargová *et al.* (2023), pri hodnotení deficitu vlhky na výšku produkcie sušiny zistila, že zrážky počas vegetačného obdobia mali preukazný vplyv na produkciu sušiny. V prvom jarnom odbere dosiahla produkcia len 1,02 – 1,21 t.ha<sup>-1</sup> a v lete nastal jej pokles na 0,62 – 0,98 t.ha<sup>-1</sup>. Najvyššiu produkciu sme zistili na jeseň na lokalite 1, až 1,60 t.ha<sup>-1</sup>. Pri porovnaní produkcie sušiny

v priemere rokov, môžeme konštatovať, že signifikantne najvyššiu produkciu sušiny sme zaznamenali na lokalite 1 ( $P < 0,05$ ) s hodnotou  $6,32 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Štatisticky preukazne najvyššiu úrodu sme dosiahli v jesennom odbere v priemere rokov  $2,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (tab. 1).

**Tabuľka 1.** Vplyv lokality a rokov na produkciu sušiny

Lokalita	Produkcia $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$	Rok	Produkcia $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$	Odber	Produkcia $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$
<b>1</b>	2,10 <sup>a</sup>	<b>2021</b>	1,10 <sup>a</sup>	<b>1</b>	2,33 <sup>ab</sup>
<b>2</b>	1,87 <sup>a</sup>	<b>2022</b>	2,88 <sup>b</sup>	<b>2</b>	1,09 <sup>a</sup>
				<b>3</b>	2,55 <sup>b</sup>
<i>P-value</i>	0,5278	<i>P-value</i>	0,0083*	<i>P-value</i>	0,0234*

Rozdielne indexy znamenajú štatisticky preukazné rozdiely medzi úrovňami faktorov (Tukey t-test,  $P < 0,05$ )

Pôdna reakcia, spolu s dostupnosťou živín, vlhkosťou pôdy a typom hospodárenia, patrí medzi faktory ovplyvňujúce zloženie trávneho porastu (Peeters, 2004). Na sledovaných lokalitách sme zaznamenali extrémne kyslú pôdnu reakciu (3,99 – 3,83) s obsahom humusu od  $52,76$  do  $62,58 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , čo charakterizuje pôdu ako veľmi vysoko zásobenú humusom (tab. 2). Koncentrácia dusíka bola vysoká a zásoba fosforu nízka. Rovnako aj zásoba ďalších prvkov v pôde, draslíka a horčíka, bola hodnotená na nízkej úrovni. Kobza (2013) poukazuje na nízky obsah fosforu pod trávnyimi porastami vplyvom ich využívania bez pravidelného hnojenia. Pôdy na Slovensku sa vyznačujú dobrou zásobenosťou horčíkom (Kobza *et al.*, 2010), čo ale naše výsledky nepotvrdili.

**Tabuľka 2.** Pôdne vlastnosti trvalých trávnych porastov (hĺbka 0 – 15 cm)

Lokalita	pH/KC I	Humus $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	N $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	P $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	K $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Mg $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	HK/FK	C : N
<b>1</b>	3,99	62,58	2,67	3,79	80,01	66,55	0,42	13,68
<b>2</b>	3,83	52,76	2,64	3,30	157,45	86,82	0,34	11,85

Na základe pomeru humínových a fulvokyselín (HK/FK) bol určený typ humusu, hodnoty boli nižšie ako 0,5, čo predstavuje fulvínový typ humusu (Janowiak *et al.*, 1999). Lokality nezaznamenali humus s dobrou kvalitou, ich pomer C : N bol väčší ako 10. Čím je pomer väčší (viac než 10), humus je menej kvalitný (Hraško a Bedrna, 1988).

**Tabuľka 3.** Vzťah medzi úhrnom zrážok (mm), priemernou teplotou ( $^{\circ}\text{C}$ ) a produkciou sušiny

Lokalita/ Rok	Priemerná teplota za vegetáciu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Úhrn zrážok za vegetáciu (mm)	Produkcia Sušiny $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$
2021	14	582	9,40
2022	15	351	3,24
$r_T$			0,7131*
$r_R$			-0,7434*

$r_T$  - Pearsonov korelačný koeficient pre vzťah medzi produkciou a priemernou teplotou,  $r_R$  - Pearsonov korelačný koeficient pre vzťah medzi produkciou a úhrnom zrážok

Úhrn zrážok vykazoval vysokú pozitívnu koreláciu ( $r = 0,7131$ ) na produkciu sušiny so signifikantným vplyvom. Aj medzi priemernou teplotou za vegetáciu a produkciou ( $r = -0,7434$ ) bola signifikantne vysoká negatívna korelácia (tab. 3).

### Záver

Príspevok prezentuje vplyv teploty a zrážok v rokoch 2021 a 2022 na produkciu sušiny trávneho porastu. Štatisticky preukazne vyššiu produkciu sušiny sme zaznamenali v roku 2021, kedy úhrn zrážok bol vyšší o 231 mm a maximálna produkcia bola na lokalite 1,  $9,40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Produkcia sušiny vykazovala vysokú negatívnu koreláciu s úhrnom zrážok ( $r = -0,7434$ ) a pozitívnu koreláciu s priemernou teplotou počas vegetácie ( $r = 0,7131$ ) so signifikantným potvrdením. Pôdy boli extrémne kyslé, charakteristické vysokým obsahom humusu a dusíka. Zásoba prijateľného fosforu, draslíka a horčíka v pôde bola na nízkej úrovni.

### PodĎakovanie

Tento príspevok bol spracovaný z výsledkov riešenia Rezortného projektu výskumu a vývoja (RPVaV) „Environmentálne prínosy inovatívnych stratégií obhospodarovania trávnych porastov a využitia krajiny“, financovaného z kontraktu 1092/2022/MPRVSR–930.

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

### Literatúra

- Gibson, D. J. 2009. Grasses and grassland ecology. *Oxford University Press*: Oxford and New York 2009, 305 p. ISBN 978-0-19-85919-4
- Hopkins, A. *et al.* 1990. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen. 1. Herbage production and herbage quality. In *Grass and Forage Science* 45 (1), 1990, p. 43 – 55.
- Hraško, J., Bedrna, Z. 1988. Aplikované pôdoznanectvo. Bratislava: Príroda, 1988, 474 s.
- Jančovič, J., Ďurková, E., Vozár, L. 2005. Krmoviny I. Pestovanie poľných krmovín. Nitra: ÚVTIP, 2005, 100s. ISBN 80-89088-40-6
- Hrevušová, Z., Fuksa, P. 2022. Sucho na hnojených i nehnojených loukách. In *Pícninárské a trávnikárske listy*, 2022, roč. 28, s. 16-19.
- Janowiak, J., Spychaj-Fabisiak, E., Murawska, B. 1999. Relationship between soil properties and labile humus fraction content in soil. In *Humic Substances in Ecosystem* 3, 1999, 125 s. ISBN 83-906403-4-1
- Kobza, J. *et al.* 2010. Aktuálny stav a vývoj obsahu fosforu, draslíka a horčíka v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. In *Agrochémia*, 50 (1), 2010: 3-8. ISBN 1335-2415.
- Kobza, J. 2013. Súčasný stav a vývoj pôd Slovenska pod trávnyimi ekosystémami. In *Ekológia trávneho porastu*. Zborník vedeckých prác. Banská Bystrica: CVRV-VÚTPHP, 2013, s. 53-58. ISBN 987-80-89417-48-3
- Kováčiková, Z., Vargová, V., Michalec, M. 2012. Effects of non-fertilised grassland management intensity on herbage quality and quantity. In *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 58, 2012, no. 2, pp. 41–49. DOI: 10.2478/v10207-012-0005-8
- Labudová, L., Turňa, M., Ivaňáková, G., Krčová, I., Ridzoň J. 2021. Zhodnotenie sucha na Slovensku za rok 2021. <https://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1189>
- Maloch, M. 1953. Krmovinárstvo II. Bratislava: SPN, 1953, 616 s.
- Pearson, C. J., Ison, R.L. 1987. Agronomy of grassland systems. In *Cambridge University Press*, 1987, 169 p. ISBN 0-521-31009-1
- Peeters, A. 2004. Wild and Sown Grasses, Profiles of Temperate Species Selection: *Ecology Biodiversity and Use*. Rome and Oxford : FAO and Blackwell Publishing, 2004, 311 p. ISBN 1-4051-0529-1
- Vargová, V., Kováčiková, Z. 2023. Sucho na hnojenom trávnom poraste [Dry on fertilized grassland]. *Úroda* 7, roč. LXX, 2023, s. 94-96. ISSN 0139-6013. Dostupné na: <https://uroda.cz/sucho-na-hnojenom-travnom-poraste/>
- Vargová, V., Michalec, M. 2017. Vplyv hnojenia údolnej lúky na produkciu sušiny. In *Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri Slovenskej akadémii vied*, pobočka Nitra. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2017, pp. 119-126. ISBN 978-80-552-1691-1

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

# Potravinárska sekcia





## Aktivita vybraných rastlinných silíc proti nádorovej bunkovej línii prsníka

The activity of selected essential oils against breast cancer cell line

Petra BOROTOVÁ<sup>1,2</sup>, Lucia GALOVIČOVÁ<sup>3</sup>, Patrícia JOANIDIS<sup>1</sup>, Simona KUNOVÁ<sup>4</sup>, Eva TVRDÁ<sup>2</sup>, Miroslava KAČÁNIOVÁ<sup>3,5</sup>, Jana ŠTEFÁNIKOVÁ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Výskumné centrum AgroBioTech, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>2</sup>Ústav biotechnológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>3</sup>Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>4</sup>Ústav potravinárstva, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>5</sup>Katedra bioenergetiky, analýzy potravín a mikrobiológie, Inštitút technológie potravín a výživy, Univerzita Rzeszow, Cwiklinskiej 1, 35-601 Rzeszow, Poľsko

### Abstract

The aim of the research was to evaluate the anticancer activity of selected essential oils from Slovak company (*Thymus serpyllum*, *Syzygium aromaticum*, *Coriandrum sativum*, *Citrus aurantifolia*, *Thymus vulgaris*, and *Ocimum basilicum*). For this analysis, the MDA-MB-231 triple negative cancer cell line was selected. Cells were incubated for 24 and 48 hours with 300 µg/mL of essential oil. Subsequently, an MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) assay was used for evaluation of the metabolic activity of breast cancer cells. The best anticancer activity showed *Thymus vulgaris* with inhibition of 95.95 % and 93.96 % after 24 h and 48 h, respectively, *Citrus aurantifolia* with 94.01 % and 93.84 % inhibition, and *Thymus serpyllum* with 91.10 % and 90.98 % of inhibition. The weakest activity was evaluated at *Coriandrum sativum* (63.97 % and 71.12 %) and *Ocimum basilicum* (58.38 % and 54.89 %). The analysis was a preliminary screening of the high concentration, which selected the best possible oils for the next analyses of anticancer activity.

**Keywords:** anticancer activity, essential oils, breast cancer

### Úvod

Rastlinné silice sa vyrábajú z aromatických rastlín často využívaných v kulinárstve ako dochucovadlo, alebo korenie. Rastlinné silice sa skladajú z prchavých látok, najmä z terpénov a ich derivátov prípadne z fenyylpropanoidov. Sú aromatické, lipofilné a môžu byť tvorené zmesou viac ako 50 rôznych zlúčenín (Bhavaniramya et al., 2019). Sú syntetizované ako sekundárne metabolity v rôznych častiach rastliny. Ich primárnou úlohou v rastline je obrana voči patogénom, adaptácia na stresové podmienky, alebo na prilákanie hmyzu za účelom opelenia (Sharifi-Rad et al. 2017).

U rastlinných silíc boli pozorované mnohé zdravotné účinky, ako napríklad protizápalové a antiseptické vlastnosti. Taktiež môžu vplyvať pozitívne na gastrointestinálny alebo respiračný trakt (Cox-Georgian et al., 2019). Mnohé silice majú tiež silné antioxidantné účinky (Tit a Bungau, 2023). U rastlinných silíc sú známe aj protinádorové a cytotoxické vlastnosti. Tie sa prejavujú širokou škálou bunkových mechanizmov, najčastejšie však vplyvajú na hladiny proteínov zapojených v apoptotických dráhach buniek a na tumor supresorové proteíny (Mohamed Abdoul-Latif et al. 2023).

Rakovina prsníka je najčastejším nádorovým ochorením diagnostikovaným u žien. Je to druhá najčastejšia príčina úmrtia na rakovinu u žien na svete. Rakovina prsníka vzniká v dôsledku poškodenia DNA a genetických mutácií, ktoré môžu byť ovplyvnené hladinami estrogénu.

Často nádory vznikajú v dôsledku genetických predispozícií, ako sú mutácie v konkrétnych úsekoch DNA najmä tumor supresorových génov ako *BRCA1* a *BRCA2* (Alkabban a Ferguson, 2023). Problémy pri liečbe agresívnych nádorov prsníka sú pomerne bežné. Chemorezistencia a toxicita sú hlavnými príčinami zlyhania. Preto je dôležité skúmať a vyvinúť nové terapeutické činidlá, ktoré sa môžu špecificky a účinne viazať na bunky rakoviny prsníka. Na liečbu nádorových ochorení prsníka sa už teraz používajú látky, ktoré majú rastlinný pôvod. Medzi ne patrí napríklad zlúčená paklitaxel, ktorá bola primárne izolovaná z kôry Tisu krátkolistého (Schmid et al., 2018). Látky obsiahnuté v siliciach ako sú karvakrol, D-limonén, geraniol, myrcén, karyofylén, tymol, alebo citral už majú popísané potenciálne mechanizmy účinku (Gautam, Mantha, a Mittal, 2014). Synergizmus týchto komponentov rastlinných silíc už bol popísaný (Lesgards et al., 2014), avšak potreba skúmať nové možnosti liečby nádorových ochorení stále pokračuje. Cieľom práce bolo charakterizovať inhibičnú aktivitu vybraných jedlých rastlinných silíc voči nádorovej bunkovej línii prsníka – MDA-MB-321.

### **Materiál a metodika práce**

Na analýzu boli použité silice materina dúška (*Thymus serpyllum*), klinčeková (*Syzygium aromaticum*), koriandrová (*Coriandrum sativum*), limetková (*Citrus aurantifolia*), tymianová (*Thymus vulgaris*) a bazalková (*Ocimum basilicum*) zakúpené od firmy Hanus s.r.o. (Nitra, SK). Zásobný roztok silíc bol pripravený pomocou 100 % DMSO (Centralchem, Bratislava, SK) na koncentráciu 300 mg/ml.

Na analýzy protinádorovej aktivity bola použitá bunková línia karcinómu prsníka MDA-MB-231 (ATCC® HTB-26™). Kultivácia prebiehala v kultivačných fľašiach T75 v 20 ml Dulbeccovom modifikovanom Eaglovom médiu (DMEM, Massachusetts, USA), ktoré obsahovalo 10 % fetálneho bovinného séra, 1 % esenciálnych aminokyselín a 1 % antibiotík (10,000 j/ml penicilínu a 10 mg/ml streptomycínu). Bunky boli počas celej dĺžky analýz kultivované v inkubátore pri 37 °C v atmosfére obsahujúcej 5 % CO<sub>2</sub>.

Analýza protinádorovej aktivity prebiehala pomocou stanovenia aktivity mitochondriálnej dehydrogenázy – MTT testu (4,5-dimetyltiazol-2-yl)-2,5-difenyltetrazólium bromid (MTT; Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA). Do 96-jamkovej platničky bolo vysiatych 10 000 buniek na jamku. Po 24 hodinovej inkubácii bolo k bunkám pridaných 200 µl roztoku silice v DMEM o koncentrácii 300 µg/ml. Ako kontrola slúžilo kompletne DMEM médium. Inkubácia prebiehala 24 a 48 h. Po inkubácii bola zmes s prídavkami silíc odstránená a k bunkám bolo pridané MTT v koncentrácii 0,5 mg/ml. Inkubácia s MTT prebiehala 2,5 h. Následne bolo MTT odsaté a produkt reakcie bol rozpustený v 100 % DMSO. Absorbancia bola zmeraná spektrofotometricky pri 570 nm (Glomax, Promega Inc., Madison, WI, USA). Analýza prebehla v štyroch opakovaniach. Percento inhibície buniek bolo vypočítané podľa vzorca:

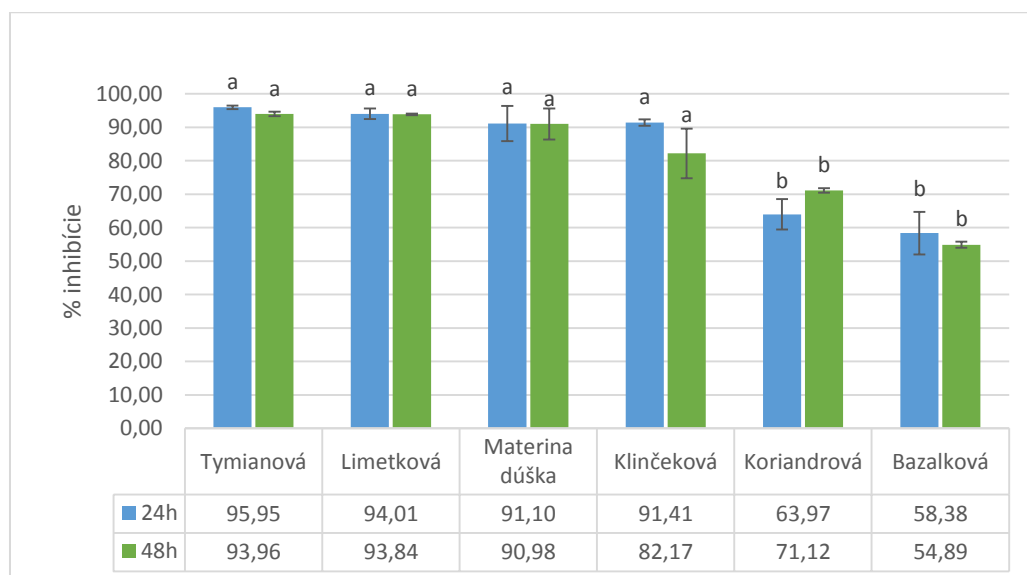
$$\text{Cytotoxická aktivita silice (\%)} = \frac{A_{\text{kontrola}} - A_{\text{vzorka}}}{A_{\text{kontrola}}} \times 100$$

Štatistické rozdiely boli vypočítané cez „One-Way ANOVA“ a Tukeyho HSD test na preukaznej úrovni  $p < 0,05$  pomocou online programu (<https://www.statskingdom.com/>).

### **Výsledky a diskusia**

Z testovaných silíc bolo viditeľné, že najlepšiu schopnosť inhibície mala tymianová silica, ktorá inhibovala aktivitu nádorovej bunkovej línie o 95,95 % po 24 hodinách a 93,96 % po 48 hodinách (Obrázok č.1.). Najslabšia aktivita spomedzi vybraných silíc bola pozorovaná u bazalkovej silice s inhibičnou schopnosťou 58,38 % a 54,89 % po 24 respektíve po 48 hodinách. Na základe štatistického vyhodnotenia možno testované silice rozdeliť do

dvoch skupín, medzi ktorými bol preukázaný štatistický rozdiel na úrovni  $p < 0,05$ . Do prvej skupiny patria silice: tymianová, limetková, materina dúška a klinček. Do druhej koriandrová a bazalková silica.



**Obrázok č. 1:** Inhibícia bunkovej línie MDA-MB-231 po inkubácii s vybranými rastlinnými silicami o koncentrácii 300  $\mu\text{g/ml}$ , stanovená pomocou MTT testu. a,b – predstavujú rozdiely na štatisticky preukaznej úrovni ( $p < 0,05$ ).

Nakoľko tieto silice boli analyzované v predošlých výskumoch, je známe ich chemické zloženie. Zastúpenie konkrétnych molekúl s najvyšším percentuálnym podielom je popísané v Tabuľke č. 1.

**Tabuľka č. 1:** Zastúpenie hlavných zložiek nachádzajúcich sa vo vybraných siliciach.

Silica	Zloženie	Literatúra
Tymianová	Tymol 48,1 %; <i>p</i> -cymén 11,7 %; 1,8-cineol 6,7 %; $\gamma$ -terpinén 6,1 %; karvakrol 5,5 %.	(Galovičová et al., 2021a)
Limetková	$\alpha$ -Felandrén 48,5 %; <i>p</i> -cymén 16,5 %; $\alpha$ -pinén 12,6 %; and ( <i>E,E</i> )- $\alpha$ -farnezen 12,6 %.	(Galovičová et al., 2022)
Materina dúška	Tymol 18,8 %; karvakrol 17,4 %; <i>o</i> -cymén, 15,4 %; and geraniol 10,7 %.	(Galovičová et al., 2021b)
Klinčeková	Eugenol 82,4 %; ( <i>E</i> )-karyofylén 14,0 %.	(Kačániová et al., 2021)
Koriandrová	$\beta$ -Linalol 66,07 %; kamfor 8,34 %; geranylacetát 6,91 %; cymén 6,35 %.	(Kačániová et al., 2020)
Bazalková	Methylchavikol 88,6 %; 1,8-cineol 4,2 %; $\alpha$ -trans-bergamotén 1,7 %.	(Kačániová et al., 2022)

Najsilnejšia aktivita spomedzi vybraných silíc v našej štúdiu bola zistená u tymianovej silici. Protinádorová aktivita tymianovej silice bola testovaná na nádorových líniiach prsníka (MCF-7), pľúc (H460) a voči bunkám akútnej lymfoblastickej leukémie MOLT-4. Antiproliferačná aktivita bola testovaná pomocou MTT metódy s hodnotami  $IC_{50}$  52,65  $\mu\text{g/ml}$  (MCF-7), 68,59  $\mu\text{g/ml}$  (H460) a 228,78  $\mu\text{g/ml}$  (MOLT-4) (Niksic et al., 2021). Al-Shahrani et al. (2017) testoval cytotoxickú aktivitu voči rovnakej bunkovej línii ako v našej štúdiu a zistil, že potrebná koncentrácia, ktorá inhibuje 50 % aktivity je po 48 hodinách nižšia ako po 24 hodinách. Tymol, ktorý sa v nami vybraných siliciach nachádzal ako hlavná zložka

u dvoch silíc, tymianovej a u materinej dúšky, vykazoval protinádorové účinky aj vo výskumoch na dvoch bunkových líniiach kolorektálneho karcinómu. Aktivita tejto látky bola stanovená po 48 hodinách na koncentráciu  $IC_{50}$  41,46  $\mu\text{g/ml}$  pre LoVo bunky a 46.74  $\mu\text{g/ml}$  pre HCT116 bunky (Zeng et al., 2020).

Limetková silica vykazovala taktiež vysokú inhibičnú aktivitu (94,01 % po 24 h a 93,84 % po 48 h) v testovanej koncentrácii 300  $\mu\text{g/ml}$ . V dostupnej literatúre sa nachádza málo zmienok o protinádorovej aktivite limetkovej silice voči nádorovým bunkám prsníka. Silica z limetky však bola schopná inhibovať bunky nádoru konečníka SW-480 o 78 % po 48 hodinách v koncentrácii 100  $\mu\text{g/ml}$  (Patil et al., 2009). Aktivita hlavnej zložky  $\alpha$ -felandrínu bola testovaná voči bunkám hepatocelulárneho karcinómu. Znížená viabilita buniek bola viditeľná už po 6 hodinách inkubácie s 30  $\mu\text{M}$   $\alpha$ -felandrínu (Hsieh et al., 2014).  $\alpha$ -Felandrín bol tiež schopný ovplyvniť apoptotické procesy v leukemických bunkách WEHI-3 (Lin et al., 2014).

Nanoemulzia z klinčekovej silice bola testovaná na protinádorovej línii prsníka (MCF-7) a pečene (HepG2). Protinádorový potenciál silice bol skúmaný aj v porovnaní so zdravou bunkovou líniiou, kde bolo dokázané, že cytotoxické vlastnosti vykazovala silica len voči nádorovej línii, čo naznačilo netoxický efekt na zdravé bunky (Nirmala et al., 2019). Protinádorové účinky hlavnej zložky – eugenolu boli popísané v práci Zari, Zari, a Hakeem (2021). V našej štúdii vykazovala klinčeková silica tretiu najsilnejšiu protirakovinovú aktivitu po 24 hodinách a štvrtú najsilnejšiu po 48 hodinách porovnaním vybraných šiestich silíc.

Napriek známym protinádorovým účinkom linalolu na bunkové línie prsníka (Elbe et al., 2022) bola v nami testovanej koriandrovej silici zistená slabšia aktivita v porovnaní s inými testovanými silicami. Protinádorová aktivita rastliny koriandru však bola pozorovaná na bunkovú líniu prsníka MCF-7 a hodnoty  $IC_{50}$  sa pohybovali od 200,0 do 432,3  $\mu\text{g/ml}$ , čo značí slabšiu aktivitu (Tang et al., 2013). V našej štúdii aj bazalková silica vykazovala vo zvolenej koncentrácii (300  $\mu\text{g/ml}$ ) slabší účinok. Niektoré štúdie uvádzajú prijateľnú aktivitu bazalkovej silice voči nádorovým líniiam (Perna et al., 2022). Eid et al. (2023) vo svojom výskume bazalkovej silice stanovil koncentráciu  $IC_{50}$  na 56,23  $\mu\text{g/ml}$  pre Hep3B nádorové bunky pečene a 80,35  $\mu\text{g/ml}$  pre MCF-7 nádorové bunky prsníka. Aburjai et al. (2020) stanovil slabšiu aktivitu silice z bazalky pre nádorové línie prsníka na  $IC_{50}$  hodnotu 432,3  $\mu\text{g/ml}$  pre MDA-MB-231 a 320,4  $\mu\text{g/ml}$  pre bunkovú líniu MCF7 čo korešponduje s našimi zisteniami.

## Záver

Zo skúmaných silíc vykazovali silnú inhibičnú aktivitu voči nádorovej línii prsníka MDA-MB-231 silice tymianová, limetková, materina dúška a klinčeková. Koriandrová a bazalková mali inhibičnú aktivitu voči nádorovej línii prsníka signifikantne slabšiu oproti ostatným testovaným siliciam. Analýza prebehla ako pilotný skrining viacerých silíc vo vyššej koncentrácii. V ďalšom kroku sa zameriame na testovanie vyselektovaných silíc v koncentračnom rozpätí, aby sa zistila najnižšia efektívna koncentrácia. Nádorové ochorenia sú potrebné skúmať pre svoju komplexnosť, pre vysokú úmrtnosť a slabú liečiteľnosť. Taktiež je dôležité hľadať nové spôsoby liečby, prípadne suplementy, ktoré by zvýšili úspešnosť liečby. Nakoľko silice vykazujú protinádorové účinky *in vitro*, je možné nájsť ich potenciálne využitie aj pri týchto ochoreniach. Silice ktoré boli testované sú jedlé a môžu sa využiť aj v potravinárskom priemysle, kde by mohli mať pozitívny vplyv pri prevencii tohto ochorenia.

## Podakovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu č. 18-GASPU-2021 “Moderné postupy a technológie zvyšujúce kvalitu vybraného sous-vide potravinového modelu” Grantovej agentúry SPU v Nitre; vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV-20-0058 „Potenciál rastlinných silíc z aromatických rastlín na lekárske použitie a na konzerváciu

potravín“, vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Podpora výskumných aktivít vo VC ABT, 313011T465.

**Kontaktná adresa:** Mgr. Petra Borotová, Výskumné centrum AgroBioTech, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, petra.borotova@uniag.sk

## Literatúra

- Aburjai, T. A., Mansi, K., Azzam, H., Alqudah, D. A., Alshaer, W., Abuirjei, M. 2020. Chemical Compositions and Anticancer Potential of Essential Oil from Greenhouse-cultivated *Ocimum basilicum* Leaves. In *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 82, pp. 179–184. Dostupné na doi: 10.36468/pharmaceutical-sciences.637.
- Alkabban, F. M., Ferguson, T. 2023. Breast Cancer. In *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Dostupné na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482286/>
- Al-Shahrani, M., Mahfoud, M., Anvarbatcha, R., Athar, M.T., Al-Asmari, A. 2017. Evaluation of antifungal activity and cytotoxicity of *Thymus vulgaris* essential oil. In *Pharmacognosy Communications*, vol. 7, pp. 34–40. Dostupné na doi: 10.5530/pc.2017.1.5
- Bhavaniramy, S., Vishnupriya, S., Al-Aboody, M. S., Vijayakumar, R., Baskaran, D. 2019. Role of Essential Oils in Food Safety: Antimicrobial and Antioxidant Applications. In *Grain & Oil Science and Technology*, vol. 2, pp. 49–55. Dostupné na doi: 10.1016/j.gaost.2019.03.001.
- Cox-Georgian, D., Ramadoss, N., Dona, C., Basu, C. 2019. Therapeutic and Medicinal Uses of Terpenes. In *Medicinal Plants*, pp. 333–359. Dostupné na doi: 10.1007/978-3-030-31269-5\_15
- Eid, A. M., Jaradat, N., Shraim, N., Hawash, M., Issa, L., Shakhsher, M., Nawahda, N., Hanbali, A., Barahmeh, N., Taha B., Mousa, A. 2023. Assessment of anticancer, antimicrobial, antidiabetic, anti-obesity and antioxidant activity of *Ocimum Basilicum* seeds essential oil from Palestine. In *BMC Complementary Medicine and Therapies*, vol. 23, pp. 221. Dostupné na doi: 10.1186/s12906-023-04058-w
- Elbe, H., Ozturk, F., Yigitturk, G., Baygar, T., Cavusoglu, T. 2022. Anticancer activity of linalool: comparative investigation of ultrastructural changes and apoptosis in breast cancer cells. In *Ultrastructural Pathology*, vol. 46, pp. 348–358. Dostupné na doi: 10.1080/01913123.2022.2091068
- Galovičová, L., Borotová, P., Valková, V., Vukovic, N. L., Vukic, M., Štefániková, J., Ďúranová, H., Kowalczewski, P. L., Čmiková, N., Kačániová, M. 2021a. *Thymus Vulgaris* Essential Oil and Its Biological Activity. In *Plants*, vol. 10, pp. 1959. Dostupné na doi: 10.3390/plants10091959
- Galovičová, L., Borotová, P., Valková, V., Vukovic, N. L., Vukic, M., Terentjeva, M., Štefániková, J., Ďúranová, H., Kowalczewski, P. L., Kačániová, M. 2021b. *Thymus serpyllum* Essential Oil and Its Biological Activity as a Modern Food Preserver. In *Plants*, vol. 10, pp. 1416. Dostupné na doi: 10.3390/plants10071416
- Galovičová, L., Borotová, P., Vukovic, N. L., Vukic, M., Kunová, S., Hanus, P., Kowalczewski, P. L., Bakay, L., Kačániová, M. 2022. The Potential Use of *Citrus Aurantifolia* L. Essential Oils for Decay Control, Quality Preservation of Agricultural Products, and Anti-Insect Activity. In *Agronomy*, vol. 12, pp. 735. Dostupné na doi: 10.3390/agronomy12030735
- Gautam, N., Mantha, A. K., Mittal, S. 2014. Essential Oils and Their Constituents as Anticancer Agents: A Mechanistic View. In *BioMed Research International*, vol. 2014, pp. 154106. Dostupné na doi: 10.1155/2014/154106
- Hsieh, S.-L., Li, Y.-C., Chang, W.-C., Chung, J.-G., Hsieh, L.-C., Wu, C.-C. 2014. Induction of Necrosis in Human Liver Tumor Cells by  $\alpha$ -Phellandrene. In *Nutrition and Cancer*, vol. 66, pp. 970–979. Dostupné na doi: 10.1080/01635581.2014.936946
- Kačániová, M., Galovičová, L., Borotová, P., Valková, V., Ďúranová, H., Kowalczewski, P. L., Said-Al Ahl, H. A. H., Hikal, W. M., Vukic, M., Savitskaya, T., Grinshpan, D., Vukovic N. L., 2021. Chemical Composition, *In Vitro* and *In Situ* Antimicrobial and Antibiofilm Activities of *Syzygium Aromaticum* (Clove) Essential Oil. In *Plants*, vol. 10, pp. 2185. Dostupné na doi: 10.3390/plants10102185
- Kačániová, M., Galovičová, L., Borotová, P., Vukovic, N. L., Vukic, M., Kunová, S., Hanus, P., Bakay, L., Zagrobelna, E., Kluz, M., Kowalczewski, P. L. 2022. Assessment of *Ocimum Basilicum* Essential Oil Anti-Insect Activity and Antimicrobial Protection in Fruit and Vegetable Quality. In *Plants*, vol. 11, pp. 1030. Dostupné na doi: 10.3390/plants11081030
- Kačániová, M., Galovičová, L., Ivanišová, E., Vukovic, N. L., Štefániková, J., Valková, V., Borotová, P., Žiarovská, J., Terentjeva, M., Felšöciová, S., Tvrďá, E. 2020. Antioxidant, Antimicrobial and Antibiofilm

- Activity of Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) Essential Oil for Its Application in Foods. In *Foods*, vol. 9, pp. 282. Dostupné na doi: 10.3390/foods9030282
- Lesgards, J.-F., Baldovini, N., Vidal, N., Pietri, S. 2014. Anticancer Activities of Essential Oils Constituents and Synergy with Conventional Therapies: A Review. In *Phytotherapy Research: PTR*, vol. 28, pp. 1423–1446. Dostupné na doi: 10.1002/ptr.5165
- Lin, J.-J., Yu, C.-C., Lu, K.-W., Chang, S.-J., Yu, F.-S., Liao, C.-L., Lin, J.-G., Chung, J.-G. 2014.  $\alpha$ -Phellandrene Alters Expression of Genes Associated with DNA Damage, Cell Cycle, and Apoptosis in Murine Leukemia WEHI-3 Cells. In *Anticancer Research*, vol. 34, pp. 4161–4180
- Mohamed Abdoul-Latif, F., Ainane, A., Houmed Aboubaker, I., Mohamed, J., Ainane, T. 2023. Exploring the Potent Anticancer Activity of Essential Oils and Their Bioactive Compounds: Mechanisms and Prospects for Future Cancer Therapy. In *Pharmaceuticals*, vol. 16, pp. 1086. Dostupné na doi: 10.3390/ph16081086
- Niksic, H., Becic, F., Koric, E., Gusic, I., Omeragic, E., Muratovic, S., Miladinovic, B., Duric, K. 2021. Cytotoxicity Screening of *Thymus Vulgaris* L. Essential Oil in Brine Shrimp Nauplii and Cancer Cell Lines. In *Scientific Reports*, vol. 11, pp. 13178. Dostupné na doi: 10.1038/s41598-021-92679-x
- Nirmala, M. J., Durai, L., Gopakumar, V., Nagarajan, R. 2019. Anticancer and antibacterial effects of a clove bud essential oil-based nanoscale emulsion system. In *International Journal of Nanomedicine*, vol. 14, pp. 6439–6450. Dostupné na doi: 10.2147/IJN.S211047
- Patil, J.R., Jayaprakasha, G. K., Chidambara Murthy, K. N., Tichy, S. E., Chetti, M. B., Patil, B. S. 2009. Apoptosis-mediated proliferation inhibition of human colon cancer cells by volatile principles of *Citrus aurantifolia*. In *Food Chemistry*, vol. 114, 1351–1358. Dostupné na doi: 10.1016/j.foodchem.2008.11.033
- Perna, S., Alawadhi, H., Riva, A., Allegrini, P., Petrangolini, G., Gasparri, C., Alalwan, T. A., Rondanelli, M. 2022. *In Vitro* and *In Vivo* Anticancer Activity of Basil (*Ocimum* spp.): Current Insights and Future Prospects. In *Cancers*, vol. 14, pp. 2375. Dostupné na doi: 10.3390/cancers14102375
- Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G. C., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., Tundis, R., Sharifi-Rad, M., Loizzo, M. R., Ademiluyi, A. O., Sharifi-Rad, R., Ayatollahi, S. A., Iriti, M. 2017. Biological Activities of Essential Oils: From Plant Chemoecology to Traditional Healing Systems. In *Molecules: A Journal of Synthetic Chemistry and Natural Product Chemistry*, vol. 22, pp. 70. Dostupné na doi: 10.3390/molecules22010070
- Schmid, P., Adams, S., Rugo, H. S., Schneeweiss, A., Barrios, C. H., Iwata, H., Diéras, V., Hegg, R., Im, S.-A., Shaw Wright, G., Henschel, V., Molinero, L., Chui, S. Y., Funke, R., Husain, A., Winer, E. P., Loi, S., Emens, L. A. 2018. Atezolizumab and Nab-Paclitaxel in Advanced Triple-Negative Breast Cancer. In *The New England Journal of Medicine*, vol. 379, pp. 2108–2121. Dostupné na doi: 10.1056/NEJMoa1809615
- Tang, E. L. H., Rajarajeswaran, J., Fung, S. Y., Kanthimathi, M. S. 2013. Antioxidant activity of *Coriandrum sativum* and protection against DNA damage and cancer cell migration. In *BMC Complementary and Alternative Medicine*, vol. 13, pp. 347. Dostupné na doi: 10.1186/1472-6882-13-347
- Tit, D. M., Bungau, S. G. 2023. Antioxidant Activity of Essential Oils. In *Antioxidants*, vol. 12, pp. 383. Dostupné na doi: 10.3390/antiox12020383
- Zari, A. T., Zari, T. A., Hakeem, K. R. 2021. Anticancer Properties of Eugenol: A Review. In *Molecules*, vol. 26, pp. 7407. Dostupné na doi: 10.3390/molecules26237407
- Zeng, Q., Che, Y., Zhang, Y., Chen, M., Guo, Q., Zhang, W. 2020. Thymol Isolated from *Thymus Vulgaris* L. Inhibits Colorectal Cancer Cell Growth and Metastasis by Suppressing the Wnt/ $\beta$ -Catenin Pathway. In *Drug Design, Development and Therapy*, vol. 14, pp. 2535–2547. Dostupné na doi: 10.2147/DDDT.S254218

## Vplyv rastlinných silíc na obsah vitamínu C, organoleptické a texturálne vlastnosti sous- vide mrkvy

The effect of essential oils on the content of vitamin C, organoleptic and textural properties of  
sous-vide carrot

Patrícia JOANIDIS<sup>1</sup>, Lucia BENEŠOVÁ<sup>1</sup>, Petra BOROTOVÁ<sup>1,2</sup>, Ivana MEZEYOVÁ<sup>3</sup>,  
Simona KUNOVÁ<sup>4</sup>, Miroslava KAČÁNIOVÁ<sup>3,5</sup>, Jana ŠTEFÁNIKOVÁ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Výskumné centrum AgroBioTech, <sup>2</sup>Ústav aplikovanej biológie, Fakulta biotechnológie  
a potravinárstva, <sup>3</sup>Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, <sup>4</sup>Ústav  
potravinárstva, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska  
univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>5</sup>Katedra bioenergetiky, analýzy potravín a mikrobiológie, Inštitút technológie potravín a  
výživy, Univerzita Rzeszow, Cwiklinskiej 1, 35-601 Rzeszow, Poľsko

### Abstract

The present study aimed to evaluate the effect of three different plant essential oils (may chang, thyme, and lime EO) on the content of vitamin C, textural, and organoleptic properties of carrots prepared by the sous-*vide* method. Our results indicated that the sample with may chang EO had the best results in overall impression in sensory analysis (5.40 points) and more significantly increased the amount of vitamin C (417.33 mg/kg DW) compared with the control (5.00 points, 175.67 mg/kg DW, respectively). Thyme EO had no effect on the vitamin C content ( $\alpha > 0.05$ ). On the other hand, the content of vitamin C decreased significantly with lime EO (107.04 mg/kg DW). Furthermore, the toughness and firmness of the enriched samples were not different from the control sample ( $\alpha > 0.05$ ) except for thyme in toughness parameter. A significant difference ( $\alpha < 0.05$ ) was observed between the samples with thyme (6.70 and 6.70 points) and lime EO (3.60 and 3.30 points) in the smell and taste parameters. Finally, based on our results we can conclude that the most suitable EO to sous-*vide* carrot is may chang.

**Keywords:** sensory analysis, texture, *Daucus carota*, vacuum cooking, HPLC-DAD

### Úvod

Mrkva (*Daucus carota*) sa celosvetovo zaraďuje medzi najčastejšie konzumované a spotrebiteľmi vyhľadávané koreňové zeleniny. Vďaka obsahu veľkého množstva rôznych nutričných látok, vrátane karotenoidov, vlákniny a fenolov, je považovaná za funkčnú a zdravú potravinu (Jacobsohn et al., 2023). V súčasnej dobe neustále narastá záujem nielen o zdravé potraviny, ale aj o rôzne spôsoby ich prípravy (napr. naparovanie, pečenie, konvenčné varenie či varenie sous-*vide*). Ich úlohou je zintenzívniť zachovanie množstva živín a zlepšiť organoleptické vlastnosti (Baardseth et al., 2010). Metóda sous-*vide* (SV), z francúzskeho slova „vo vákuu“, predstavuje varenie vo vákuových vreckách za kontrolovaných podmienok teploty a času (Schellekens, 1996). Na rozdiel od mäsa (65-70 °C) sa pri SV zelenine odporúčajú vyššie teploty približujúce sa 100 °C (Sila et al., 2006). Počas procesu SV dochádza k nižšej oxidácii karotenoidov (Patras et al., 2010, Chiavari et al., 2012) a menším stratám vlhkosti a prchavých látok, ktoré ovplyvňujú arómu a chuť, v porovnaní s tradičným varením (Baldwin, 2012). Zároveň si zelenina zachováva vyšší obsah vit. C (Patras et al., 2010). Rastlinné esenciálne silice (essential oils – EO) sa v potravinách používajú najmä pre ich antimikrobiálnu a antifungálnu aktivitu (Jiang et al., 2011). EO sa najčastejšie získavajú extrakciou z koreňov, kmeňov, kôry, stoniek, listov, kvetov alebo plodov rastlín (Ju et al., 2018). Vavrín kubébový (*Litsea cubeba* Pers.) rastie najmä v južných až juhovýchodných častiach Ázie (Wang et al., 2021). Používa sa najmä v Čínskej medicíne a ako ochucovadlo v potravinách (Wang et al., 2021). Hlavnými zložkami esenciálnej silice z vavrína

kubébového sú citral, D-limonén a linalool (Yang et al., 2014), ktoré sa podieľajú na jeho antioxidantných, antibiofilmových, antibakteriálnych a antiseptických vlastnostiach (Wang et al., 2021). EO z limety (*Citrus aurantifolia*), ktorý sa vyznačuje najmä svojimi antioxidantnými vlastnosťami (Spadaro et al., 2012) má využitie ako vonná zložka v kozmetickom priemysle a ako ochucujúca zložka v potravinách, nápojoch a vo farmácii. V najvyššom zastúpení obsahuje D-limonén,  $\gamma$ -terpinén,  $\beta$ -pinén,  $\alpha$ -citral,  $\beta$ -bisabolén a  $\beta$ -citral (Ribeiro Corrêa et al., 2023). Tymián (*Thymus vulgaris* L.) patrí medzi typické liečivé aromatické byliny využívané v gastronomickom priemysle. Zloženie tvoria najmä terpény ako geraniol,  $\alpha$ -terpineol, linalool, 1,8-cineol, karvakrol a tymol (Samah a Hoda, 2021). Pridávanie aromatických EO do potravín má vplyv na celkovú arómu a chuť, čo môže mať negatívny efekt na prijateľnosť spotrebiteľmi (Ahmed et al., 2021). Cieľom našej práce bolo zhodnotiť vplyv jednotlivých rastlinných silíc na obsah vitamínu C a na organoleptické a texturálne vlastnosti mrkvy pripravenej s využitím metódy sous-vide.

### Materiál a metodika práce

Hodnotené vzorky mrkvy (*Daucus carota*) boli vypestované v Botanickej záhrade Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre v roku 2022. Odroda „Karola“ je typická neskorá odroda s vysokou úrodnosťou, intenzívnym sfarbením a dĺžkou koreňa 16-18 cm. Po očistení a opláchnutí pitnou vodou boli korene prekrojené na polovice po pozdĺžnom aj priečnom okraji. Následne bolo 120 g vzorky mrkvy vložených do vákuovacieho vrečka. Po pridaní 2,4 ml 0,2% roztoku silice (vavrín kubébový, tymián, limeta; Hanus-bylinné prípravky, Slovensko) boli vzorky varené vo vákuu vo vodnom kúpeli počas 15 minút pri teplote 90 °C. Kontrolná vzorka neobsahovala olej ani silice. Teplota a čas varenia boli vopred určené na základe výsledkov zo sensorickej analýzy. Ihneď po uvarení boli vzorky šokovo schladené v ľade a skladované v chladničke do druhého dňa. V troch vzorkách obohatených o rastlinné silice a kontrolnej vzorke bol stanovovaný vitamín C, texturálne a organoleptické vlastnosti. Obsah vitamínu C bol analyzovaný pomocou HPLC-DAD (Infinity 1260, Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA). Bola použitá modifikovaná metóda podľa Mazurek a Jamroz (2015) s CORTECS C18 kolónou 150 mm  $\times$  4,6 mm, s veľkosťou častíc 2,7  $\mu$ m a mobilnými fázami 0,1% kyselina fosforečná (70%) a acetonitril (30%) s prietokom 0,5 ml/ml. Každá vzorka bola meraná trikrát. Na hodnotenie textúry (práca noža/húževnatosť a pevnosť) bol použitý texturometer TA.XT plus (Stable Micro Systems, Godalming, United Kingdom) so strižnou čepelou Warner Bratzler. Nastavenie texturometra je uvedené v Tabuľke 1. Každá vzorka bola meraná 6 krát.

**Tabuľka 1** Nastavenie texturometra

Nastavenie texturometra TA.XT Plus	
Testovací režim	Meranie tlakovej sily
Rýchlosť pohybu sondy pred testovaním	1,50 mm/s
Rýchlosť pohybu sondy počas testovania	1,50 mm/s
Rýchlosť pohybu sondy po testovaní	10,00 mm/s
Hĺbka prieniku sondy do vzorky	30 mm
Typ spustenia	Auto – 40 g
Resetovací režim	Auto
Frekvencia získavania údajov	200 pps
Sonda (HDP/BS) (Warner Bratzler čepel')	5 kg silomer

Senzorického hodnotenia sa zúčastnilo 10 školených hodnotiteľov (8 žien a 2 muži) vo veku 28-47 rokov. Hodnotenie prebiehalo v dopoludňajších hodinách v Sensorickom laboratóriu vo



Výskumnom centre AgroBioTech. Na 9 bodovej intenzitnej škále (1-najnižšia intenzita, 9-najvyššia intenzita) hodnotitelia analyzovali vzorky so zameraním sa na znaky: intenzita oranžovej farby (min.=žltá mrkva; max.=tmavo-oranžová mrkva), pach po silici (min.= veľmi slabý pach po silici; max.= veľmi silný pach po silici), chrumkavosť (min.= minimum, veľmi tichý zvuk; max.= maximum, veľmi hlasný zvuk), žuvateľnosť (min.= minimálna sila, vzorka rýchlo zmizne v ústach; max.= maximálna sila, rozžúť vzorku trvá dlho, viac ako 20 rozžutí), sladká chuť (min.= veľmi slabá sladká chuť; max.= veľmi silná sladká chuť), chuť po silici (min.= veľmi slabá chuť po silici; max.= veľmi silná chuť po silici), dochuť (min.= žiadna dochuť; max.= veľmi intenzívna dochuť) a celkový dojem (vyrovnanosť medzi pachovými, texturálnymi a chuťovými parametrami; min. = minimálna vyrovnanosť; max.= maximálna vyrovnanosť). Získané výsledky boli spracované pomocou štatistického softvéru XLSTAT (v.2023.1.6). Výsledky boli vyhodnotené pomocou Shapiro-Wilkovho testu, ANOVA a Tukeyho testu na hladine významnosti  $\alpha \leq 0,05$ .

## Výsledky a diskusia

### *Stanovenie vitamínu C*

V kontrolnej vzorke, v sous-vide mrkve, ako aj v SV mrkve s prídavkom vybraných rastlinných silíc bol stanovený obsah vitamínu C (Tabuľka 2). Kontrolná vzorka obsahovala  $175,67 \pm 10,62$  mg/kg vitamínu C. Výrazný nárast koncentrácie vitamínu C ( $417,33 \pm 5,87$  mg/kg) bol vo vzorke SV mrkvy s prídavkom vavrínu kubébového. Naopak, po prídavku limetovej silice sa vo vzorkách SV mrkvy zaznamenal štatisticky preukazný úbytok obsahu vitamínu C  $107,04 \pm 39,51$  ( $\alpha \leq 0,05$ ). Prídavok tymiánu do vákuového balenia k mrkve, pred varením, nemal štatisticky výrazný vplyv na obsah vitamínu C ( $\alpha \geq 0,05$ ). Neexistujú štúdie, ktoré by sledovali zmeny obsahu vitamínu C v sous-vide zelenine s prídavkom EO, avšak štúdia López-Gómez et al. (2023) sa ako prvá venovala štúdiu účinkov EO ako aktívnych obalov na hlavný antioxidačný systém skladovaného citróna (aktivity enzýmov, vitamín C, kyselina dehydroaskorbová a fenolové zlúčeniny). V tejto štúdii potvrdili nárast obsahu vitamínu C v citrónu uskladnenom v aktívnom obale z EO oproti kontrole, pravdepodobne v dôsledku ochranného účinku EO (López-Gómez et al., 2023).

### *Hodnotenie textúry*

Z priemerných hodnôt nameraných texturometrom (Tabuľka 2) sa zistilo, že pri parametri práca noža/húževnosť boli najvyššie hodnoty zaznamenané u kontroly  $23,96 \pm 5,17$  N/mm.sec a najnižšie hodnoty boli u vzorky s prídavkom tymiánu  $14,28 \pm 4,53$  N/mm.sec. Medzi týmito vzorkami bol potvrdený aj štatisticky preukazný rozdiel na úrovni  $\alpha \leq 0,05$ , čo znamená, že

prídavok tymiánovej silice výrazne znížil húževnosť produktu. Naše výsledky sa čiastočne zhodujú s výsledkami štúdiu Ayala-Zavala et al. (2009), v ktorej riešili vplyv silíc na textúru zemiakov a uvádzajú, že prídavok silíc by mal znižovať rýchlosť mäknutia. Pri parametri pevnosť boli najvyššie hodnoty namerané opäť u kontroly  $2,98 \pm 0,94$  N/mm, naopak najnižšie hodnoty boli u vzorky s prídavkom vavrínu kubébového  $1,85 \pm 0,75$  N/mm. Pri tomto parametri neboli medzi vzorkami zistené žiadne štatisticky preukazné rozdiely  $\alpha \geq 0,05$ . Možno povedať, že vybrané rastlinné silice sú vhodné na použitie sous-vide mrkvy z hľadiska nemennosti pevnosti produktu. Toto vyjadrenie je v súlade s výskumom Tzortzakakis (2007), v ktorom aplikovali EO na paradajky a potvrdili, že si zachovali svoju pevnosť.

**Tabuľka 2** Priemerné hodnoty texturálnych parametrov stanovené texturometrom a priemerné koncentrácie vitamínu C stanovené HPLC-DAD v sous-vide mrkve s prídavkom vybraných silíc a v kontrolnej vzorke

Vzorka	Analýza textúry		Stanovenie vit. C
	Práca noža/húževnatosť (N/mm.sec)	Pevnosť (N/mm)	mg vitamínu C/kg sušiny
Kontrola	23,96 <sup>ab</sup> ± 5,17	2,98 <sup>ab</sup> ± 0,94	175,67 <sup>b</sup> ± 10,62
Vavrín kubébový	23,72 <sup>abc</sup> ± 8,51	1,85 <sup>b</sup> ± 0,75	417,33 <sup>a</sup> ± 5,87
Tymián	14,28 <sup>c</sup> ± 4,53	2,92 <sup>ab</sup> ± 1,26	154,69 <sup>b</sup> ± 16,60
Limeta	20,28 <sup>bc</sup> ± 3,30	2,04 <sup>b</sup> ± 0,43	107,04 <sup>c</sup> ± 39,51

Poznámka: Výsledky z hodnotenia texturálnych parametrov (n=6) a výsledky z hodnotenia stanovenia koncentrácie vitamínu C (n=3) sú vyjadrené ako priemer ± smerodajná odchýlka; <sup>a,b,c</sup> – rozdielne písmená v hornom indexe predstavujú rozdiely medzi vzorkami na štatisticky preukaznej úrovni ( $\alpha \leq 0,05$ ).

### Senzorické hodnotenie

Pri obohacovaní potravín o esenciálne silice musíme brať do úvahy ich vplyv na organoleptické vlastnosti (Tabuľka 3). Počas hodnotenia boli štatisticky preukazné rozdiely ( $\alpha < 0,05$ ) pozorované pri znakoch intenzita oranžovej farby, pach po silici a chuť po silici. Podobnú farbu ako kontrola (K) si zachovali vzorky s prídavkom tymiánového a limetového EO (6 bodov, 5,4 bodu a 6 bodov, respektívne). Naopak vzorka obohatená o EO z vavrína kubébového bola preukazne bledšia (4,2 bodu) ako kontrola a vzorka s prídavkom EO z limety ( $\alpha < 0,05$ ). Čo sa týka pachu a chuti po prídavku rastlinných silíc, preukazný rozdiel ( $\alpha < 0,05$ ) bol pozorovaný medzi vzorkami s tymiánovou (6,7 bodu a 6,7 bodu) a limetovou silicou (3,6 bodu a 3,3 bodu), pričom vzorka s obsahom tymiánovej silice bola označená za intenzívnejšiu v oboch znakoch. Pri hodnotení ostatných znakov neboli medzi vzorkami pozorované preukazné rozdiely ( $\alpha > 0,05$ ), takže na hodnotiteľov pôsobili vzorky rovnako. Trejo Araya et al. (2009) a Koç et al. (2017) uskutočnili senzorické hodnotenie SV mrkvy s 10 trébovanými hodnotiteľmi avšak bez prídavku silíc. Vo svojich štúdiách sa venovali vplyvu rôznych spôsobov varenia, vrátane SV, na organoleptické vlastnosti mrkvy. Na základe lepšieho zachovania farby a nutrientov je podľa Koç et al. (2017) najvhodnejšie použiť SV techniku. Gutierrez et al. (2009) vo svojej práci sledovali prijateľnosť tymiánovej a oreganovej silice na čerstvú mrkvu a šalát, pričom hodnotiteľom počas doby skladovania vyhovovala iba kombinácia týchto silíc s mrkvou. Okrem toho boli účinky rastlinných silíc (tymián, vavrín) na organoleptické vlastnosti sledované aj na mäse a mäsových výrobkoch (Mantzourani et al., 2023), rybách (Erkan et al., 2011), jahodách (Martínez et al., 2018, Tančinová et al., 2022) a na ovse (Božik et al., 2017). V dostupnej literatúre neexistujú relevantné štúdie, ktoré by sa venovali vplyvu rastlinných silíc na organoleptické vlastnosti SV mrkvy.

**Tabuľka 3** Vplyv vybraných rastlinných silíc na organoleptické vlastnosti SV mrkvy

Hodnotený znak	Vzorky			
	Kontrola	Vavrín kubébový	Tymián	Limeta
Intenzita oranžovej farby	6,00 <sup>a</sup> ± 0,00	4,20 <sup>b</sup> ± 0,75	5,40 <sup>ab</sup> ± 1,28	6,00 <sup>a</sup> ± 1,55
Pach po silici	NA	5,30 <sup>ab</sup> ± 1,55	6,70 <sup>a</sup> ± 1,35	3,60 <sup>b</sup> ± 1,02
Chrumkavosť	5,00 <sup>a</sup> ± 0,00	5,70 <sup>a</sup> ± 1,55	4,70 <sup>a</sup> ± 1,55	6,10 <sup>a</sup> ± 1,22
Žuvateľnosť	6,00 <sup>a</sup> ± 0,00	5,50 <sup>a</sup> ± 1,28	4,20 <sup>a</sup> ± 1,66	6,00 <sup>a</sup> ± 1,10

Hodnotené znaky	Vzorky			
	Kontrola	Vavrín kubébový	Tymián	Limeta
Sladká chuť	5,00 <sup>a</sup> ± 0,00	4,70 <sup>a</sup> ± 1,19	5,00 <sup>a</sup> ± 1,41	5,20 <sup>a</sup> ± 1,83
Chuť po silici	NA	4,90 <sup>ab</sup> ± 1,51	6,70 <sup>a</sup> ± 1,10	3,30 <sup>b</sup> ± 1,49
Dochuť	4,00 <sup>a</sup> ± 0,00	5,00 <sup>a</sup> ± 1,55	5,60 <sup>a</sup> ± 1,50	4,00 <sup>a</sup> ± 1,00
Celkový dojem	5,00 <sup>a</sup> ± 0,00	5,40 <sup>a</sup> ± 1,28	5,00 <sup>a</sup> ± 1,34	5,20 <sup>a</sup> ± 1,47

Poznámka: Výsledky sú vyjadrené ako priemer ± štandardná odchýlka bodového ohodnotenia získaného od 10 hodnotiteľov; NA – neaplikovateľné; <sup>a,b</sup> – rozdielne písmená v hornom indexe predstavujú rozdiely medzi vzorkami na štatisticky preukaznej úrovni ( $\alpha < 0,05$ ).

## Záver

Celkovo môžeme výsledky zo senzorickej analýzy sous-vide (SV) mrkvy zhodnotiť veľmi pozitívne, nakoľko prídavok rastlinných silíc (EO) nemal negatívny vplyv na sledované znaky v porovnaní s kontrolnou vzorkou. K známym antimikrobiálnym a antioxidačným aktivitám vybraných EO sme predložili výsledky senzorickej analýzy, na základe ktorej možno predpokladať vhodnosť použitia vybraných EO (vavrín kubébový, tymián a limeta) na predĺženie trvanlivosti SV mrkvy bez výraznej, resp. nepríjemnej zmeny organoleptických vlastností. Z testovaných silíc je za najvhodnejšiu silicu odporúčaný vavrín kubébový, ktorý mal najlepšie bodové hodnotenie v celkovom dojme a zvýšil obsah vitamínu C v SV mrkve, ktorá zároveň ostala rovnako húževnatá ako kontrola bez štatisticky významnej zmeny pevnosti. Tymiánová silica mala štatisticky nevýznamný vplyv na zmenu obsahu vitamínu C a zmenu pevnosti mrkvy oproti kontrolnej vzorky. Na základe získaných výsledkov je možné odporučiť silice v poradí vavrín kubébový > limeta > tymián.

## Podakovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu č. 18-GASPU-2021 “Moderné postupy a technológie zvyšujúce kvalitu vybraného sous-vide potravinového modelu” Grantovej agentúry SPU v Nitre; vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV-20-0058 „Potenciál rastlinných silíc z aromatických rastlín na lekárske použitie a na konzerváciu potravín“; vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Podpora výskumných aktivít vo VC ABT, 313011T465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a 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.

**Kontaktná adresa:** Ing. Patrícia Joanidis, PhD., Výskumné centrum AgroBioTech, SPU v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, e-mail: patricia.joanidis@uniag.sk

## Literatúra

- Ahmed, L. I., Ibrahim, N., Abdel-Salam, A. B., Mogahed Fahim, K. 2021. Potential application of ginger, clove and thyme essential oils to improve soft cheese microbial safety and sensory characteristics. In *Food Bioscience*, vol. 42, 14 pp. Dostupné na: doi: 10.1016/j.fbio.2021.101177
- Ayala-Zavala, J. F., González-Aguilar, G. A., Del-Toro-Sánchez, L. 2009. Enhancing Safety and Aroma Appealing of Fresh-Cut Fruits and Vegetables Using the Antimicrobial and Aromatic Power of Essential Oils. In *Journal of Food Science*, vol. 74, no. 7, pp. R84-91. Dostupné na: doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01294.x
- Baardseth, P., Bjerke, F., Martinsen, B. K., Skrede, G. 2010. Vitamin C, total phenolics and antioxidative activity in tip-cut green beans (*Phaseolus vulgaris*) and swede rods (*Brassica napus* var. *napobrassica*) processed by methods used in catering. In *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 90, no. 7, pp. 1245-1255. Dostupné na: doi: 10.1002/jsfa.3967

- Baldwin, D. E. 2012. Sous vide cooking: A review. In *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 1, no. 1, pp. 15-30. Dostupné na: doi: 10.1016/j.ijgfs.2011.11.002
- Božik, M., Cíсарová, M., Tančinová, D., Kouřimská, L., Hleba, L., Klouček, P. 2017. Selected essential oil vapours inhibit growth of *Aspergillus* spp. in oats with improved consumer acceptability. In *Industrial Crops and Products*, vol. 98, pp. 146-152. Dostupné na: doi: 10.1016/j.indcrop.2016.11.044
- El-Sayed, S. M., El-Sayed, H. S. 2021. Antimicrobial nanoemulsion formulation based on thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil for UF labneh preservation. In *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 10, pp. 1029-1041. Dostupné na: doi: 10.1016/j.jmrt.2020.12.073
- Erkan, N., Tosun, Ş. Y., Ulusoy, Ş., Üretener, G. 2011. The use of thyme and laurel essential oil treatments to extend the shelf life of bluefish (*Pomatomus saltatrix*) during storage in ice. In *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, vol. 6., pp. 39-48. Dostupné na: doi: 10.1007/s00003-010-0587-x
- Gutierrez, J., Bourke, P., Lonchamp, J., Barry-Ryan, C. 2009. Impact of plant essential oils on microbiological, organoleptic and quality markers of minimally processed vegetables. In *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 10, no. 2, pp. 195-202. Dostupné na: doi: 10.1016/j.ifset.2008.10.005
- Chiavaro, E., Mazzeo, T., Visconti, A., Manzi, C., Fogliano, V., Pellegrini, N. 2012. Nutritional Quality of Sous Vide Cooked Carrots and Brussels Sprouts. In *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 60, no. 23, pp. 6019-6025. Dostupné na: doi: 10.1021/jf300692a
- Jacobo-Velázquez, D. A. 2023. Transformation of carrots into novel food ingredients and innovative healthy foods. In *Applied Food Research*, vol. 3, no. 1, 6 pp. Dostupné na: doi: 10.1016/j.afres.2023.100303
- Jiang, Y., Wu, N., Fu, Y. J., Wang, W., Luo, M., Zhao, C. J., Zu, Y. G., Liu, X. L. 2011. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of Rosemary. In *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 32, no. 1, pp. 63-68. Dostupné na: doi: 10.1016/j.etap.2011.03.011
- Ju, S. P., Chen, H. Y., Shih, C. W. 2018. Investigating mechanical properties of polymethylmethacrylate/silver nanoparticle composites by molecular dynamics simulation. In *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 20, no. 1, 17 pp. Dostupné na: doi: 10.1007/s11051-017-4105-2
- Koç, M., Baysan, U., Devseren, E., Okut, D., Atak, Z., Karataş, H., Kaymak-Ertekin, F. 2017. Effects of different cooking methods on the chemical and physical properties of carrots and green peas. In *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 42, pp. 109-119. Dostupné na: doi: 10.1016/j.ifset.2017.06.010
- Mantzourani, I., Daoutidou, M., Nikolaou, A., Kourkoutas, Y., Alexopoulos, A., Tzavellas, I., Dasenaki, M., Thomaidis, N., Plessas, S. 2023. Microbiological stability and sensorial valorization of thyme and oregano essential oils alone or combined with ethanolic pomegranate extracts in wine marinated pork meat. In *International Journal of Food Microbiology*, vol. 386, 9 pp. Dostupné na: doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.110022
- Martínez, K., Ortiz, M., Albis, A., Gutiérrez Castañeda, C. G., Valencia, M. E., Grande Tovar, C. D. 2018. The Effect of Edible Chitosan Coatings Incorporated with *Thymus capitatus* Essential Oil in the Shelf-Life of Strawberry (*Fragaria x ananassa*) during Cold Storage. In *Biomolecules*, vol. 8, no. 4, 23 pp. Dostupné na: doi: 10.3390/biom8040155
- Mazurek, A., Jamroz, J. 2015. Precision of dehydroascorbic acid quantitation with the use of the subtraction method – Validation of HPLC–DAD method for determination of total vitamin C in food. In *Food Chemistry*, vol. 173, pp. 543-550. Dostupné na: doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.065
- Patras, A., Brunton, N. P., Butler, F. 2010. Effect of water immersion and sous-vide processing on antioxidant activity, phenolic, carotenoid content and color of carrot disks. In *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 34, no. 6, pp. 1009-1023. Dostupné na: doi: 10.1111/j.1745-4549.2009.00434.x
- Ribeiro Corrêa, A. N., Weimer, P., Rossi, R. C., Hoffmann, J. F., Scherer Koester, L., Sayuri Suyenaga, E., Dietrich Ferreira, C. 2023. Lime and orange essential oils and d-limonene as a potential COVID-19 inhibitor: Computational, *in chemico*, and cytotoxicity analysis. In *Food Bioscience*, vol. 51, 8 pp. Dostupné na: doi: 10.1016/j.fbio.2022.102348
- Schellekens, M. 1996. New research issues in sous.vide cooking. In *Trends in Food Science and Technology*, vol. 7, no. 8, pp. 256-262. Dostupné na: doi: 10.1016/0924-2244(96)10027-3
- Sila, D. N., Doungla, E., Smout, C., Van Loey, A., Hendrickx, M. 2006. Pectin Fraction Interconversions: Insight into Understanding Texture Evolution of Thermally Processed Carrots. In *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 54, no. 22, pp. 8471-8479. Dostupné na: doi: 10.1021/jf0613379
- Spadaro, F., Costa, R., Circosta, C., Occhiuto, F. 2012. Volatile Composition and Biological Activity of Key Lime *Citrus aurantifolia* Essential Oil. In *Natural Product Communications*, vol. 7, no. 11, pp. 1523-1526. Dostupné na: doi: 10.1177/1934578X1200701128
- Tančinová, D., Mašková, Z., Mendelová, A., Foltinová, D., Barboráková, Z., Medo, J. 2022. Antifungal Activities of Essential Oils in Vapor Phase against *Botrytis cinerea* and Their Potential to Control Postharvest Strawberry Gray Mold. In *Foods*, vol. 11, no. 19, 14 pp. Dostupné na: doi: 10.3390/foods11192945
- Trejo Araya, X. I., Smale, N., Zabaras, D., Winley, E., Forde, C., Stewart, C. M., Mawson, A. J. 2009. Sensory perception and quality attributes of high pressure processed carrots in comparison to raw, sous-vide and cooked

carrots. In *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 10, no. 4, pp. 420-433. Dostupné na: doi: 10.1016/j.ifset.2009.04.002

Tzortzakis, N. G. 2007. Maintaining postharvest quality of fresh produce with volatile compounds. In *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 8, no. 1, pp. 111-116. Dostupné na: doi: 10.1016/j.ifset.2006.08.001

Wang, Y., Cen, C., Chen, J., Zhou, C., Fu, L. 2021. Nano-emulsification improves physical properties and bioactivities of *Litsea cubeba* essential oil. In *LWT-Food Science and Technology*, vol. 137, 9 pp. Dostupné na: doi: 10.1016/j.lwt.2020.110361

Yang, K., Wang, C. F., You, C. X., Geng, Z. F., Sun, R. Q., Guo, S. S., Du, S. S., Liu, Z. L., Deng, Z. W. 2014. Bioactivity of essential oil of *Litsea cubeba* from China and its main compounds against two stored product insects. In *Journal of Asia-Pacific Entomology*, vol. 17, no. 3, pp. 459-466. Dostupné na: doi: 10.1016/j.aspen.2014.03.011

## Vplyv koriandrovej rastlinnej silice v kombinácii so sous vide technológiou na mikrobiologickú kvalitu kuracieho mäsa

The influence of coriander essential oil in combination with sous vide technology on the microbiological quality of chicken meat

Simona KUNOVÁ<sup>1</sup>, Jana ŠTEFÁNIKOVÁ<sup>2</sup>, Patrícia JOANIDIS<sup>2</sup>, Petra BOROTOVÁ<sup>2,3</sup>, Lucia GALOVIČOVÁ<sup>4</sup>, Miroslava KAČÁNIOVÁ<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Ústav potravinárstva, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Trieda A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>2</sup>Výskumné centrum AgroBioTech, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>3</sup>Ústav aplikovanej biológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>4</sup>Ústav záhradníctva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

<sup>5</sup>Katedra bioenergetiky, analýzy potravín a mikrobiológie, Inštitút technológie potravín a výživy, Univerzita Rzeszow, Cwiklinskiej 1, 35-601 Rzeszow, Poľsko

### Abstract

Meat is for its optimal composition and high-water activity suitable breeding ground for undesirable microorganisms that cause microbial spoilage of meat. To prolong of the shelf life of meat and preserve its quality various forms of packaging and treatment can be used. The aim of the present study was to evaluate the microbiological quality of sous vide chicken meat treated with essential oil from coriander after the application of *Salmonella* spp. Samples were taken from sous vide chicken breast meat prepared under vacuum. *Salmonella* spp. and coriander essential oil were applied to chicken breast meat. After application, the samples were prepared by sous vide cooking at three different temperatures (55 °C, 60 °C, and 65 °C) for different time intervals (5, 10, and 25 min). Total viable counts (TVS), coliform bacteria (CB), and *Salmonella* spp. were analysed in the meat samples. Our results showed that *Salmonella* spp. was not present in meat samples treated with coriander essential oil and cooked at a temperature of 55 °C for 25 minutes. Based on our results, we assume that sous vide technology in combination with essential oils is a good alternative in the future to ensure the required microbiological quality of chicken meat.

**Keywords:** chicken breast meat, *Coriandrum sativum*, total viable counts, coliform bacteria, *Salmonella* spp.

### Úvod

Sous vide technológia bola vynájdená v 70. rokoch 20. storočia vo Francúzsku ako prostriedok na minimalizáciu poškodenia proteínov citlivých na teplo v dôsledku zmršťovania mäsa (Ismail et al., 2019). Táto technika bola rozšírená po celom svete a je široko používaná v reštauráciách a domácnostiach. Obľúbenosť sous vide sa pripisuje minimálnym procesom, ktorý produkuje dokonale uvarené mäso a mäsové výrobky (Ruiz-Carrascal et al., 2019).

Najbežnejšie techniky varenia mäsa sú pravdepodobne pečenie, dusenie, grilovanie a vyprážanie; všetky sa uskutočňujú pri veľmi vysokých teplotách a za prítomnosti kyslíka. Na druhej strane varenie vákuovo baleného mäsa metódou sous vide pri relatívne nízkych teplotách a dlhých časoch varenia sa počas posledných dvoch desaťročí objavilo ako populárna technika a vo veľkej miere si ju osvojili reštauračné služby a spracovatelia potravín, aby sa zabezpečili kvalitné jedlá s vysokou senzorickou kvalitou a s dlhšou trvanlivosťou v porovnaní s konvenčnými technológiami varenia a chladenia (Del Pulgar et al., 2012).

Na kazení hydínového mäsa a mäsových výrobkov sa podieľajú rôzne mikroorganizmy, ako sú baktérie, kvasinky a mikroskopické vlákňité huby. Ďalej nevhodné výrobné a skladovacie podmienky mäsa a mäsových výrobkov vedú k výskytu ochorení, ktoré spôsobujú mnohé patogénne baktérie, ako je *Clostridium* spp., *Salmonella* spp., *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, O157:H7, *Aeromonas hydrophila* a *Listeria monocytogenes* (Yousefi et al., 2020).

Baktérie rodu *Salmonella* patria k najbežnejším alimentárnym patogénom. Často bývajú izolované zo zvierat určených na získavanie mäsa a sú zodpovedné za zoonotické infekcie u ľudí a živočíšnych druhov vrátane vtákov. Infekcie spôsobené salmonelami teda predstavujú problémy verejného zdravia, zvierat a potravinárskeho priemyslu na celom svete (Jajere, 2019).

Koriander siaty (*Coriandrum sativum* L.) je aromatická bylina, ktorá sa často používa ako korenie v procese varenia. Jeho semená majú dobré nutričné vlastnosti a podporujú funkcie tráviaceho traktu. Koriandrová rastlinná silica sa pripravuje prevažne z plodov a listov, kde je uložená väčšina biologicky aktívnych látok (Neffati a Marzouk, 2008).

Rastlinná silica z koriandra siateho (*Coriandrum sativum* L.) sa vyznačuje antioxidačnou, antimikrobiálnou, protizápalovou, protirakovinovou a cytotoxickou aktivitou. Tieto extrakty a rastlinné silice môžu tiež spomaliť oxidáciu lipidov v potravinových matriciach, takže sa môžu v budúcnosti použiť v potravinárskej technológii ako potenciálne náhrady syntetických antioxidantov pri konzervovaní potravín. Vďaka týmto vlastnostiam môžu rastlinné silice prispieť k zvýšenej stabilite pri skladovaní varených potravinových produktov sous vide (Kačániová a Ivanišová, 2019).

Cieľom predkladanej štúdie bolo zhodnotiť mikrobiologickú kvalitu sous vide kuracieho mäsa ošetrovaného rastlinnou silicou z koriandra po aplikácii *Salmonella enterica* subsp. *enterica*.

### **Materiál a metodika práce**

Na mikrobiologické analýzy boli použité vzorky mäsa z prsnej svaloviny kurčiat. Mäso kurčiat na mikrobiologické vyšetrenie bolo získané z hydiny zabitej vo veku 42 dní.

#### *Salmonella enterica* subsp. *enterica*

Na experimentálne účely bola použitá čistá bakteriálna kultúra *Salmonella enterica* subsp. *enterica* CCM 4420 (Česká zbierka mikroorganizmov, Brno). *Salmonella enterica* subsp. *enterica* bola kultivovaná v tekutom agarovom médiu *Mueller Hinton Broth* (MHB, Oxoid, Veľká Británia) počas 24 hodín, pri teplote 37 °C. *Salmonella enterica* subsp. *enterica* bola pripravená s koncentráciou  $1,5 \times 10^8$  KTJ a do vzorky bola pridaná v objeme 100 µl.

#### *Rastlinná silica koriandra siateho*

Koriandrová silica sa najčastejšie vyrába destiláciou sušených plodov vodnou parou. K základným zložkám koriandrovej silice patrí D-linalool, α-pinén, myrcén, undekanal, geraniol. Silica má dezinfekčné účinky, používa sa pri kolikách, krčoch, podporuje trávenie a peristaltiku.

Koriandrová silica (*Coriandrum sativum* L.) bola zakúpená od firmy Hanus (Nitra, Slovensko), na analýzy bola použitá v koncentrácii 1 %, na riedenie bol použitý slnečnicový olej.

#### *Príprava vzoriek na analýzy*

Vzorky mäsa boli o hmotnosti 5 g sterilným spôsobom vložené do polyetylénových vreciek a vákuovo zabalené (Proficook PC-VK 1015). Spolu bolo na analýzu použitých 40 vzoriek, ktoré boli rozdelené do 4 skupín po 10 vzoriek.

Vzorky boli označené a ošetrované nasledovným spôsobom:

1. K - kontrolné vzorky – vákuovo balené vzorky bez ošetrenia.
2. KOR - kontrolné vzorky s koriandrovou silicou – vákuovo balené kontrolné vzorky ošetrené 100 µl koriandrovej silice.
3. S - vzorky ošetrené salmonelou – vákuovo balené vzorky ošetrené 100 µl baktériou *Salmonella enterica* subsp. *enterica*
4. S+KOR - vzorky so salmonelou a koriandrovou silicou – vákuovo balené vzorky, ošetrené 100 µl baktériou *Salmonella enterica* subsp. *enterica* a 100 µl koriandrovej silice.

Vákuovo zabalené vzorky mäsa boli varené vo vodnom kúpeli pri teplote od 55 – 65 °C, počas 5-25 minút (tabuľka 1, 2) (sous vide technika). Vzorky boli pripravené v sous vide zariadení CASO SV1000. Kontrola bola vykonaná z mäsa bez tepelnej úpravy. Po sous vide ošetrení boli vzorky skladované pri teplote 4 °C, počas 24 hodín.

**Tabuľka 1** Podmienky sous vide ošetrenia kontrolných skupín vzoriek (K) a kontrolných vzoriek s koriandrovou silicou (KOR)

Kontrolné vzorky bez ošetrenia			Kontrolné vzorky s koriandrovou silicou		
Označenie vzorky	Teplota (°C)	Čas (min)	Označenie vzorky	Teplota (°C)	Čas (min)
K1	4	-	KOR1	4	-
K2	55	5	KOR2	55	5
K3	55	10	KOR3	55	10
K4	55	25	KOR4	55	25
K5	60	5	KOR5	60	5
K6	60	10	KOR6	60	10
K7	60	25	KOR7	60	25
K8	65	5	KOR8	65	5
K9	65	10	KOR9	65	10
K10	65	25	KOR10	65	25

**Tabuľka 2** Podmienky sous vide ošetrenia vzoriek s baktériou *Salmonella enterica* subsp. *enterica* (S) a vzoriek so salmonelou a koriandrovou silicou (S+KOR)

Vzorky s naočkovanou baktériou			Vzorky s naočkovanou baktériou ošetrené koriandrovou silicou		
Označenie vzorky	Teplota (°C)	Čas (min)	Označenie vzorky	Teplota (°C)	Čas (min)
S1	4	-	S+KOR1	4	-
S2	55	5	S+KOR2	55	5
S3	55	10	S+KOR3	55	10
S4	55	25	S+KOR4	55	25
S5	60	5	S+KOR5	60	5
S6	60	10	S+KOR6	60	10
S7	60	25	S+KOR7	60	25
S8	65	5	S+KOR8	65	5
S9	65	10	S+KOR9	65	10
S10	65	25	S+KOR10	65	25

#### Mikrobiologické analýzy

K vzorkách kuracieho mäsa sa pridalo 45 ml 0,1 % fyziologického roztoku. Takto pripravené vzorky boli umiestnené do homogenizátora na 30 minút. Pre každú vzorku bolo pripravené



vhodné sériové desiatkové riedenie vo fyziologickom roztoku. Z pripravených riedení sa napipetovalo 100  $\mu$ l na stuhnuté agarové médium, inokulum sa rozotrela sterilnou L-tyčinkou. Na stanovenie celkového počtu mikroorganizmov (CPM) bol použitý Plate Count Agar (PCA, Oxoid, Veľká Británia), vzorky sa inkubovali pri 30 °C, 48 hodín. Na stanovenie počtu koliformných baktérií (KB) bol použitý Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL, Oxoid, Veľká Británia), vzorky sa inkubovali pri teplote 37 °C, 24 hodín a na stanovenie baktérií *Salmonella* spp. bol použitý Xylose Lysine Deoxycholate agar (XLD, Oxoid, Veľká Británia), vzorky boli inkubované pri teplote 37 °C, 24 hodín.

### Štatistické vyhodnotenie

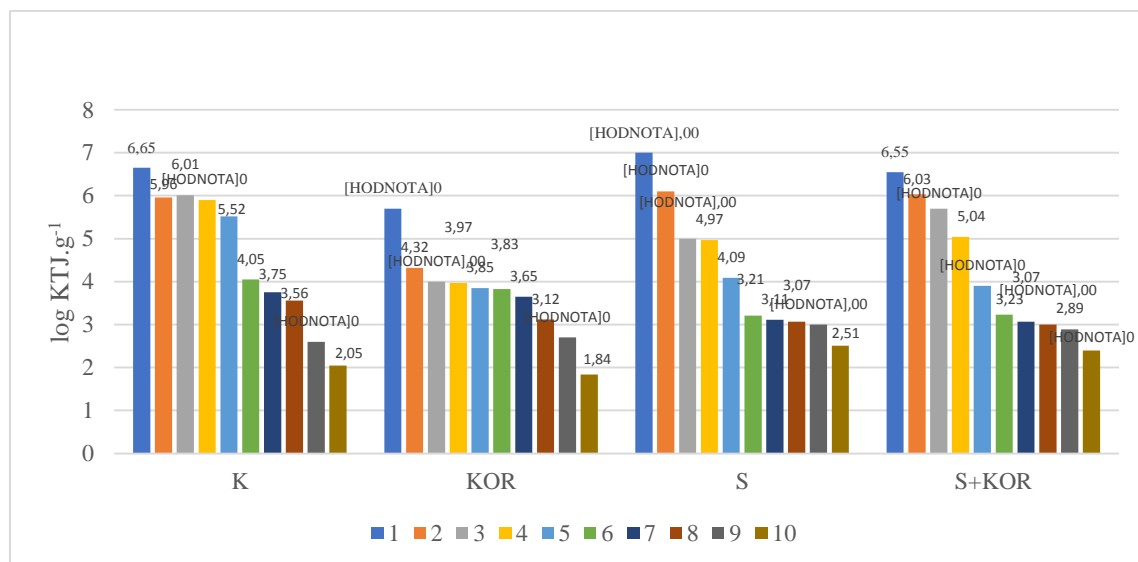
Všetky analýzy boli vykonané v trojnásobnom opakovaní. Štatistická variabilita údajov bola spracovaná pomocou softvéru Microsoft-Excel.

### Výsledky a diskusia

Surové mäso bez antibakteriálnej úpravy je náchylné na mikrobiologickú kontamináciu a rast mnohých bakteriálnych skupín. Predkladaná štúdia bola zameraná na posúdenie mikrobiologických rizík kuracieho mäsa po tepelnej úprave a ošetreného rastlinnou silicou a baktériou *Salmonella enterica* subsp. *enterica*. Sledoval sa vplyv koriandrovej rastlinnej silice v kombinácii s tepelným ošetrením sous vide na vybrané skupiny mikroorganizmov.

Najnižšia hodnota celkového počtu mikroorganizmov (CPM) v kontrolnej skupine vzoriek bez ošetrenia bola 2,05 log KTJ.g<sup>-1</sup> vo vzorke K10, ktorá bola tepelne upravená pri teplote 65 °C, počas 25 minút, najvyššia hodnota CPM vo vzorkách bez ošetrenia bola 6,65 log KTJ.g<sup>-1</sup> vo vzorke bez tepelnej úpravy (K1).

Hodnota CPM v kontrolnej skupine vzoriek ošetrených koriandrovou silicou sa pohybovala od 1,84 log KTJ.g<sup>-1</sup> vo vzorke po tepelnej úprave pri 65 °C, počas 25 minút (KOR10) do 5,70 log KTJ.g<sup>-1</sup>, vo vzorke bez tepelnej úpravy (KOR1) (obrázok 1).



**Obrázok 1** Hodnoty celkového počtu mikroorganizmov vo vzorkách prsnej svaloviny kurčiat

Hodnoty CPM vo vzorkách naočkovaných salmonelou sa pohybovali v rozmedzí od 2,51 log KTJ.g<sup>-1</sup> do 7,00 log KTJ.g<sup>-1</sup>. Opäť bola najvyššia hodnota CPM vo vzorke, ktorá nebola tepelne ošetrená (S1). Najnižšia hodnota, 2,51 log KTJ.g<sup>-1</sup> bola vo vzorke S13, ktorá bola tepelne ošetrená pri teplote 65 °C počas 25 minút. Podobné výsledky boli zaznamenané vo vzorkách naočkovaných salmonelou a ošetrených koriandrovou silicou, kde najnižšia hodnota CPM bola 2,40 log KTJ.g<sup>-1</sup> vo vzorke po tepelnej úprave pri 65 °C, počas 25 minút

(S+KOR10) a najvyššia hodnota CPM bola  $6,55 \log \text{KTJ.g}^{-1}$ , opäť vo vzorke bez tepelnej úpravy (S+KOR1) (obrázok 1).

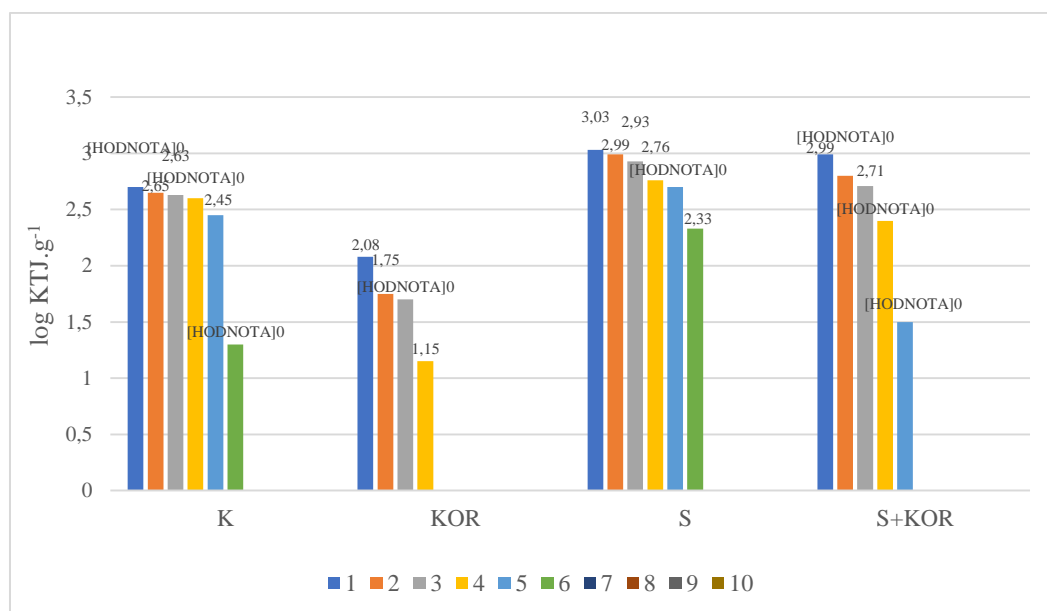
Kačániová et al. (2021) skúmali mikrobiologickú kvalitu sous vide kuracieho mäsa naočkovaného baktériou *Salmonella enterica* subsp. *enterica* a ošetreného anízovou rastlinnou silicou. Autori zistili, že hodnoty CPM vo vzorkách mäsa bez pridania silice sa pohybovali od 1,85 do  $7,21 \log \text{KTJ.g}^{-1}$ , zatiaľ čo hodnoty CPM vo vzorkách mäsa s prídavkom anízovej silice boli v rozmedzí od 1,82 do  $6,22 \log \text{KTJ.g}^{-1}$ . Akoğlu et al. (2018) sledovali trvanlivosť morčacieho mäsa tepelne upraveného pri teplote  $65^\circ\text{C}$ , počas 40 minút a skladovaného pri  $4^\circ\text{C}$ , 35 dní. Autori zistili, že hodnota mezofilných baktérií sa pohybovala od  $2,05 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  po 1. dni skladovania do  $5,89 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  po 35. dni skladovania.

Hodnoty koliformných baktérií (KB) v kontrolnej skupine bez ošetrenia sa pohybovali od  $1,30 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  vo vzorke po tepelnej úprave pri  $60^\circ\text{C}$ , počas 10 minút (K6) do  $2,70 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  vo vzorke bez tepelného ošetrenia (K1). Vo vzorkách, ktoré boli podrobené tepelnej úprave  $60^\circ\text{C}$ , počas 25 minút a  $65^\circ\text{C}$ , nebol zaznamenaný rast KB.

Vo vzorkách ošetrených koriandrovou silicou bola najvyššia hodnota KB opäť vo vzorke KOR1, teda bez tepelného ošetrenia ( $2,08 \log \text{KTJ.g}^{-1}$ ). Najvyššia hodnota KB bola vo vzorke po tepelnej úprave pri  $55^\circ\text{C}$ , počas 25 minút – KOR4 ( $1,15 \log \text{KTJ.g}^{-1}$ ). V ostatných vzorkách ošetrených koriandrovou silicou nebol zaznamenaný rast KB.

Hodnoty KB vo vzorkách mäsa naočkovaných salmonelou sa pohybovali v rozmedzí od  $2,33 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  (S6) do  $3,03 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  (S1), pričom posledná vzorka, v ktorej bol pozorovaný rast koliformných baktérií bola vzorka S6, ktorá bola pripravovaná pri teplote  $60^\circ\text{C}$  počas 10 minút.

Hodnoty KB vo vzorkách naočkovaných salmonelou a ošetrených koriandrovou silicou sa pohybovali v rozmedzí od  $1,50 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  (S+KOR5) do  $2,99 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  (S+KOR1), pričom posledná vzorka, v ktorej bol pozorovaný rast kolónií koliformných baktérií bola vzorka S+KOR5, ktorá bola pripravovaná pri teplote  $60^\circ\text{C}$  počas 5 minút (obrázok 2).

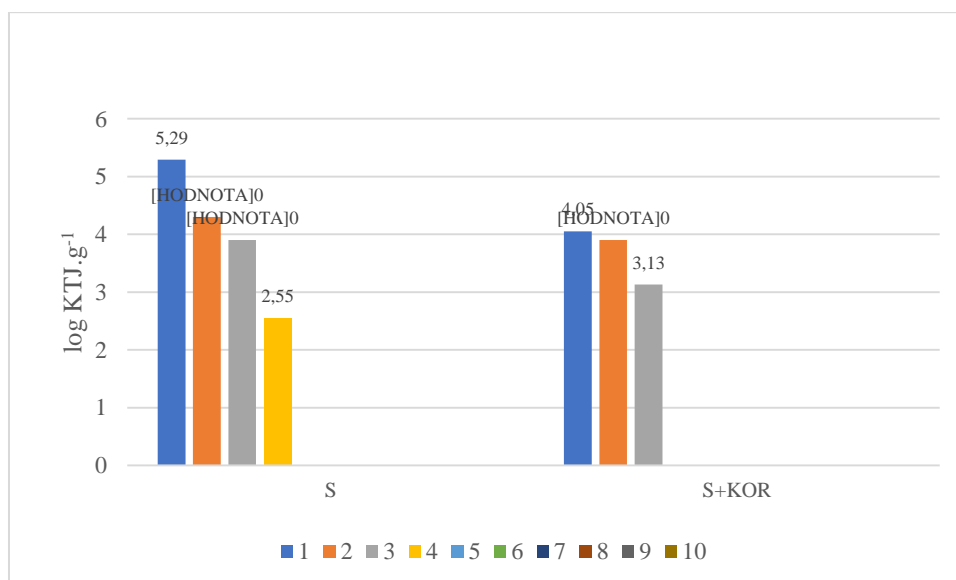


**Obrázok 2** Hodnoty počtu koliformných baktérií vo vzorkách prsnej svaloviny kurčiat

Diaz et al. (2008) skúmali trvanlivosť sous vide bravčového karé, ošetreného pri teplote  $70^\circ\text{C}$ , počas 12 hodín. Po 10 týždňoch skladovania zistili, že počty baktérií z čeľade *Enterobacteriaceae* boli menej ako  $1 \log \text{KTJ.g}^{-1}$ , čo dokázalo, že používanie sous vide metódy a spôsob balenia majú pozitívny vplyv na trvanlivosť mäsa. Jeong et al. (2018) skúmali vplyv sous vide technológie na mikrobiologickú kvalitu bravčovej šunky. Autori

zistili, že hodnota koliformných baktérií surového mäsa bola  $3,67 \log \text{KTJ.g}^{-1}$ , následne po varení za prístupu vzduchu pri teplote  $51^\circ\text{C}$ , počas 45 minút, klesla hodnota koliformných baktérií na  $0,33 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  a vo vzorkách pripravených sous vide metódou pri teplote  $61^\circ\text{C}$ , počas 45 minútach nebol zaznamenaný výskyt koliformných baktérií. Yikmi et al. (2018) uvádzajú, že sous vide produkty skladované pri teplote  $3$  a  $10^\circ\text{C}$  si zachovávajú mikrobiologickú stabilitu až 40 dní, zatiaľ, čo produkty skladované pri  $20^\circ\text{C}$  sú mikrobiologicky stabilné menej ako 9 dní.

V prípade sous vide metódy, sú hlavnými záujmovými patogénmi druhy rodu *Salmonella* a patogénne kmene *E. coli*. Existuje mnoho ďalších potravinových patogénov, ale tieto dva druhy sú relatívne odolné voči teplu a vyžadujú len veľmi málo vegetatívnych baktérií na gram, aby spôsobili ochorenia (Baldwin et al., 2012). Vo vzorkách kuracieho mäsa naočkovaných salmonelou sa počet baktérií *Salmonella* spp. pohyboval od  $2,55 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  (S4) do  $5,29 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  (S1), pričom posledná vzorka, v ktorej bol pozorovaný rast salmonel, bola vzorka S4, ktorá bola pripravovaná pri teplote  $55^\circ\text{C}$  počas 25 minút (obrázok 3).



Obrázok 3 Hodnoty *Salmonella* spp. vo vzorkách prsnej svaloviny kurčiat

Vo vzorkách naočkovaných salmonelou a ošetrených koriandrovou silicou, bola najnižšia hodnota baktérií *Salmonella* spp.  $3,13 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  vo vzorke S+KOR3 a navyššia hodnota bola  $4,05 \log \text{KTJ.g}^{-1}$ , vo vzorke S+KOR1. Posledná vzorka, na ktorej bol pozorovaný rast baktérií *Salmonella* spp. bola vzorka S+KOR3, ktorá bola pripravovaná pri teplote  $55^\circ\text{C}$  počas 10 minút (obrázok 3).

Hunt et al. (2023) skúmali vplyv sous vide metódy na zníženie množstva salmonel v hovädzom mäse. Autori zistili, že sous vide metóda dokázala účinne znížiť koncentráciu baktérií rodu *Salmonella* aspoň o  $5 \log \text{KTJ.g}^{-1}$  v steakoch varených pri teplote  $54,4^\circ\text{C}$  a  $51,6^\circ\text{C}$ . Lixandru et al. (2010) hodnotili antimikrobiálnu aktivitu rastlinných silíc extrahovaných z koriandra a iných rastlín proti 11 rôznym bakteriálnym a trom kmeňom húb patriacim k druhom, o ktorých sa uvádza, že sa podieľajú na otravách jedlom a rozklade potravín. Patria sem *S. aureus*, *E. coli*, *Salmonella enterica*, *L. monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *C. albicans* a *Aspergillus niger*. Koriandrová silica vykazovala najlepšiu antibakteriálnu aktivitu zo všetkých rastlinných silíc, zatiaľ čo tymianová a mäťová silica lepšie inhibovali mikroskopické huby.

## Záver

Mikrobiologická kontaminácia kuracieho mäsa môže byť ovplyvnená podmienkami spracovania a skladovania. Na zabezpečenie konečnej kvality mäsa je nevyhnutná počiatočná kvalita surovín. Na základe výsledkov, môžeme predpokladať, že sous vide metóda v kombinácii s rastlinnými silicami je dobrou alternatívou na zabezpečenie požadovanej mikrobiologickej kvality kuracieho mäsa počas skladovania. Zároveň predpokladáme, že sous vide technológia môže mať veľký význam na predĺženie trvanlivosti nielen mäsa a mäsových výrobkov, ale tiež mnohých iných potravín. Použitie sous vide metódy v kombinácii s rastlinnými silicami umožňuje predĺženie trvanlivosti mäsa a tým prispieva k zvýšeniu jeho bezpečnosti.

## Pod'akovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu č. 18-GASPU-2021 "Moderné postupy a technológie zvyšujúce kvalitu vybraného sous-vide potravinového modelu" Grantovej agentúry SPU v Nitre; vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Podpora výskumných aktivít vo VC ABT, 313011T465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja; 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 a vďaka podpore Agentúry na výskum a vývoj SR na základe Zmluvy č. APVV-20-0058 „Potenciál esenciálnych olejov z aromatických rastlín na lekárske použitie a konzerváciu potravín“.

**Kontaktná adresa:** doc. Ing. Simona Kunová, PhD., Ústav potravinárstva, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, simona.kunova@uniag.sk

## Literatúra

- Akoğlu, I. T., Bıyıklı, M., Akoğlu, A., Kurhan, Ş. 2018. Determination of the quality and shelf life of sous vide cooked turkey cutlet stored at 4 and 12 °C. In *Brazilian Journal of Poultry Science*, vol. 20, pp. 1-8. Dostupné na: doi: [10.1590/1806-9061-2017-0571](https://doi.org/10.1590/1806-9061-2017-0571)
- Baldwin, D. E. 2012. Sous vide cooking: A review. In *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 1, pp. 15-30. Dostupné na: doi: [10.1016/j.ijgfs.2011.11.002](https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2011.11.002)
- Del Pulgar, J. S., Gazquez, A., Ruiz-Carrascal, J. 2012. Physico-chemical, textural and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time. In *Meat Science*, vol. 90, pp. 828-835. Dostupné na: doi: [10.1016/j.meatsci.2011.11.024](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.024)
- Diaz, P., Nieto, G., Garrido, M. D., Banon, S. 2008. Microbial, physical-chemical and sensory spoilage during the refrigerated storage of cooked pork loin processed by the sous vide method. In *Meat Science*, vol. 80, pp. 287-292. Dostupné na: doi: [10.1016/j.meatsci.2007.12.002](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.002)
- Ismail, I., Hwang, Y.-H., Joo, S.-T. 2019. Effect of different temperature and time combinations on quality characteristics of sous-vide cooked goat *gluteus medius* and *biceps femoris*. In *Food and Bioprocess Technology*, vol. 12, pp. 1000-1009. Dostupné na: doi: [10.1007/s11947-019-02272-4](https://doi.org/10.1007/s11947-019-02272-4)
- Jajere, S. M. 2019. A review of *Salmonella enterica* with particular focus on the pathogenicity and virulence factors, host specificity and antimicrobial resistance including multidrug resistance. In *Veterinary world*, vol. 12, pp. 504-521. Dostupné na: doi: [10.14202/vetworld.2019.504-521](https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.504-521)
- Jeong, K., Hyeonbin, O., Shin, S. Y., Kim, Y.-S. 2018. Effects of sous-vide method at different temperatures, times and vacuum degrees on the quality, structural, and microbiological properties of pork ham. In *Meat Science*, vol. 143, pp. 1-7. Dostupné na: doi: [10.1016/j.meatsci.2018.04.010](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.010)
- Kačániová, M., Ivanišová, E. 2019. Antioxidant and antimicrobial activities of coriander (*Coriandrum sativum*) In *Coriander – dietary sources, properties and health benefits*. Semwal, D. K., New York: Nova Science Publishers, 2019, pp. 63-93.
- Kačániová, M., Fatrcová Šramková, K., Schwarzová, M., Kunová, S., Tvrďá, E. 2021. Microbiological quality of chicken breast Sous vide meat after *Salmonella enterica* subsp. *enterica* and *Pimpinella anisum* essential oil. In *Journal of Hygienic Engineering and Design*, ISSN 1857-8489, vol. 37, pp. 13-19.

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

- Lixandru, B. E., Drăcea, N. O., Dragomirescu, C. C., Drăgulescu, E. C., Coldea, I. L., Anton, L., Dobre, E., Rovinaru, C., Codiță, I. 2010. Antimicrobial activity of plant essential oils against bacterial and fungal species involved in food poisoning and/or food decay. In *Roumanian Archives of Microbiology and Immunology*, vol. 69, pp. 224-230.
- Neffati, M., Marzouk, B. 2008. Changes in essential oil and fatty acid composition in coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under saline conditions. In *Industrial Crops and Products*, vol. 28, pp. 137-142. Dostupné na: doi: [10.1016/j.indcrop.2008.02.005](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.02.005)
- Ruiz-Carrascal, J., Roldan, M., Refolio, F., Perez-Palacios, T., Antequera, T. 2019. Sous-vide cooking of meat: A Maillardized approach. In *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 16, pp. 100138. Dostupné na: doi: 10.1016/j.ijgfs.2019.100138
- Yıkın Ş., Aksu, H., Gökçe Çöl, B., Demirçakmak, L. 2018. Evaluation of sous-vide technology in gastronomy. In *International Journal of Agriculture and Life Science*, vol. 4, pp. 226-231. Dostupné na: doi: 10.22573/spg.ijals.018.s12200088
- Yousefi, M., Khorshidian, N., Hosseini, H. 2020. Potential application of essential oils for mitigation of *Listeria monocytogenes* in meat and poultry products. In *Frontiers in Nutrition*, vol. 7. Dostupné na: doi: [10.3389/fnut.2020.577287](https://doi.org/10.3389/fnut.2020.577287)

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

# Veterinárska sekcia



## Rewiev práca

### Kyselina askorbová a oxid siričitý a ich použitie v bielych vínach

Ascorbic acid and sulphur dioxide and their use in white wines

**Beáta KORÉNEKOVÁ, Boris SEMJON, Slavomír MARCINČÁK**

Katedra hygieny technológie a zdravotnej bezpečnosti potravín, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika

## Abstract

The aim of this work was to point out on the using of ascorbic acid and sulphur oxide in white wine production. The antioxidant activity of ascorbic acid and their relationship to sulphur dioxide in wine is presents in this study. It provides also information on the content of ascorbic acid and sulphur dioxide in wines. This work also points to sensory properties, such as colour, aroma of white wine after addition these antioxidants and current trends in the production of wines.

**Keywords:** ascorbic acid, sulphur dioxide, antioxidant, white wine

## Úvod

Pri výrobe nápojov je pridávanie antioxidantov do výrobkov využívané hlavne z technologického hľadiska za účelom zabránenia nežiadúcich oxidačných procesov vo výrobe, ale aj v priebehu skladovania hotového výrobku. Týmto spôsobom je možné zabezpečiť zvýšenie trvanlivosti výrobkov a zlepšenie ich senzoričných vlastností. Kyselina askorbová známa ako vitamín C patrí medzi významné prírodné antioxidanty. Prirodzene sa nachádza v ovocí a v malých množstvách v hrozne, kde je približne 50 mg/l v hroznovej šťave, ale počas fermentačného procesu výroby vína jej množstvo vo víne postupne klesá (Ribéreau-Gayon, a kol. 2000). Kyselina askorbová sa vďaka svojim antioxidačným účinkom často používa k stabilizácii nápojov, ako sú ovocné šťavy z jablák alebo hrušiek, ale aj ako prídavok do piva a vína. Kyselina askorbová spoločne s oxidom siričitým je pridávaná do celej rady potravín a nápojov na zamedzenie oxidácii výrobkov, čo vedie k predĺženiu ich trvanlivosti (Cardwell a Christophersen, 2000).

### *Kyselina askorbová a jej použitie pri výrobe bielych vín*

Dôvodom využitia askorbovej kyseliny vo vinárstve je založené na jej schopnosti sa ľahko oxidovať a tým zachytiť molekulárny kyslík vo víne a v mušte, čím dochádza k ochrane iných oxidovateľných zložiek vína, hlavne fenolických a aromatických zlúčenín. Tiež mení chinóny späť na pôvodné polyfenoly a zabraňuje farebným zmenám pri spracovaní a skladovaní vína. S pridávaním kyseliny askorbovej ako antioxidanta sa môžeme stretnúť pri výrobe bieleho vína pred jeho samotným plnením do fliaš, kde sa pridáva zámerné, aby sa tak zabránilo jeho oxidácii pri skladovaní. Vplyvom oxidácie mohlo by dôjsť ku vzniku negatívnych oxidačných zmien, ktoré sa prejavujú kazením bielych vín s následnou zmenou farby a chuti bieleho vína.

Kyselina askorbová je tiež využívaná k predĺženiu trvanlivosti komerčne dostupných vín. Antioxidačný účinok kyseliny askorbovej vo víne je rýchly, ale časovo obmedzený a trvá len tak dlho, pokiaľ sa víno nedostane do trvalého kontaktu so vzduchom. Z tohto dôvodu nemá dostatočný potenciál pri dlhodobom skladovaní vína. Prenikanie kyslíka pri plnení do fliaš alebo cez uzáver po fľaškovaní je dôležitým faktorom, ktorý prispieva k strate kyseliny askorbovej (Morozova a kol. 2015). Uzavery používané pri víne určené na dlhodobé skladovanie by sa preto mali vyberať tak, aby sa minimalizoval vstup kyslíka. Prídavok kyseliny askorbovej do vína zároveň umožňuje znížiť množstvo použitého oxidu siričitého k síreniu (Lopes a kol., 2006). Kyselina askorbová sa najčastejšie pridáva do vína tesne pred

fľašovaním, pretože po jej pridaní už nie je možné merať jodometricky obsah voľného oxidu siričitého (Steidl, 2002).

#### *Použitie oxidu siričitého vo vínach*

Oxid siričitý má významný antimikrobiálny konzervačný účinok a antioxidantný účinok, pričom tieto účinky sa vzájomne dopĺňajú. Odoberá z vína kyslík a tým ničí alebo potláča mikroorganizmy vrátane kvasiniek, octových a mliečnych baktérií, ktoré sú na kyslíku závislé (Fišera a kol. 2022). Používa sa na konečnú úpravu alkoholických nápojov tam, kde obsah alkoholu na uchovanie kvality nápoja nestačí. Oxid siričitý je kľúčový pri výrobe hroznového vína a zabezpečuje mu fyzikálnu, chemickú a biologickú stabilitu. Zabráňuje negatívne pôsobeniu kyslíka využitím svojho antioxidantného pôsobenia a z tohto dôvodu je dodávaný do vína. Oxid siričitý prispieva k chuti vína a chráni a zachováva sviežosť jeho arómy (Valášek a kol. 2014).

Oxid siričitý má schopnosť viazať sa na voľné acetaldehydy, ktoré majú nepríjemný zápach po octe a vo vyšších koncentráciách spôsobujú zvetranú a štipľavú príchuť vína. Chemickým vyviazaním acetaldehydu vzniká pachovo neutrálna zlúčenina a je zabránené tvorbe kyseliny octovej vo víne. Ak sa oxid siričitý použije pri výrobe vína v nadbytku, môže hlavne u bielych vín spôsobiť zapáchajúcu sírnu arómu. Vysoký obsah rozpusteného oxidu siričitého skresľuje chuť vína, ktorá je často vnímaná ako kovová a nahorklá (Réblová, 2014).

Oxid siričitý je využívaný ako dôležitý analytický parameter pri kontrole vína. Jeho množstvo vo víne je prísne sledované, aj keď sa jedná o látku, ktorá je v potravinárstve bežne povolená. Oxid siričitý je zaradený do zoznamu ľudských alergénov. Siričitany môžu spôsobiť u citlivých jedincov alergickú reakciu 1. typu. Táto precitlivosť sa vyskytuje najmä u alergikov. Najčastejším jej prejavom je urtikária, bolesť hlavy či dyspnoe. Ak sa po vypití jedného pohára vína objavia príznaky ako mapy na krku, dekolte a svrbí celé telo môže sa jednať o precitlivenosť na siričitany. Akceptovaná denná dávka oxidu siričitého je do 0,7 mg.kg<sup>-1</sup> hmotnosti, čo je asi 3 dcl bieleho vína s koncentráciou celkového oxidu siričitého 200 mg.l<sup>-1</sup>. Astmatik však môže reagovať už aj na dávku 1 až 5 mg oxidu siričitého (Abaffyová a Rennerová, 2020).

Zníženie siričitanov vo víne sa dá dosiahnuť ich použitím až ku konci alkoholovej fermentácie. Medzi zdravšie alternatívy a technologické postupy, ktoré umožňujú znížiť koncentráciu oxidu siričitého vo víne je kyselina askorbová, ktorá má tiež antioxidantnú aktivitu.

#### *Obsah oxidu siričitého vo vínach*

Podľa Delegovaného nariadenia komisie č. 934/2019, v časti B prílohy 1, celkový obsah oxidu siričitého v iných vínach, ako sú šumivé vína a likérové vína, nesmie v čase ich uvedenia na trh na priamu ľudskú spotrebu presiahnuť: a) 150 mg.l<sup>-1</sup> v prípade červených vín; b) 200 mg.l<sup>-1</sup> v prípade bielych a ružových vín. Maximálny obsah oxidu siričitého v prípade vín s obsahom cukru vyjadreným ako súčet glukózy a fruktózy, ktorý je najmenej 5 g.l<sup>-1</sup> sa zvyšuje na: a) 200 mg.l<sup>-1</sup> v prípade červených vín; b) 250 mg.l<sup>-1</sup> v prípade bielych alebo ružových vín; c) 300 mg.l<sup>-1</sup> v prípade vín pochádzajúcich zo Slovenska, ktoré sú oprávnené na chránené označenie pôvodu a sú označené výrazom „neskorý zber“ a „Tokajské samorodné suché“ alebo „Tokajské samorodné sladké“, čo sú slovenské tokajské vína, ktoré sú oprávnené na chránené označenie pôvodu. Maximálny celkový obsah oxidu siričitého môže byť zvýšený až na 400 mg.l<sup>-1</sup> v prípade vín pochádzajúcich zo Slovenska, ktoré sú oprávnené na chránené označenie pôvodu a ktoré sú označované výrazmi „bobuľový výber“, „hrozienkový výber“, „cibébový výber“, „ľadové víno“ alebo „slamové víno“, a slovenských tokajských vín, ktoré sú oprávnené na chránené označenie pôvodu „Tokajský výber“, „Tokajská esencia“, „Tokajská výberová esencia“.



### *Reakcia kyseliny askorbovej s molekulárnym kyslíkom vo víne*

Kyselina askorbová je veľmi silný antioxidant. Účinne reaguje s kyslíkom vo víne, ktorý následne na seba naviaže. Dochádza pri tom k oxidácii kyseliny askorbovej na kyselinu dehydroaskorbovú a peroxid vodíka v prítomnosti kovových katalyzátorov (železo a meď). Peroxid vodíka, ktorý vzniká prenosom iónu H<sup>+</sup> na O<sub>2</sub> z kyseliny askorbovej je silným oxidačným činidlom a je veľmi reaktívny. Reakcia askorbovej kyseliny s molekulárnym kyslíkom, pri ktorej vzniká peroxid vodíka spôsobuje tiež oxidatívne hnednutie vína (Barril a kol., 2016). Avšak ak je vo víne dostatočné množstvo voľného oxidu siričitého, ktorý reaguje s vzniknutým peroxidom vodíka, je zamedzené oxidatívne hnednutie vína. Z tohto dôvodu je nutné používať kyselinu askorbovú obmedzene a jedine zároveň s oxidom siričitým, ktorý bráni peroxidu vodíka vstupovať do ďalších reakcií (Comuzzo, Zironi, 2013).

Pri výrobe bielych vín sa oxid siričitý pridáva do muštu ešte pred začatím kvasenia aby nedošlo jeho zhnednutiu a tak ako antioxidant zabraňuje hnednutiu vína. Oxid siričitý naviaže peroxid vodíka a z vína ho odstráni. Koncentrácia voľného oxidu siričitého u bielych vín musí byť aspoň 40 mg/l (Bradshaw a kol. 2011). Pokiaľ by k tomu nedošlo, peroxid vodíka a chinóny, ktoré sa zúčastňujú ďalších reakcií, môžu mať nepriaznivý dopad na farbu, chuť a vôňu vína.

Chinóny sú cyklické zlúčeniny, ktoré v molekule obsahujú dve karbonylové skupiny, ktoré sú konjugované s  $\pi$  elektrónmi nenasýteného systému. Sú známe len o- a p- chinóny, m- chinóny nemôžu existovať, pretože ku konjugácii celej molekuly dochádza len vtedy ak sú  $>C=$  skupiny vo vzájomných polohách orto alebo para.  $\Pi$  - elektróny v konjugovanom systéme chinónov môžu byť excitované viditeľným svetlom, vďaka čomu sú chinóny farebné látky (Hudec a kol., 2002). Pôsobením kyslíka fenolické látky vo víne oxidujú a premieňajú sa na orto-chinon (1,2-benzochinon) a peroxid vodíka. Ak dôjde k oxidácii fenolických látok, kyselina askorbová ich vie premeniť a redukovať do pôvodného fenolického stavu (Danilewicz, 2003).

### *Zružovenie bieleho vína v priebehu skladovania a použitie kyseliny askorbovej*

Niektoré biele vína naplnené vo fľaši môžu zmeniť farbu počas skladovania svoju farbu na ružovú. Tento jav bol nazvaný ako „zružovenie vína“. Analýza oxidu siričitého, hodnôt pH a polyvinylpyrrolidónu ukázala, že na to, aby víno nebolo náchylné na tento jav, je potrebných minimálne 45 mg/l oxidu siričitého. Testy na zníženie hodnôt pH ukázali, že nedošlo k zvýšeniu ružovej farby s poklesom pH. Zistilo sa, že malvidín-3-O-glukozid je najpočetnejší monomérny antokyanín nachádzajúci sa v ružovkastých vínach a mohol by byť príčinou zružovenia. To viedlo k teórii, že fenoly prispievajú k náchylnosti na zružovenie bielych vín, čo bolo v posledných rokoch akceptované ako fakt (Nel a kol., 2020).

Kyselina askorbová je jednou z látok, ktoré veľmi dobre zabraňujú a chránia biele vína vo fľašiach pred javom zružovenia bielych vín. Inhibujú vývoj farby, ktorý je výsledkom reakcií zahŕňajúcich rôzne fenolické látky (Lamuela-Raventós a kol. 2001). Pridanie kyseliny askorbovej pred plnením do fliaš môže tiež ochrániť víno pred oxidačným hnednutím vo fľaši (Gibson, 2006). Molárny pomer kyseliny askorbovej k oxidu siričitému musí byť 1:1,7 aby sa zabránilo oxidačnému hnednutiu a ružoveniu vín (Bradshaw a kol. 2004).

### *Kyselina askorbová a senzorické vlastnosti vína*

Kyselina askorbová pozitívne pôsobí na mladé vína, ktoré tak zostanú dlhšie svieže. Vplýva aj na staršie vína, ktoré môže vhodne pridaným množstvom osviežovať a omladzovať. Počas starnutia vína vo fľaši kyselina askorbová prispieva k zníženiu nepríjemnej vône, ktorá je spôsobená hromadením sulfidových, tiolových zlúčenín aj vplyvom sírovodíka a metántiolu. (Goode, 2008). Kyselinu askorbovú nie je vhodné použiť do veľmi ťažkých vín a do červených vín. Významný účinok má kyselina askorbová na biele vína s nižším obsahom kyselín a na muškátové odrody ako sú napr. Müller Thurgau alebo Vetlinské zelené (Steidl,

2010). Kombinácia kyseliny askorbovej a oxidu siričitého má priaznivý vplyv na senzorické vlastnosti bielych vín, vrátane vône, chuti a čírosti. Zistilo sa, že prídanie 90 mg/l kyseliny askorbovej pri plnení do fliaš vín odrôd ako sú Rizling rýnsky a Chardonnay má malý vplyv na arómu vína v prvých 6 mesiacoch, kým výraznejšia je až po 3 až 5 rokoch skladovania vína (Skouroumounis a kol. 2005).

#### *Obsah kyseliny askorbovej vo vínach*

Maximálne množstvo kyseliny askorbovej v ošetrovanom víne, určenom na trh je 250 mg.l<sup>-1</sup> podľa Delegovaného nariadenia komisie č. 934/2019, príloha 1/A. V praxi sa však osvedčilo dávkovanie 50 až 150 mg.l<sup>-1</sup> (Balík a Stávek, 2017). Vyššie pridané množstvo kyseliny askorbovej môže negatívne ovplyvniť chuť a obsah fenolických látok vo víne. Kyselina askorbová pridaná počas výroby vína sa stráca v priebehu fermentácie vína. Jej koncentrácia vo víne klesá vplyvom oxidácie. Z tohto dôvodu sa v hotovom víne nachádza len vo veľmi malom množstve (Fic a kol. 2015).

#### *Neoxidačný mechanizmus degradácie kyseliny askorbovej*

Kyselina askorbová je schopná degradovať sa aj pomocou neoxidačného mechanizmu, kedy sa peroxid vodíka nevytvára. Tento spôsob sa vyskytuje v menšej miere ako oxidačný spôsob, za bežných podmienok uskladnenia. Skladovanie vína v dubových nádobách v prítomnosti kyseliny askorbovej môže spôsobiť jeho neoxidačnú degradáciu. Hlavným produktom anaeróbnej degradácie kyseliny askorbovej je furfural, ktorý môže prispievať k produkcii pigmentov vo vínach (Es -Safi a kol. 2000). Jeho obsah závisí od teploty skladovania, zloženia vína, nízkej hodnoty pH a obsahu oxidu siričitého. K neoxidačnému mechanizmu dochádza pri teplote skladovania vína 10 – 25 °C. Ak aj bola na skladovanie vína použitá vyššia teplota a to 45 °C, trvalo niekoľko mesiacov, kým sa značná časť kyseliny askorbovej odbúrala týmto spôsobom (Wallington a kol. 2013).

Oxid siričitý je viac účinný pri inhibícii furfuralu ak boli vína skladované pri nižších teplotách. Pri vyššej skladovacej teplote sa zvyšuje aj rýchlosť akou sa spotrebuje oxid siričitý v bielom víne. Neoxidačná degradácia kyseliny askorbovej v bielom víne môže potenciálne skrátiť trvanlivosť vína v dôsledku vyčerpania oxidu siričitého, ktorý je kľúčovou antimikrobiálnou, antioxidačnou a konzervačnou látkou vína (Shinoda a kol. 2005).

Pokles kyseliny askorbovej vplyvom teploty neoxidačným mechanizmom môže byť významný počas prepravy, alebo počas skladovania bieleho vína v prepravných kontajneroch na prístaviskách, kde sa vyskytujú prípady, kedy môžu byť vína vystavené vysokým teplotám (Marquez a kol. 2012).

#### *Kyselina askorbová ako ochrana pred železitým zákalom*

Tvorbu zákalov vo víne ovplyvňujú rôzne činitele, ako sú napr. koloidy, elektrický náboj prítomných častíc, redoxný potenciál, pH hodnota vína, teplota, nadbytok kovov, nadbytok látok, ktoré by mohli kryštalizovať a prítomnosť alebo činnosť rôznych mikroorganizmov. Riziko tvorby zákalov je vyššie pri mladých a nestabilizovaných vínach, pretože tie ešte nedosiahli mikrobiologickú, fyzikálnu a chemickú rovnováhu. Kyselina askorbová chráni víno pred železitým zákalom, bráni oxidácii aromatických látok vo víne a udržuje v ňom maximum sviežosti (Michlovský, 2014).

#### *Prooxidačný účinok kyseliny askorbovej*

Na zabránenie oxidácie Fe<sup>2+</sup> na Fe<sup>3+</sup> vo víne je možné využiť prídavok kyseliny askorbovej. Táto technika je však riskantná a účinok je dočasný. Ak sa redukčná ochrana vína vo víne prelomí, kyselina askorbová ako silný antioxidant sa v oxidovanom prostredí a v prítomnosti kovov začne správať opačne – ako silný prooxidant. V prípade vín so zvýšeným obsahom železa sa odporúča dávka 10 g/hl tesne pred fľašovaním, ale len v prípade, že nie je čas vykonať inú nápravu a víno nie je určené na dlhú archiváciu (Furdíková, 2019).

Prooxidačný účinok kyseliny askorbovej bol popísaný doteraz len pre biele vína plnené vo fľašiach. V prípade bieleho vína dôjde k prooxidačnému znehodnoteniu spôsobenému

kyselinou askorbovou buď vyššou koncentráciou kyslíka, ďalej v dôsledku zlých postupov pri plnení do fliaš, zlého uzatvárania fliaš, alebo dlhodobého starnutia vín viac než 10 rokov (Bradshaw a kol. 2003).

### Záver

Z výsledkov publikovaných vedeckých prác uvedených v tomto príspevku vyplýva množstvo prínosov používania kyseliny askorbovej a oxidu siričitého ako antioxidantov pri produkcii bieleho vína. Dôraz sa vo vedeckých prácach dáva na senzorické vlastnosti vín, ako je aróma a farba bielych vín. Na druhej strane sa v prácach poukazuje na dodržiavanie optimálnej aplikácie prídavku antioxidantov pred fľašovaním, na správnych postupoch pri plnení fliaš, ako aj na optimálne podmienky pri preprave a uskladnení bielych vín. Všetky tieto faktory súhrnne vplývajú na kvalitu a bezpečnosť bielych vín, ako potravinárskeho výrobku obľúbeného medzi spotrebiteľmi.

### Pod'akovanie

Práca bola podporená vedeckým projektom VEGA 1/0156/21.

**Kontaktné adresy:** MVDr. Beáta Koréneková, PhD., 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, Boris.Semjon@uvlf.sk, Slavomir.Marcincak@uvlf.sk

### Literatúra

- Abaffyová, Z., Rennerová, Z.: Alkohol v rukách alergiológa, Dermatologická prax, 2020, 14, 3, s. 131-137.
- Balík, J., Stávek, J.: Vinařská technologie. Valtice: Národní vinařské centrum, 2017. ISBN 978-80-87498-77-4. s. 463.
- Barril, C., Rutledge, D.N., Scollary, G.R Clark, A.C.: Ascorbic acid and white wine production: a review of beneficial versus detrimental impacts, Australian Journal of Grape and Wine Research 22, 2016, s. 169-181.
- Barril, C., Clarka, A.C., Scollarya, G.R.: Chemistry of ascorbic acid and sulfur dioxide as an antioxidant system relevant to white wine, Analytica Chimica Acta, 732, 2012, s. 186-193.
- Bradshaw, M.P., Cheynier, V., Scollary, G.R., Prenzler, P.D.: Defining the ascorbic acid crossover from anti-oxidant to prooxidant in a model wine matrix containing (+)-catechin. Journal Agriculture Food Chemistry, 51, 14, 2003, s. 4 126-4 132.
- Bradshaw, M.P., Scollary, G.R., Prenzler, P.D.: Examination of the sulfur dioxide-ascorbic acid anti-oxidant system in a model white wine matrix. Journal Science Food Agricultural, 84, 2004, s. 318-324.
- Bradshaw, M.P., Barril, C., Clark, A.C., Prenzler, P.D., Scollary, G.R.: Ascorbic acid: A review of its chemistry and reactivity in relation to a wine environment. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 51, 2011, s. 479-490.
- Cardwell, T.J., Christophersen, M.J.: Determination of sulfur dioxide and ascorbic acid on bevarages usin a dual channel flow injection electrochemical detection system. Analytica Chemica Acta. 416, 2000, s. 105-110.
- Comuzzo, P., Zironi, R.: Biotechnological Strategies for Con-trolling Wine Oxidation. Food Engineering Reviews. 2013, 5, 4, s. 217-229.
- Danilewicz, J.C.: American Journal of Enology and Viticulture, 54, 2003, s. 73-85.
- Delegované nariadenie komisie (ES) č. 934/2019 z 12. marca 2019, ktorým sa dopĺňa nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 1308/2013, pokiaľ ide o vinohradnícke oblasti, v ktorých sa môže zvýšiť obsah alkoholu, povolené enologické postupy a obmedzenia uplatniteľné na výrobu a konzervovanie vinárskych výrobkov, minimálny percentuálny podiel alkoholu pri vedľajších produktoch a ich zneškodňovanie a zverejňovanie dokumentov OIV. Úradný vestník EÚ L 149, 7. 6. 2019, s. 1
- Es-Safi, N., Cheynier, V., Moutounet, M.: Study of reactions between + catechin and furfural derivatives in the presence or absence of anthocyanins and their implication in food color change. Journal of Agricultural and Food Chcemistry, 48, s. 5 946-5 954.
- Fic V. a kol. Víno – analýza, technologie, gastronomie. Český Těšín: Vydavatel: 2 THETA, 2015. 320s.
- Fišera, M., Kráčmar, S., Šustová, K., Tvrzník, P., Velichová, H., Fišerová, L., Lukášková, E.: Statistický prístup pro snížení obsahu oxidu siričitého ve víně, Bezpečnost' a kontrola potravín Zborník odborných prác z XIX. vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou, Piešťany, 6. 4.– 8.4. 2022, s. 29-33.

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

- Furdíková, K.: Zákaly vo víne: Vinič a víno, Odborný časopis pre vinohradníkov a vinárov, 1, 2019, s. 1-3.
- Goode, J.: Wine flaws reduction, *Sommelier Journal*, 1, 2008, s. 60-64.
- Gibson, R., Ascorbic acid – friend or foe? 35<sup>th</sup> Annual New York, Wine Industry Workshop, 2006, New York, s. 60-65.
- Hudec, J., Tóth J., Tomáš, J., Hegedusová, A.: *Organická chémia*, Nitra 2002, SPU, 251s.
- Lamuela-Raventós, R.M., Huix-Blanquera, M., Waterhouse, A.L.: *Treatments for pinking alteration in white wines. American Journal of Enology and Viticulture*, 52, 2001, s. 156-158.
- Lopes, P., Drikine, J., Saucier, C., Glories, Y., Determination of L-ascorbic acid in wines by direct injection liquid chromatography using a polymeric column. *Analytica Chimica Acta*, 555, 2006, s. 242-245.
- Marquez, L., Dunstall, S., Bartholdi, J., MacCawley, A.: Cool or hot: a study of container temperatures in Australian wine shipments, *Australian Journal of Regional Studies*, 18, 2012, s. 420-443.
- Michlovský M. *Lexikon chemického složení vína: Příručka praktického vinaře*. Vydavatelstvo: Vinselekt Michlovský, 2014, s. 262.
- Morozova, K., Schmidt, O., Schwack, W. : Effect of headspace volume, ascorbic acid and sulphur dioxide on oxidative status and sensory profile of Riesling wine. *European Food Research and Technology* 240, 2015, s 205-221.
- Nel, A.P., Toit, W.D., F.P. van Jaarsveld: Pinking in white wines – A Review, *South African Journal of Enology and Viticulture*, 41, 2, 2020, s. 151-157.
- Réblová, M.: Oxid siričitý ve víne, proč se používá a jeho případná zdravotní rizika, *Mojelahve.cz*, 10.8.2014.
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., Lonvaud, A.: *Handbook of enology: The microbiology of wine and vinifications*, Vol. 1, 2<sup>nd</sup> Edition, New York: John Wiley and Sons. 2000, 497s.
- Shinoda, Y., Murata, M., Homma, S., Komura, H.: Browning and decomposed products of model orange juice, *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 68, s. 529 -536.
- Skouroumounis, G.K., Kwiatkowski, M.J., Francis, I.L. Oakey, H., Capone, D., Peng. Z.: *Influence of ascorbic acid on the composition, colour and flavour properties of a Riesling and a wooded Chardonnay wine over five years storage. Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11, 2005, s. 355-368.
- Steidl, R.: *Sklepní hospodářství. V českém jazyce vyd. 2., Překlad Jiří Sedlo*. Valtice: Národní vinařské centrum, 2010, 309 s.
- Valášek, P., Mlček, J., Fišera, M., Fišerová, L., Sochor, J., Baroň, M., Juríková, T.: Effect of various sulphur dioxide additions on amount of dissolved oxygen, total antioxidant capacity and sensory properties of white wines. *Mitteilungen Klosterneuburg* 64, 2014, s. 193-200
- Wallington, N., Clark, A.C., Prenzler, P.D., Barril, C., Scollary, G.R.: The decay of ascorbic acid in a model wine system at low oxygen, *Food Chemistry*, 141, 2013, s. 3 139- 3146.

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

# Pedologická sekcia



**Súčasný stav a vývoj vlastností poľnohospodárskych pôd Slovenska podľa ich ohrození**  
The Current State and Development of the Characteristics of Agricultural Soils in Slovakia  
according to their Threats

**Jozef KOBZA, Gabriela BARANČÍKOVÁ, Rastislav DODOK, Jarmila  
MAKOVNÍKOVÁ, Boris PÁLKA, Ján STYK, Miloš ŠIRÁŇ**

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznavectva  
a ochrany pôdy, Bratislava, Slovensko

**Abstract**

Current state and development of soil properties according to main threats to soil (soil acidification, salinization and sodification, soil contamination, decline in soil organic matter and available macro- and micronutrients, soil erosion and compaction) based on soil monitoring system in Slovakia is evaluated in this paper. It was indicated that the most frequent degradation processes belong physical degradation processes - soil compaction and erosion where about 52% of agricultural land is potentially affected by soil erosion in Slovakia. Chemical degradation processes running gradually, e.g., soil acidification, soil contamination - the soils that have been contaminated in the past, are contaminated also at present. There is currently < 1% contaminated soils of agricultural land in Slovakia.

**Keywords:** soil monitoring, soil degradation processes, agricultural soils, Slovakia

**Úvod**

Koncepcia európskej pôdnej politiky a stratégie ochrany pôdy a jej udržateľného využitia bola zakotvená v návrhu Európskej komisie (EK) na 6. Environmentálnom akčnom programe, ktorý bol prijatý Európskou radou a Európskym parlamentom dňa 22. júla 2002, kde jedna zo základných stratégií je práve pôda a sledovanie jej ďalšieho vývoja. 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 využívania transparentným spôsobom vo všetkých krajinách EÚ. V súlade s koncepciou Európskej stratégie, v monitorovacom systéme poľnohospodárskych pôd Slovenska ide o permanentné sledovanie dôležitých indikátorov pôd podľa ich navrhovaných ohrození (kontaminácia pôd, acidifikácia, salinizácia a sodifikácia pôd, úbytok pôdneho humusu a prístupných živín – najmä P a K, erózia a kompakcia pôd). V poslednom období sme sa začali zaoberať aj monitorovaním pôd využívanými na pestovanie energetických plodín (drevín), ako aj aktuálnym stavom a vývojom našich rašelinísk (vrchoviskové, slatinné, ako aj prechodného typu), ktoré sú dobrým indikátorom v súvislosti s klimatickou zmenou a biodiverzitou. Dôležité vlastnosti pôd sú sledované v sieti 318 monitorovacích lokalít Slovenska definovaných v súradnicovom systéme WGS 84 v pravidelných 5-ročných cykloch (zahŕňajú všetky hlavné pôdne predstavitelia, pôdotvorné substráty, klimatické oblasti, relatívne čisté, ako aj znečistené oblasti a rôzne využívanie pôdy). Analýzy sú zabezpečované na centrálnom Odbore laboratórnych činností NPPC-VÚPOP v Bratislave.

Cieľom práce je zhodnotiť trendy degradačných procesov na poľnohospodárskych pôdach Slovenska využívajúc poznatky databáz Čiastkového monitorovacieho systému Pôda.

**Materiál a metodika práce**

V príspevku sme vychádzali z najnovších výsledkov permanentného systému monitorovania pôd na Slovensku, ktorý zahŕňa 318 monitorovacích lokalít na poľnohospodárskych pôdach (Kobza *et al.* 2019). Boli sledované a hodnotené základné indikátory vlastností pôd, ktoré sa vzťahujú ku konkrétnym ohrozeniam pôdy:

*Monitorované indikátory podľa degradačných procesov pôd:*

Acidifikácia pôd: pH/H<sub>2</sub>O, pH/KCl, pH/CaCl<sub>2</sub>, KVK (katiónová výmenná kapacita), výmenné katióny (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>), aktívny Al (len ak pH/KCl < 6,0).

Salinizácia a sodifikácia pôd: elektrická vodivosť (ECe), obsah výmenného Na v sorpčnom komplexe pôdy (ESP) sodíkový adsorpčný pomer (SAR), pH/H<sub>2</sub>O, výmenné katióny a anióny (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Kontaminácia pôd: Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, Cu, As, Se, Co (rozklad lúčavkou kráľovskou), Hg (celkový obsah – analyzátor AMA).

Kvantitatívne a kvalitatívne zloženie pôdnej organickej hmoty: POC, N<sub>t</sub>, HK (humínové kyseliny), FK (fulvokyseliny), C<sub>HK</sub>/C<sub>FK</sub>, Q<sub>6</sub><sup>4</sup> (farebný kvocient)

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: <sup>137</sup>Cs, pH/KCl, Cox, P, K, zrnitosť (USDA).

Analýzy boli vykonané na Odbore laboratórnych činností pri NPPC-VÚPOP v Bratislave podľa Jednotných pracovných postupov rozborov pôd (Kolektív 2011). Dosiadnuté výsledky boli spracované a vyhodnotené podľa zaužívaných štatistických postupov (Kobza *et al.*, 2019).

## Výsledky a diskusia

### *Acidifikácia pôd*

Celkovo dochádza k zníženiu priemernej hodnoty aktívnej pôdnej reakcie (v porovnaní s rokom 1993) v 8 skupinách pôd. Tieto výsledky upozorňujú na znepokojivý acidifikačný trend, ktorý má hlavne v prípade slabo kyslých a kyslých pôd už od roku 1995 stúpajúcu tendenciu (Makovníková 2007). Je to predovšetkým dôsledok zníženia aplikácie agrotechnických opatrení zameraných na úpravu pôdnej reakcie kyslých a slabo kyslých pôd, ktoré sú využívané ako orné pôdy. Kyslé a slabo kyslé pôdy, potenciálne ohrozené acidifikáciou, tvoria 47 % z výmery poľnohospodársky využívaných pôd. Optimálna hodnota pôdnej reakcie patrí ku kľúčovým aspektom pri hodnotení zdravia pôdy (Johnston 2004) ako aj pri hodnotení produkčných a environmentálnych funkcií pôdy (Makovníková, Barančíková, & Pálka 2007, Makovníková & Barančíková 2009, Makovníková *et al.* 2017). Uvedené trendy upozorňujú na zvýšené riziko acidifikácie a následného zníženia kvality pôdy predovšetkým v skupine pseudogleje a luvizeme pseudoglejové na polygenetických sprašových hlinách, fluvizeme na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch, hnedozeme a hnedozeme pseudoglejové na sprašiach resp. polygenetických sprašových hlinách a regozeme na nekarbonátových viatych pieskoch, ktoré sú využívané ako orné pôdy.

### *Salinizácia a sodifikácia pôd*

Získané poznatky z vývoja vlastností solných pôd potvrdzujú súčasne prebiehajúce procesy salinizácie a sodifikácie pôd, pričom sa ukazuje, že proces sodifikácie je dominantný. Zároveň nami dosiahnuté výsledky meraní dovoľia konštatovať, že procesy salinizácie a sodifikácie prebiehajú od substrátových horizontov smerom k povrchu pôdy, pričom tento vývoj je zreteľnejší v pôdach so slabým až stredným vývojom solných pôd.

Z hľadiska rizikovosti vzniku a rozširovania solných pôd charakterizovaného chemickým zložením podzemných vôd, je takéto riziko najreálnejšie na dolnej časti Žitného ostrova v úseku Zlatná na Ostrove – Komárno. Svedčia o tom vyššie hodnoty elektrickej vodivosti a vysoká mineralizácia podzemných vôd. Na Slovensku evidujeme celkom do 3 tis. ha solných pôd (Kobza *et al.* 2019).

### *Kontaminácia pôdy*

Vývoj kontaminácie pôd po roku 1993 je len veľmi pozvoľný bez výraznejších zmien, treba však dodať, že tie pôdy, ktoré boli už v minulosti kontaminované, sú kontaminované aj v súčasnosti (MPRV SR 2013, Kobza *et al.* 2019). To je zásadný rozdiel od ostatných zložiek prírodného prostredia (napr. ovzdušie, voda), kde je často ich hygienický stav v súčasnosti už vyhovujúci, v pôdach nepriaznivý stav pretrváva oveľa dlhšie. Treba však zdôrazniť, že výrazne prevládajúca časť našich poľnohospodárskych pôd je hygienicky nezávadná (takmer 99 % poľnohospodárskeho pôdneho fondu). Zostávajúca časť kontaminovaných pôd je viazaná prevažne na oblasti priemyselnej činnosti a jej najmä staré environmentálne záťaže a oblasti vplyvu tzv. geochemických anomálií (najmä niektoré horské a podhorské oblasti najmä v oblasti Štiavnických vrchov, Slovenského rudohoria, Nízkych Tatier prevažne pod extenzívnymi trávnyimi porastami). Na základe doterajších zistení možno konštatovať, že v priebehu doterajšieho monitorovania bol zistený pozitívny trend vo vývoji celkového obsahu As a Cd a negatívny trend v prípade celkového obsahu Co, Cu, Ni a Zn (Kobza *et al.* 2019, 2020).

V poslednom období sme sa začali zaoberať aj monitorovaním pôd využívanými na pestovanie energetických plodín. Doteraz získané výsledky ukazujú na výrazné fytoimediačné schopnosti rýchlorastúcich drevín vzhľadom k rizikovým prvkom, na sledovanej lokalite, kontaminovanej anorganickými polutantmi došlo k vyčisteniu a poklesu rizikových látok pod limitnú hodnotu, sledovaná lokalita je znovu využívaná ako orná pôda.

### *Obsah prístupných makroživín (P, K, Mg) a mikroživín (Cu, Zn, Mn)*

Priemerný obsah prístupného fosforu v poľnohospodárskych pôdach Slovenska je značne variabilný, pohybuje sa v širokom rozpätí 15,60-177,00 mg.kg<sup>-1</sup>, čo je obsah nízky až veľmi vysoký pre prevládajúce zrnitostne stredne ťažké pôdy (Kobza & Gáborík 2008). Najnižšie hodnoty prístupného fosforu všeobecne prevládajú na pôdach pod trvalými trávnyimi porastami (15,60-38,50 mg.kg<sup>-1</sup>), čo je obsah nízky a kde úroveň P-hnojenia bola aj v minulosti nízka (najmä menej prístupné a vzdialené pozemky od hospodárskych stredísk). Aktuálny obsah prístupného draslíka v ornici poľnohospodárskych pôd Slovenska je taktiež pomerne variabilný, jeho obsah sa pohybuje na úrovni nízkej až vysokej zásobenosti (priemerne v rozpätí 115,70-342,80 mg.kg<sup>-1</sup>). Najvyššie priemerné hodnoty prístupného draslíka boli zistené na čierniciach, černozemiach a hnedozemiach, našich najúrodnejších pôdach. Najnižší obsah prístupného draslíka bol nameraný na niektorých pôdach pod trvalými trávnyimi porastami. Obsah prístupného horčíka v ornici poľnohospodárskych pôd sa pohybuje v širokom rozpätí 50,61-889,50 mg.kg<sup>-1</sup>, čo je obsah nízky až veľmi vysoký. Najnižší obsah tohto prvku bol logicky zistený v podzolochoch a kyslých regozemiach na eolických kemitých pieskoch v oblasti Záhoria.

Čo sa týka zásobenosti našich pôd mikroživinami (Cu, Zn, Mn), ich obsah je v poľnohospodárskych pôdach prevažne stredný, pričom ich stav si nevyžaduje v súčasnosti žiadne špeciálne regulačné opatrenia, i keď ich trend doterajšieho vývoja prebieha pozvoľne v smere mierneho poklesu (Kobza *et al.* 2019).

### *Pôdna organická hmota (POH)*

Priemerné hodnoty pôdneho organického uhlíka (POC) sa v orných pôdach Slovenska pohybujú v intervale 1-2.5 % (Kobza *et al.* 2020), čo v prepočte na humus (prepočítavací koeficient 1,724) predstavuje mierne až dobre humózne pôdy. Najnižšie hodnoty POC sú charakteristické pre regozeme, najvyššie pre čiernice. V súčasnosti je množstvo POC stabilizované a na väčšine pôdnych typov sa udržiava na úrovni charakteristickej pre daný pôdny typ. Postupný, ale veľmi nepatrný nárast POC pozorujeme na fluvizemiach,



černozemiach a pseudoglejoch, avšak na kambizemiach bol zaznamenaný mierny pokles. Z hľadiska kvality pôdnej organickej hmoty (POH) relatívne stabilná a vyzretá POH bola zistená na černozemiach a čierniciach (vysoké hodnoty pomeru  $C_{HK}/C_{FK} > 1$ ), kde prevládajú stabilnejšie humínové kyseliny (HK). Prevládanie labilnejších fulvokyselín (FK) v štruktúre POH, teda relatívne menej vyzretá POH bola zistená predovšetkým na kambizemiach a pseudoglejoch. V priebehu sledovaného obdobia na väčšine pôdnych typov pozorujeme vyrovnané hodnoty tohto parametra, na čierniciach a černozemiach má pomer  $C_{HK}/C_{FK}$  značne kolísavý charakter a na kambizemiach pozorujeme postupné zlabilnenie štruktúr POH. V poslednom období sme sa začali venovať aj rašeliniskám, ktoré sú najväčším rezervoárom terestriálneho organického uhlíka a plnia mnohé ekologické funkcie. Doteraz získané výsledky ukazujú na výrazné rozdiely v sledovaných parametroch, predovšetkým na vyššiu zásobu organickej hmoty na vrchoviskových rašeliniskách v porovnaní so slatinými rašeliniskami (Barančíková *et al.* 2018).

#### Kompakcia pôdy

Čo sa týka fyzikálneho stavu pôd, pri väčšine pôdnych typov bol pozorovaný prevažne negatívny trend vývoja objemovej hmotnosti. Pozitívny trend bol zaznamenaný len v zrnitostne ťažkých černozemiach, fluvizemiach (ornica) a kambizemiach (podornica). Striedavo kolísavý priebeh mali stredne ťažké černozeme (ornica) a fluvizeme (podornica), príp. ťažké hnedozeme, čiernice (ornica) a pseudogleje (podornica). V porovnaní s predchádzajúcim monitorovacím cyklom došlo k zlepšeniu fyzikálneho stavu pôdy v prípade ornice (zrnitostne ľahké čiernice a fluvizeme), najmä však v podornici (zrnitostne ľahké regozeme, stredne ťažké čiernice a černozeme, fluvizeme a všetky zrnitostne ťažké pôdne typy). Kompakcia pôdy sa stanovuje na základe nameraných hodnôt redukovanej objemovej hmotnosti ako hlavného indikátora v kontexte s jej kritickými hodnotami pre jednotlivé pôdne druhy. Riziko kompaktie (%) vypočítané ako percentuálny podiel zhutnených lokalít v rámci hlavných pôdnych typov a druhov vyjadruje ich náchylnosť na zhutnenie (Tab. 1).

**Tabuľka 1.** Plošné zastúpenie orných pôd SR v rámci jednotlivých kategórií rizika kompaktie pôd

Kategoríe rizika kompaktie pôdy (%)	Percento (%) z výmery orných pôd	
	Ornica	Podornica
< 20	19,3	13,0
21 - 40	63,0	6,8
41 - 60	15,6	53,2
61 - 80	2,1	13,0
> 80	0,0	13,9

V prípade ornice je najviac plošne zastúpená kategória rizika kompaktie 21-40 % (63,0 % výmery ornej pôdy), v podornici kategória 41-60 % (53,2 % výmery ornej pôdy). Pri väčšine sledovaných pôd je pozorovaný negatívny trend vývoja objemovej hmotnosti, najmä od 3. odberového cyklu (2002). Pozitívny vývoj bol zaznamenaný v ornici zrnitostne ťažkých a stredne ťažkých černozemí, príp. ťažkých fluvizemí a čiernic.

#### Erózia pôdy

Erózia je ireverzibilný proces, kedy dochádza k negatívnym zmenám základných pôdnych parametrov, čoho výsledkom je významné zníženie úrodnosti pôdy. Intenzitu erózie pôdy sledujeme pravidelne v 5-ročných cykloch na 20-tich vybraných transektoch. Recentná erózia, ktorá prebieha na konkrétnych lokalitách v poslednom období, bola vyhodnotená na základe

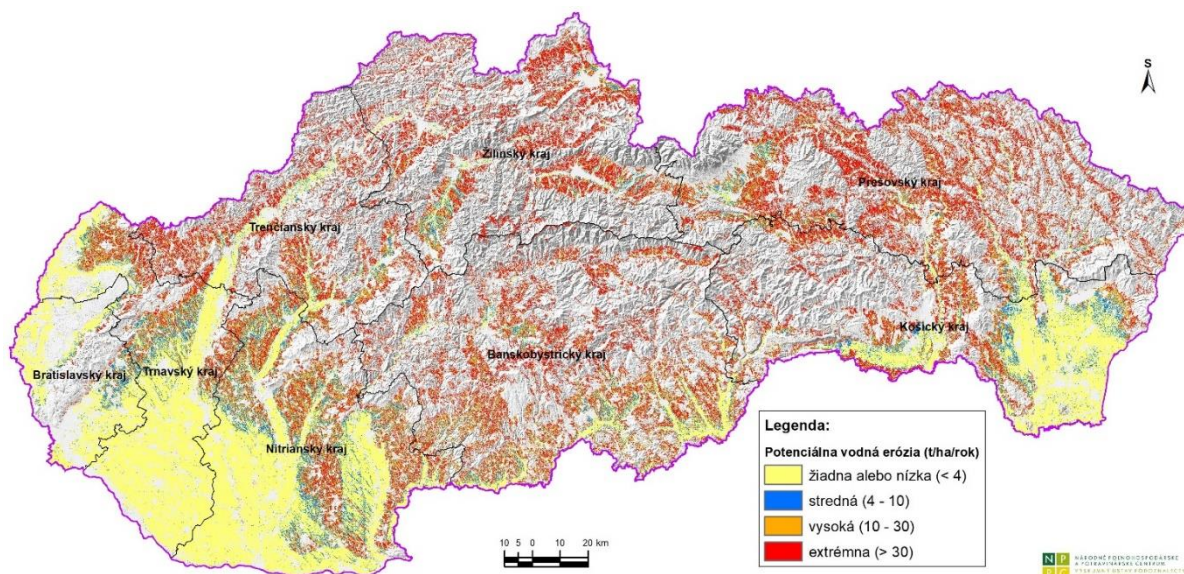
stanovenia priestorovej aktivity rádioaktívneho izotopu  $^{137}\text{Cs}$  v pôdnych profiloch jednotlivých častí záujmového územia. Aktivita rádioaktívneho izotopu cézia ( $^{137}\text{Cs}$ ) bola v niektorých prípadoch zaznamenaná až do hĺbky 0,50 m, čo potvrdzuje výraznú akumuláciu pôdnych častíc pretransportovaných vplyvom vodnej erózie po svahu (Kobza *et al.* 2019). Využitím erózneho predikčného modelu USLE (Wischmeier a Smith 1978) bola v roku 2022 vygenerovaná výmera potenciálnej vodnej erózie na poľnohospodárskych pôdach evidovaných v registri GSAA, ktorý spravuje Poľnohospodárska platobná agentúra, (kategórie erodovanosti stredná až extrémna) je 954 439,4 ha čo predstavuje 52,5 % z celkovej výmery poľnohospodárskej pôdy Slovenska (Tab. 2).

**Tabuľka 2.** Výmery kategórií potenciálnej a aktuálnej vodnej erózie

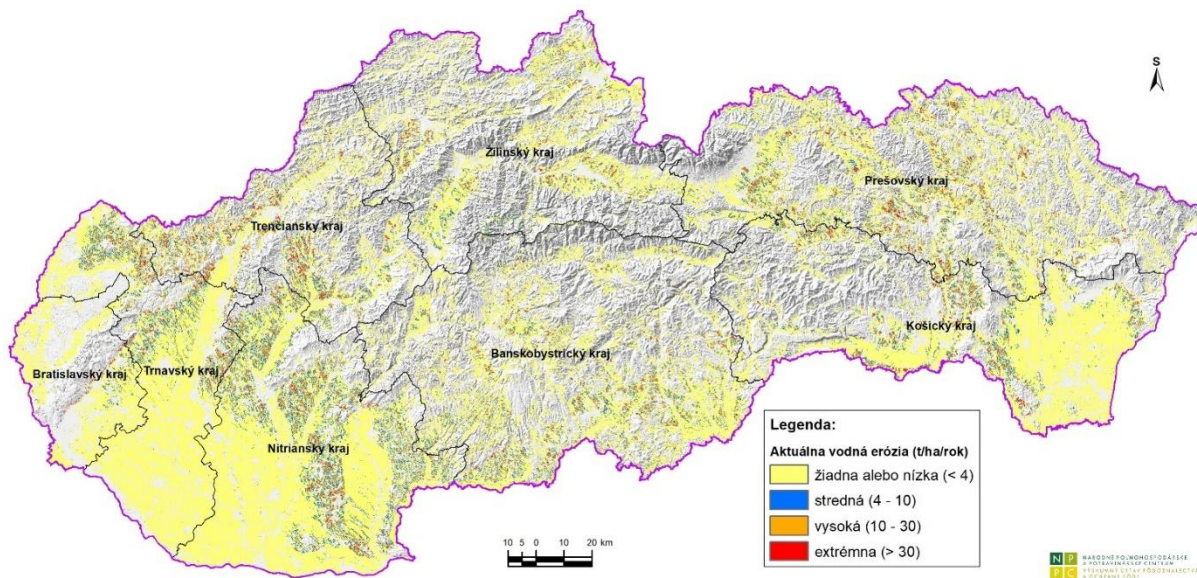
Pôda evidovaná v registri LPIS	Potenciálna erózia		Aktuálna erózia	
	Výmera ha	% z PP	Výmera ha	% z PP
<b>Kategórie erodovanosti (strata pôdy)</b>				
Žiadna, alebo nízka (0 – 4 t/ha/rok)	864 373,2	47,50	1 584 990,8	87,20
Stredná (4 – 10 t/ha/rok)	175 869	9,70	127 682,6	7,00
Vysoká (10 – 30 t/ha/rok)	251 892	13,80	81 955,6	4,50
Extrémna (viac ako 30 t/ha/rok)	526 678,4	29,00	24 184,4	1,30
Spolu	1 818 813,4	100,00	1 818 813,4	100,00

Aktuálna vodná erózia (pri zohľadnení aj trávnych porastov, ktoré majú výrazný protierózný účinok) predstavuje 12,80 % z aktuálnej výmery poľnohospodárskej pôdy, čo v plošnom vyjadrení predstavuje výmeru 233 822,6 ha. Vodnou eróziou sú ovplyvnené predovšetkým orné pôdy nachádzajúce sa na svahovitejších pozemkoch a pôdy podhorských a horských oblastí, ktoré sú charakteristické vyššími úhrnmi zrážok. Mapy potenciálnej a aktuálnej plošnej vodnej erózie sú znázornené na Obr. 1 a 2.

**Obr. 1** Mapa potenciálnej vodnej erózie na poľnohospodárskych pôdach SR



Obr. 2. Mapa aktuálnej vodnej erózie na poľnohospodárskych pôdach SR



## Záver

Z degradačných procesov sa najvypuklejšie prejavuje fyzikálna degradácia pôd – hlavne erózia, ako aj kompakcia pôd. Potvrdzujú to aj výsledky profilovej distribúcie rádioaktívneho izotopu  $^{137}\text{Cs}$ , ktorý má polčas rozpadu 30-35 rokov (recentná erózia), ako aj numerická kalkulácia straty pôdnej hmoty podľa vzorca Univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE). Potenciálne sa prejavuje približne na 52 % aktuálnej výmery poľnohospodárskej pôdy SR (pri strate pôdy  $>4$  t/ha/rok). Riziko kompakcie je v kyprenej ornici o polovicu nižšie oproti podornici. Zvyšuje sa v smere od zrnitostne ľahkých piesočnatých pôd k ťažkým ílovitým pôdam.

Čo sa týka chemickej degradácie pôd, táto prebieha pozvoľne. V rámci acidifikácie zaznamenávame mierny proces zakysľovania kyslých pôd na kyslých substrátoch. Vývoj solných procesov je zreteľnejší v pôdach so slabým až stredným vývojom solných pôd najmä v oblasti južného a juhozápadného, prípadne i juhovýchodného Slovenska. Od roku 1993 (začiatok Komplexného monitorovania poľnohospodárskych pôd na Slovensku) bolo zistené zníženie obsahu prístupných živín – najmä fosforu a draslíka priemerne o 10-30 % ako dôsledok výrazného zníženia intenzity hnojenia. Obsah mikroživín (Cu, Zn, Mn) v poľnohospodárskych pôdach je prevažne stredný bez výraznejšej zmeny, i keď v poslednom období zisťujeme ich mierny úbytok. Na základe doterajších zistení kontaminácie pôd možno konštatovať, že v priebehu doterajšieho monitorovania bol zistený pozitívny trend vo vývoji celkového obsahu As a Cd a negatívny trend v prípade celkového obsahu Co, Cu, Ni a Zn. Je však potrebné poznamenať, že pôdy, ktoré boli kontaminované v minulosti, sú kontaminované aj v súčasnosti bez výraznejších zmien. Zároveň sa ukazuje výrazná fytoremediačná schopnosť rýchlorastúcich drevín (vrba, topol) vo vzťahu k poklesu rizikových látok pod limitnú hodnotu.

V súčasnosti sa úroveň pôdneho organického uhlíka (POC) stabilizovala a na väčšine pôdnych typov sa udržiava na úrovni charakteristickej pre konkrétny pôdny typ. Postupný, ale veľmi nepatrný nárast POC pozorujeme na fluvizemiach, černozeiach a pseudoglejoch,

mierny pokles POC zisťujeme na kambizemiach. Z hľadiska kvalitatívnych parametrov pozorujeme mierne zoslabenie štruktúr pôdnej organickej hmoty (POH), ktoré je zreteľné predovšetkým na kambizemiach (našich najrozšírenejších pôdach) a pseudoglejoch, relatívne stabilná a vyzretá POH bola zistená na černozeiach a čierniciach, našich najúrodnejších pôdach.

### Pod'akovanie

Táto práca vznikla 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

- 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.
- Johnston, A. E. 2004. Soil Acidity – Resilience and Thresholds. In: Schjonning, P, Elmholt, S. Christenses, B. T. (ads.): *Managing soil quality*. CABI Publishing, 2004, 344 p., ISBN 85-1996-71-X.
- Kobza, J., Gáborík, Š. 2008. *Súčasný stav a vývoj obsahu makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. VÚPOP Bratislava 58 s. ISBN 978-80-89128-47-1.
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. 2019. *Monitoring pôd SR. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu (2013-2017)*. NPPC-VÚPOP Bratislava, 254 s. ISBN 978-80-8163-033-0.
- 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 pôdoznanectva a ochrany pôdy)*. NPPC-VUPOP Bratislava, 49 s. ISBN 978-80-8163-036-1.
- Kolektív 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. VÚPOP Bratislava, 2011, 136 s. ISBN 978-80-89128-89-1.
- Makovníková, J. 2007. *Využitie indikátorov pri identifikácii rizikových oblastí acidifikácie pôdy*. Bratislava: VÚPOP, 2007, 30 s. ISBN 978-80-89128-37-2.
- Makovníková, J., Barančíková, G., Pálka, B. 2007. Approach to the assessment of transport risk of inorganic pollutants based on the immobilisation capability of soil. In *Plant, Soil and Environment*, vol.53, 2007, č. 8, s.365 – 373.
- Makovníková, J., Barančíková, G. 2009. Assessment of Transport Risk of Cadmium and Lead on the Basis of Immobilisation Capability of Soil. *Soil and Water Research*, 1, 10-16.
- Makovníková, J. 2001. Distribution of Cd and Pb in main soil types of Slovakia. *Agriculture*, 47: 903- 912.
- Makovníková, J., Pálka, B., Širáň, M., Kanianska, R., Kizeková, M., Jaďuďová, J. 2017. *Modelovanie a hodnotenie agroekosystémových služieb*. Belianum. Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2017, 150 s., ISBN 978-80-557-1242-0.
- MPRV SR, 2013. Vyhláška č. 59/2013 viažuca sa k zákonu č.220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy, čiastka 16, s. 567-572.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses – Guide to conservation planning, *Agricultural Handbook* 537, USDA, 1978, 58 p.

## Príprava databázy pôdných údajov pre modelovanie zásob pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska

Preparation of a Soil Data Database for Modelling Soil Organic Carbon Stocks on Agricultural Soils in Slovakia

Štefan KOCO<sup>1,2</sup>, Gabriela BARANČÍKOVÁ<sup>1</sup>, Jozef KOBZA<sup>3</sup>, Ján HALAS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy – Regionálne pracovisko Prešov, Raymanova 1, 080 01 Prešov; stefan.koco@nppc.sk

<sup>2</sup>Prešovská univerzita v Prešove, Fakulta humanitných a prírodných vied, 17. novembra 1, 080 01 Prešov

<sup>3</sup>Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy – Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica

### Abstract

Soil organic matter (SOM) is a key component of soil fertility because it maintains soil moisture and nutrients in the soil and, depending on the soil management, can sequester or emit greenhouse gases. These are the reasons why it is necessary to know the current level, but also the development of soil organic carbon (SOC) stocks in the future. Predicting the development of SOC stocks, it is advisable to use mathematical models. One of the most widely used SOC stock development models is the RothC model, which requires a set of soil parameters data - the initial value of SOC and the proportion of clay fraction in the soil. In Slovakia, a continuously updated database of partial soil monitoring (ČMS-P) is available, which also contains the data necessary to determine the required input data for the RothC model. However, these data are not in format required by the RothC model. The contribution describes the process of transformation of soil data based on the structure of the ČMS-P database into a form suitable for use in the process of SOC stocks modelling in the conditions of Slovak agricultural soils by means of the RothC model.

**Keywords:** soil organic carbon, clay fractions, soil types, arable land, grassland

### Úvod

Pôdna organická hmota (POH) je zložitý systém organických látok rastlinného, ale aj živočíšneho pôvodu, ktorý sa neustále mení, pretože v pôde neprestajne prebiehajú procesy tvorby POH (humifikácia) a tiež jej rozkladu (mineralizácia). Pôdny ekosystém je najväčšou terestriálnou zásobárňou POH na Zemi, nakoľko globálna zásoba POC na pevnine predstavuje 1500-2400 Pg v 1 m hĺbke pôdy (Lorenz & Lal 2018), čo je viac uhlíka ako obsahuje atmosféra spolu s vegetáciou (Smith *et al.* 2020). Napriek tomu, že v intenzívne využívaných poľnohospodárskych pôdach POH predstavuje iba pomerne malú časť (1 - 5 %) z celkového množstva pôdy, je to kľúčový komponent pôdnej úrodnosti, pretože udržiava v pôde pôdnu vlhkosť a živiny a v závislosti od využitia pôdy dokáže sekvestrovať, resp. emitovať skleníkové plyny. Vo všeobecnosti môžeme povedať, že POH a jej hlavný komponent, POC, ovplyvňuje chemické, biologické a fyzikálne vlastnosti pôdy (Campbell & Paustian, 2015), teda je kľúčovým indikátorom zdravia a kvality pôdy (Chevalier *et al.* 2015) a významnú úlohu zohráva aj pri regulácii ekosystémových služieb pôdy (Banwart *et al.* 2015). EÚ prostredníctvom Zelenej dohody (*Green Deal*) podporuje sekvestráciu POC a pripravuje pravidlá trvalo udržateľného hospodárenia na pôde z hľadiska udržania, respektíve zvýšenia úrovne POC na intenzívne využívaných poľnohospodárskych pôdach. Z uvedeného dôvodu je nevyhnutné poznať aktuálnu úroveň, ale aj vývoj zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska v budúcnosti, keď v dôsledku už v súčasnosti prebiehajúcej klimatickej zmeny sa

očakáva významný nárast teplôt, čo môže akcelerovať mineralizačné procesy v pôde a zásoba POC sa môže znižovať. Veľmi detailne tieto procesy vníma aj EÚ, ktorá už v r. 2006 medzi základné ohrozenia zdravia a kvality pôdy zaradila aj znižovanie zásob POC na pôdach EÚ (Eckelmann *et al.* 2006) a úroveň SOC v Európskych pôdach sa v súčasnosti dôkladne sleduje (Panagos *et al.* 2022). Napriek tomu kvalitné údaje o aktuálnom stave zásob POC na európskej úrovni stále chýbajú (Bellassen *et al.* 2022).

Na Slovensku informácie o množstve POC na poľnohospodársky využívaných pôdach môžeme získať z Databázy monitoringu pôd, ktorý sa realizuje od roku 1993 (Kobza *et al.* 2017). Hlavným cieľom pôdneho monitoringu je časový zápis zmien pôdnych vlastností dôležitý z pohľadu životného prostredia. V 5-ročných intervaloch sa v orníčnom aj podorníčnom horizonte odoberajú pôdne vzorky a okrem iných fyzikálnych a chemických parametrov pôdy sa stanovuje aj koncentrácia POC. Monitoring umožňuje sledovať vývoj úrovne POC v minulosti, ale pri jeho predikcii v budúcnosti je vhodné použiť matematické modely. Jedným z najviac využívaných modelov, ktorý sa využíva na globálnej (Morais *et al.* 2019, Peralta *et al.* 2022), európskej (Smith *et al.* 2005, 2006), regionálnej úrovni (Farina *et al.*, 2017), ale aj na úrovni jednotlivých krajín (Mondini *et al.*, 2012) a fariem (Hábová *et al.* 2019, Prokopyeva *et al.*, 2021) je RothC model, s ktorým máme na VÚPOP pomerne bohaté niekoľkoročné skúsenosti (Barančíková *et al.* 2010, 2012, 2021, 2022, Skalský 2020). RothC model vyžaduje tri skupiny pôdnych údajov: klimatické a pôdne parametre a tiež údaje o hospodárení na pôde. Základným zdrojom údajov o pôdnych parametroch je Databáza údajov Čiastkového monitorovacieho systému - pôda (ČMS-P), ktoré však nie sú v takej forme, aby ich bolo možné priamo použiť pre RothC model. Cieľom tohto príspevku je ukázať postup tvorby databázy pôdnych parametrov, ako vstupných údajov pre RothC model pre modelovanie zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska.

### **Materiál a metodika práce**

Nevyhnuté vstupné parametre pôdy pre RothC model sú: hĺbka pôdy, počiatočná zásoba POC a množstvo ílovej frakcie.

Ako bolo uvedené vyššie, základným zdrojom údajov je Databáza ČMS-P. Databáza obsahuje údaje o 318 monitorovacích plochách v poľnohospodárskej krajine, reprezentujúcich pôdnu pokrývku Slovenska. Podľa frekvencie pôdneho vzorkovania je možné rozlíšiť dve testovacie skupiny plôch. Prvou je základná sieť (všetkých 318 lokalít) na poľnohospodárskych pôdach s periodicitou odberu vzoriek každých 5 rokov. Pôdne vzorky sa odoberajú z hĺbky 0-10 a 35-45 cm. Druhú skupinu predstavuje sieť 21 typických (kľúčových) monitorovacích lokalít s periodicitou odberu každoročne. Kľúčové lokality sa okrem iného zameriavajú aj na monitorovanie postupu antropogénnej degradácie pôd. V systéme monitorovania pôd je sledovaných 85 ukazovateľov. Zozbierané údaje sú uložené ako databáza pôd programom MS Access; údaje sú zapísané samostatne s rešpektovaním periódy vzorky. Databáza je z pohľadu obsahu údajov rozdelená do troch základných častí:

1. všeobecné údaje: identifikácia (špecifické číslo), topografická lokalizácia (súradnice) a poloha v danom mieste,
2. pedologické údaje: morfológia, fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy, klasifikácia pôdy a genetický horizont,
3. údaje o situácii pôdnej hygieny: obsah rizikových prvkov a zlúčenín (ako organické tak anorganické), v pôde stanovených podľa štandardných metód.

Fyzický model alebo aplikačná logika databázy v sebe zahŕňa jednak systém relačných tabuliek (štruktúra databázy), ako aj procesy, ktoré nad nimi prebiehajú. Relačné tabuľky sú rozdelené do 3 základných skupín:

1. Hlavné tabuľky obsahujú všetky atribúty o monitorovacích lokalitách a ukazovateľoch, kódy viacerých atribútov sa odkazujú na číselníky.

2. Číselníky, pomocou ktorých sa registrujú hodnoty, ktoré jednotlivé atribúty hlavných tabuliek môžu nadobúdať.
3. Prepojovacie tabuľky slúžia na zabezpečenie kardinality n:m (ako napr. variabilný počet prefixov a suffixov).

Každá lokalita je označená jedinečným 6 miestnym identifikačným číslom sondy (špecifické číslo) a priestorovo identifikovaná geografickými súradnicami, nadmorskou výškou a príslušnosťou k obci, okresu a kraju, v ktorom sa nachádza. Pri každej sonde je uvedený klasifikovaný pôdny typ na úrovni subtypu a typ využívania poľnohospodárskej pôdy (orná pôda, TTP) v každom období odberu pôdnych vzoriek.

Pre potreby prípravy vstupných údajov do modelu RothC boli vybraté nasledujúce ukazovatele pôdnych vlastností: obsah skeletu, frakcia celkového ílu (< 0,01 mm) z hĺbky do 10 cm a z hĺbky 20 až 30 cm a koncentrácia POC v hĺbke 0-10 cm. Koncentrácia POC sa stanovuje C, N analyzátorom a zrnitostné zloženie pôdy pipetovacou metódou podľa Nováka a FAO (Kobza *et al.* 2011).

V databáze ČMS-P je uvedená koncentrácia POC, avšak základným pôdnym parametrom pre RothC model je počiatočná zásoba POC. Zásobu POC vypočítame podľa rovnice:

$$\text{Počiatočná zásoba POC (t C .ha}^{-1}\text{)} = \text{COX (\%)} * \text{BD} * (1 - \text{SK}/100) * d$$

kde COX je koncentrácia pôdneho organického uhlíka (%), BD objemová hmotnosť (g.cm<sup>-3</sup>), SK je obsah skeletu (%) a d je hĺbka pôdy (cm) (Skalský *et al.* 2017).

Objemová hmotnosť pôdy sa vypočíta podľa pedotransférovej rovnice (Makovníková & Širáň, 2011):

$$BD = 1.40779 + 0.00119072 * CS - 0.0865001 * COX \quad (2)$$

kde BD je objemová hmotnosť pôdy (g cm<sup>-3</sup>), CS je zrnitostné zloženie pôdy (%) ílových častíc (frakcia < 0.01 mm), a COX je koncentrácia POC (%) v príslušnej hĺbke pôdy.

V závere príprav vstupných údajov bolo potrebné vysporiadať sa s nesúlodom medzi hĺbkami odberov vzoriek (z dôvodu rešpektovania jednotlivých pôdnych horizontov), z ktorých boli odvodené potrebné pôdne parametre a stanovenou modelovacou hĺbkou ako dôležitého vstupného parametra pre modelovanie zásob POC prostredníctvom modelu RothC.

## Výsledky a diskusia

### Hĺbka pôdy

Napriek tomu, že zmeny klimatických parametrov, ako aj zmeny v hospodárení na pôde môžu zásobu POC ovplyvňovať aj v hlbších vrstvách pôdy (Poeplau & Don 2013, Schmer *et al.* 2014), zásoba POC v hĺbke 0-30 cm na tieto zmeny reaguje najcitlivejšie. Uvedená hĺbka sa najčastejšie využíva pri odhade zásob POC na európskej úrovni (Lugato *et al.* 2014), ale aj na úrovni krajín (Rodriguez *et al.* 2021, Dechow *et al.* 2019, Launay *et al.* 2021), resp. väčších územných celkov (Gray *et al.* 2016, Funes *et al.* 2019) a bola použitá aj pri odhade sekvestrácie POC na globálnej úrovni (Peralta *et al.* 2022). Z uvedeného dôvodu pri modelovaní zmien v zásobách POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska sa používa hĺbka 0-30 cm.

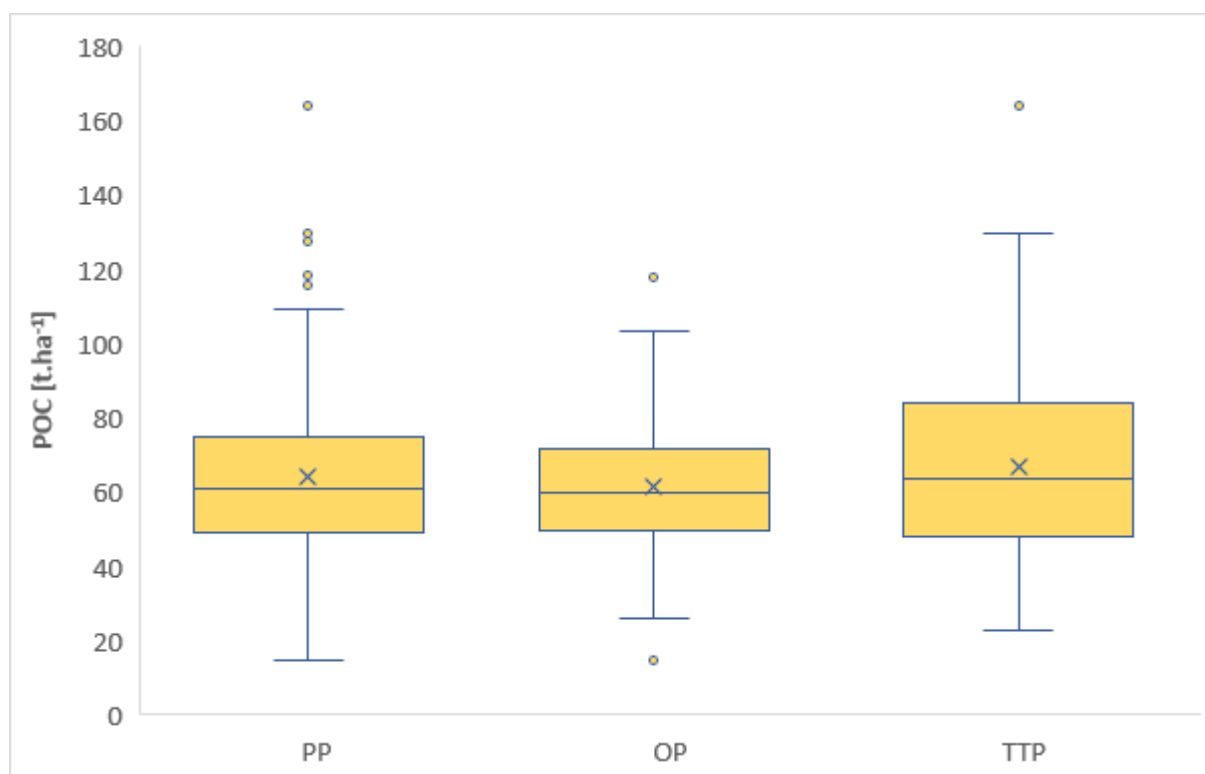
### Zásoba POC

Ako bolo uvedené vyššie, údaje o koncentrácii POC v rámci základnej siete ČMS-P sa merajú v hĺbke 0-10 a 35-45 cm. Pre výpočet zásoby POC v hĺbke 0-30 cm na orných pôdach (OP) používame údaje o POC z hĺbky 0-10 cm, nakoľko na väčšine intenzívne využívaných orných pôd sa hĺbka orby pohybuje do 30 cm. V uvedenej hĺbke sa pôda aspoň raz za niekoľko rokov premiešava, takže údaj z hĺbky 0-10 cm môže byť v prípade OP použitý pre hĺbku 0 - 30 cm.

Obsah POC v hĺbke 0-30 cm v prípade trvalých trávnych porastov (TTP) sa vypočíta pre každú hĺbku, 0-10 cm, 10-20 cm a 20-30 cm, samostatne. V prípade hĺbky 0-10 cm sa použil nameraný údaj z tejto hĺbky, pre hĺbky 10-20 a 20-30 cm bola koncentrácia POC odhadnutá podľa súboru pedo-transferových pravidiel. Koeficienty zníženia v hĺbkach 10-20 a 20-30 cm boli odhadnuté z údajov koncentrácie POC z prvého odberového cyklu, v ktorom sa koncentrácia POC analyzovala aj v hĺbke 20-30 cm (Linkeš *et al.* 1997) a z údajov o stratifikácii POC v 10 cm intervaloch v 1 m hĺbky pôdneho profilu na vybraných pôdnych typoch (Barančíková *et al.*, 2019). Koeficienty zníženia pre hĺbku 10-20 a 20-30 cm sú uvedené v Tab. 1.

**Tabuľka 1.** Výpočet koncentrácie POC (%) v hĺbkových intervaloch 10-20 a 20-30 cm pre TTP na základe údajov o pôdnom type.

Pôdny typ	Hĺbkový interval 10 - 20 cm	Hĺbkový interval 20 - 30 cm
ČA, ČM	90 % z hĺbky 0 - 10 cm	80 % z hĺbky 0 - 10 cm
HM	80 % z hĺbky 0 - 10 cm	70 % z hĺbky 0 - 10 cm
FM	80 % z hĺbky 0 - 10 cm	70 % z hĺbky 0 - 10 cm
RA, PZ, PG, KM	60 % z hĺbky 0 - 10 cm	50 % z hĺbky 0 - 10 cm
RM	80 % z hĺbky 0 - 10 cm	70 % z hĺbky 0 - 10 cm



**Graf 1.** Porovnanie zásob POC ( $t \cdot ha^{-1}$ ) na poľnohospodárskej pôde (PP), ornej pôde (OP) a trvalých trávnych porastoch (TTP) v podmienkach Slovenska

Vo finálnej fáze boli takto stanovené hodnoty koncentrácie POC (%) prepočítané v zmysle pedotransferových rovníc uvedených v metodike práce na zásobu POC ( $t \cdot ha^{-1}$ ), v prípade TTP pre každú hĺbku samostatne (10 cm). Následne boli hodnoty zásoby POC z hĺbok 0-10, 10-20 a 20-30 cm spočítané do finálnej hodnoty zásoby POC v hĺbke 0-30 cm. Na orných pôdach bola zásoba POC prepočítaná priamo pre hĺbku 0-30 cm z hodnoty koncentrácie POC v hĺbke 0-10 cm.

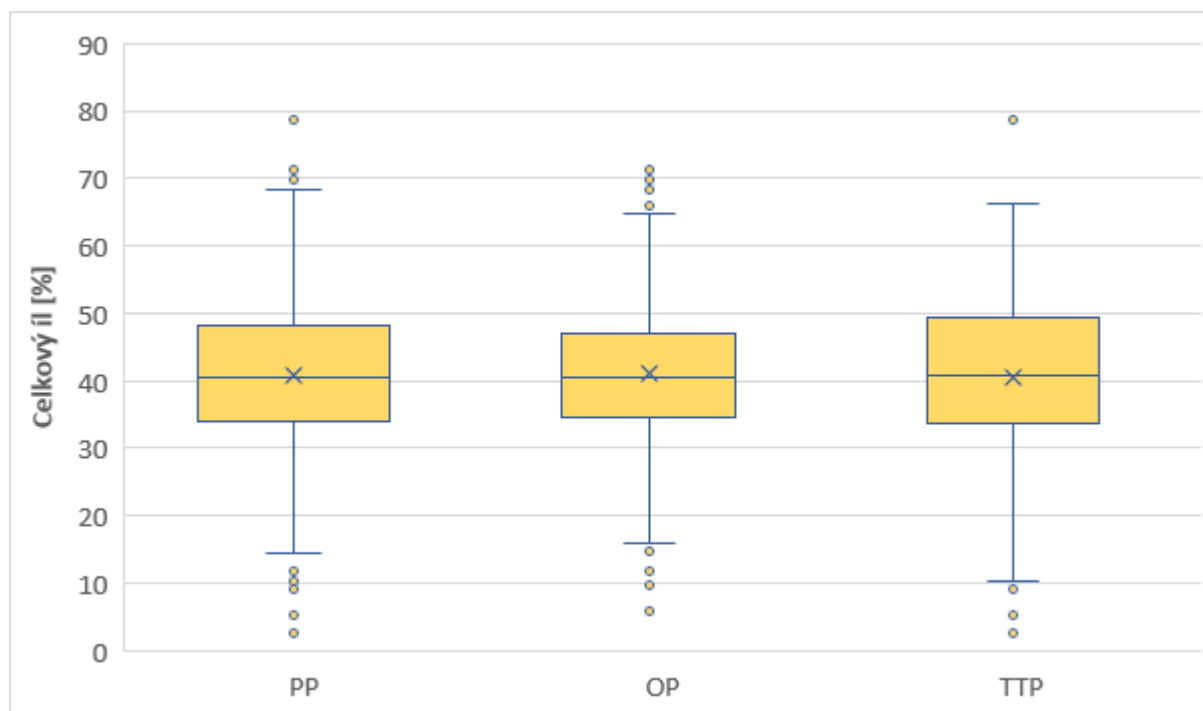


V roku 2002 bola na poľnohospodárskej pôde Slovenska priemerná zásoba POC  $63,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , pričom na orných pôdach priemerná hodnota klesá na  $61,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  a naopak, na TTP stúpa na hodnotu  $66,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Graf 1).

Takto odvodené hodnoty predstavujú počiatočnú zásobu POC pre modelovanie jej vývoja prostredníctvom modelu RothC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Po vylúčení lokalít s odľahlými hodnotami zásoby POC boli tieto hodnoty priemerované pre homogénne priestorovo-pôdne vlastnosti územia (nadmorská výška, využitie poľnohospodárskej pôdy, zrnitosť pôdy, obsah POC) a následne priradené priestorových simulačným jednotkám s rovnakými priestorovo-pôdnymi vlastnosťami.

#### Ílová frakcia

Hodnota ílovej frakcie (%) v podobe celkového ílu (frakcia  $< 0,01 \text{ mm}$ ) sa v procese modelovania zásob POC z údajov ČMS-P využíva dvoma spôsobmi. Nepriamo slúži na stanovenie objemovej hmotnosti pôdy prostredníctvom pedotransferovej funkcie (Makovníková & Širáň 2011) a zároveň je to priamy vstupný parameter modelovania zásob POC v prostredí modelu RothC. Databáza ČMS-P obsahuje merané údaje o celkovom íle v dvoch hĺbkach (0-10 a 20-30 cm), preto pre stanovenie zásob POC v hĺbke 0-30 cm, ako aj pri samotnom modelovaní vývoja zásob POC bol použitý aritmetický priemer hodnoty ílovej frakcie z týchto dvoch hĺbok.

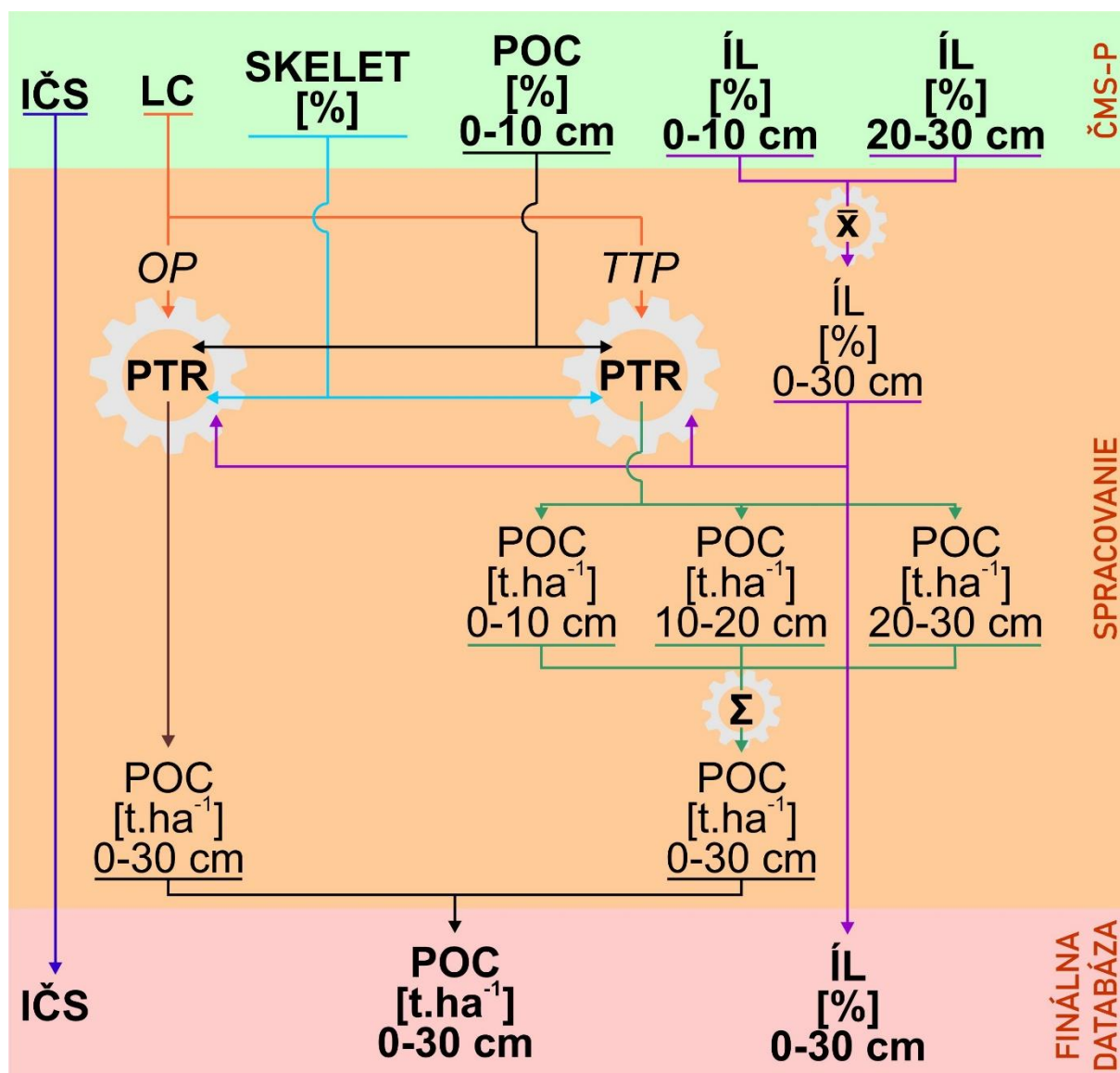


**Graf 2.** Porovnanie zastúpenia celkového ílu (frakcia  $< 0,01 \text{ mm}$ ) na poľnohospodárskej pôde (PP), ornej pôde (OP) a trvalých trávnych porastoch (TTP) v podmienkach Slovenska

Ako ukazuje Graf 2, v podmienkach Slovenska dominujú stredne ťažké pôdy. Lokality zrnitostne ľahkých pôd sa vyskytujú prevažne na západnom Slovensku v oblasti Záhorskej nížiny a vo využití týchto pôd prevládajú trvalé trávne porasty. Do kategórie ťažkých pôd spadá 98 lokalít ČMS-P, ktoré sa nachádzajú v pahorkatinných oblastiach Podunajskej a Východoslovenskej nížiny, ako aj ostrovčekovite vo väčšine kotlín. Väčšina lokalít s výskytom takých pôd sa vyskytuje do nadmorskej výšky 600 m a sú rovnomerne využívané ako orná pôda aj TTP.

### Skeletnosť pôdy

Parameter skeletnatosti pôdy bol odvodený priamo z databázy ČMS-P z údajov do hĺbky 30 cm. Parameter skeletnatosti sme primárne využili na spresnenie výpočtu zásoby POC ( $t \cdot ha^{-1}$ ).



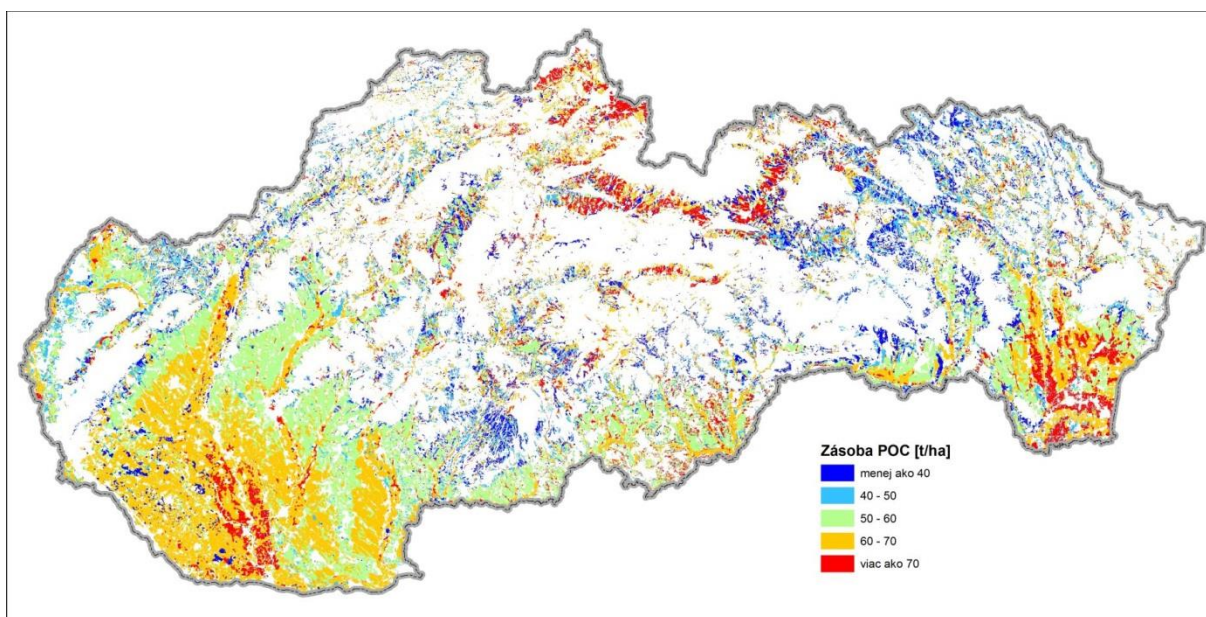
**Obr. 1.** Schéma prípravy databázy pôdnych údajov pre modelovanie zásob pôdneho organického uhlíka.

Vysvetlivky: IČS – identifikačné číslo sondy (lokality), LC - typ využívania poľnohospodárskej pôdy (OP – orná pôda, TTP – trvalý trávny porast), SKELET - obsah skeletu, ÍL – podiel ílových častíc (frakcia < 0.01 mm), POC – pôdny organický uhlík, PTR – pedotransferová rovnica,  $\bar{x}$  – aritmetický priemer

Takto pripravená databáza bola použitá na skúmanie vplyvu geografických a pedologických parametrov, ako aj parametrov využitia pôdy, na zásobu POC (Barančíková *et al.* 2023) a tiež pri modelovaní zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska v rámci projektu URANOS (Obr. 1). V prvom kroku bolo potrebné stanoviť si hĺbku pôdy, pre ktorú sa bude vývoj zásob POC modelovať. Keďže zásoba POC reaguje najcitlivejšie na zmeny v hĺbke 0-30 cm, ide o štandardnú hĺbku, ktorá sa využíva v aplikáciách vo svete aj na Slovensku. Laboratorne merané údaje o koncentrácii POC a ílovej frakcii boli prostredníctvom pedotransferových funkcií prevedené na zásoby POC, pričom v závislosti od využitia

poľnohospodárskej pôdy boli takýmto postupom transformované údaje koncentrácie POC z hĺbky 0-10 cm. Zatiaľ čo na orných pôdach boli hodnoty POC prevedené priamo pre modelovacie hĺbky 0-30 cm, na TTP sme k výslednej hodnote zásoby POC dospeli súčtom z troch hĺbok s hrúbkou 10 cm. Stanovenie hodnoty zásoby POC jednotlivých lokalít v kombinácii s priestorovými a ďalšími pedologickými parametrami umožnilo štatisticky určiť zásadné faktory (hybné sily) ovplyvňujúce stav zásob POC v teritóriu poľnohospodárskych pôd Slovenska.

Databáza ČMS-P tak bola využitá nielen na prípravu vstupov o pôdnych vlastnostiach do modelu RothC, ale priestorovo-kvalitatívne údaje o jednotlivých lokalitách sa použili pri delimitácii územia Slovenska na priestorové simulačné jednotky, ktoré bolo možné použiť pre samotné modelovanie. Zásoba POC vykazuje významnú štatistickú závislosť s nadmorskou výškou, využitím poľnohospodárskej pôdy, zrnitostnými kategóriami a kategóriami pôdneho typu z hľadiska hĺbky a obsahu humusového horizontu. Tieto parametre boli použité ako delimitačné kritéria pre tvorbu priestorových simulačných jednotiek. V nadväznosti na to sa priemerné hodnoty POC z roku 2002 priradili ako iníciaľne hodnoty pre modelovanie vývoja zásob POC, priestorovým simulačným jednotkám v podobe gridových štvorcov o veľkosti 100 x 100 m agregovaných na základe použitých delimitačných kritérií (Obr. 2). Modelovanie bolo realizované pre obdobie rokov 2000 – 2050. Iníciaľna zásoba sa použila ako referenčná hodnota pre rok 2000. Modelovanie sa realizovalo podľa viacerých scenárov manažmentu využívania poľnohospodárskej pôdy z pohľadu množstva vstupov uhlíka do pôdy z poľnohospodárskej produkcie (záverečná správa projektu URANOS).



**Obr. 2.** Priestorová distribúcia iníciaľných zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska, odvodená z databázy ČMS-P

### Záver

Vývoj zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska je pomerne dobre otestovaný vo viacerých štúdiách, v ktorých bol využitý predikčný model RothC. Okrem iných významnou skupinou vstupných parametrov sú údaje o pôdnych vlastnostiach. Model RothC pre stanovenie vývoja zásob POC vyžaduje údaje o iníciaľnej zásobe POC na začiatku modelovacieho obdobia, podiele ílovej frakcie v štruktúre pôdy a informáciu o hĺbke pôdy, pre ktorú sa zásoba POC stanovuje, resp. modeluje. Na území Slovenskej republiky je z pohľadu komplexnosti a hlavne aktuálnosti najvýznamnejším zdrojom údajov o poľnohospodárskej pôde databáza čiastkového monitoringu – pôda. Štruktúra databázy

ČMS-P prispôbená zberu údajov z jednotlivých lokalít neumožňuje použiť potrebné parametre priamo, ale vyžaduje si ich dodatočnú úpravu do požadovanej podoby. V uvedenom príspevku prezentujeme postup transformácie údajov o pôdnych vlastnostiach z databázy ČMS-P do podoby a štruktúry potrebnej pre modelovanie vývoja zásob POC prostredníctvom modelu RothC. Zároveň štatistické zhodnotenie závislosti koncentrácie a zásoby POC ku vybraným priestorovým parametrom, ako aj parametrom pôdnych vlastností viedlo k určaniu delimitačných kritérií pre diferenciáciu územia poľnohospodárskych pôd Slovenska na simulačné jednotky, pre ktoré bolo modelovanie vývoja zásob POC uskutočnené.

### Pod'akovanie

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).

**Kontaktná adresa:** Štefan Koco, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy – Regionálne pracovisko Prešov, Raymanova 1, 080 01 Prešov, Slovensko; e-mail: stefan.koco@nppc.sk

### Literatúra

- Banwart, S.A., Black, H., Cai, Z., Gicheru, P.T., Joosten, H., Victoria, R.L., Milne, E., Noellemeyer, E., Pascual, U. 2015. The global challenge for soil carbon. In: Banwart, S.A., Noellemeyer, E., Milne, E. (Eds.), *Soil Carbon*. Scope Series volume 71, Cabi International, Boston, pp. 1-9. ISBN-13: 978 1 780064 532 2.
- Barančíková, G., Halas J., Gutteková, M., Makovníková, J., Nováková, M., Skalský, R., Tarasovičová, Z. 2010. Application of RothC model to predict soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. In *Soil and Water Research*. vol. 5, pp. 1–9, ISSN 1801-5395(print), 1805-9384 (On-line). Dostupné na: doi: 10.17221/23/2009-977 SWR.
- Barančíková, G., Makovníková, J., Skalský, R., Tarasovičová, Z., Nováková, M., Halas, J., Gutteková, M., Koco, Š. 2012. Simulation of Soil Organic Carbon Changes in Slovak Arable Land and their Environmental Aspects. In *Soil and Water Research*. vol.7, pp. 45-51, ISSN 1801-5395(print), 1805-9384 (On-line). Dostupné na: doi:10.17221/38/2011-SWR.
- Barančíková, G., Gömöryová, E., Tobiašová, E., Makovníková, J., Koco, Š., Halas, J., Skalský, R., Tarasovičová, Z., Takáč, J. 2019. *Pôdny organický uhlík a jeho odozva na využívanie krajiny Slovenska*. NPPC-VÚPOP, Bratislava, 105 pp. ISBN 978-80- 8163-029-3.
- Barančíková, G., Halas, J., Koco, Š., Takáč, J. 2021. Vplyv klimatickej zmeny a zmeny vo využívaní pôdy na zásobu pôdneho organického uhlíka. In *Synergia prírodných ekosystémov v krajine. Zborník recenzovaných vedeckých prác*. Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Banská Bystrica, Slovenská republika, pp. 34-41, ISBN 978-80-89800-19-3.
- Barančíková, G., Koco, Š. 2022. Sekvestrácia pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskej pôde. In *Naše pole*. vol. XXVI, no. 5, pp. 26-28. ISSN 1335-2466.
- 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, B., Bednář, M., Netopil, Patrik (eds.). *Adaptation strategies for soil and water conservation in a changing world. Proceedings The 5th WASWAC World Conference*. Palacky University Olomouc, pp. 66-67. ISBN 978 – 80 – 244- 6318-36.
- Bellassen, V., Angers, D., Kowalczewski, T., Olesen, A. Soil carbon is a blind spot of European national GHG inventories. In *Nature Climate Change*. Vol. 12, no.4, pp:1-8. Dostupné na: doi: 10.1038/s41558-022-01321-9.

- Campbel, 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, 123004, ISSN 1748-9326. Dostupné na: 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. In *Geoderma*. vol. 337, pp. 463-478, ISSN 0016-7061. Dostupné na: doi: 10.1016/j.geoderma.2018.10.001.
- Chevallier T., Hamdi, S., Gallali, T., Brahim, N., Cardinel, R., Bounouara, Z., Cournac, L., Chenu, C., Bernoux, M., 2016. Soil carbon as an indicator of Mediterranean soil quality. In: Haité, H., Yazami, D. (Eds.), *The Mediterranean Region under Climate Change: A scientific update*, Sub-chapter 3.5.3., Marseille, pp. 627-636. ISBN 978-2-7099-2219-7.
- Eckelmann, W., Baritz, R., Bialousc, 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 Bureau Research Report no.20, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Gray, J.M., Bishop, T.F.A., Wilson, B.R. 2016. Factors controlling soil organic carbon stocks with depth in eastern Australia. In *Soil Science Society of America Journal*. vol. 79, pp.1741–1751, ISSN 1435-0661. Dostupné na: doi: 10.2136/sssaj2015.06.0224.
- Farina, R., Marchetti, A., Francaviglia, R., Napoli, R., DiBene, C. 2017. Modeling regional soil C stocks and CO<sub>2</sub> emissions under Mediterranean cropping systems and soil types. In *Agriculture Ecosystems & Environment*. vol.238, pp.128–141, ISSN 01678809. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.015>
- Funes, I., Savé, R., Rovira, P., Molowny-Horas, R., Alcaniz, J.M., Ascaso, E., Herms, I., Herrero, C., Boixadera, J., Vayreda, J. 2019. Agricultural soil organic carbon stocks in the north-eastern Iberian Peninsula: Drivers and spatial variability. In *Science of the Total Environment*. vol. 668, pp. 283-294, ISSN 00489697, 18791026. Dostupné na: doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.317
- Hábová, M., Pospíšilová, L., Hlavinka, P., Trnka, M., Barančíková, G., Tarasovičová, Z., Takáč, J., Koco, Š., Menšík, L., Nerušil, P. 2019. Carbon pool in soil under organic and conventional farming systems. In *Soil and Water Research*. vol. 14, no. 3, pp.145-152, ISSN 1801-5395(print), 1805-9384 (On-line). Dostupné na doi: 10.17221/71/2018-SWR
- Kobza, J., Barančíková, G., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. 2017. Current state and development of land degradation processes based on soil monitoring in Slovakia. In *Agriculture*. vol. 63, pp.74-85, ISSN 2077-0472. Dostupné na: doi: 10.1515/agri-2017-0007.
- Kobza, J., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Barančíková, G., Bezák, P., Bezáková, Z., Dodok, R., Grečo, V., Chlpík, J., Lištjak, M., Mališ, J., Piš, V., Schlosserová, J., Slavík, O., Styk, J., Širáň, M. 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. VÚPOP, Bratislava, 136 pp. ISBN: 978-80-89128-89-1.
- Launay, C., Constantin, J., Chlebowski, F., Houot, S., Graux, A.-I., Klumpp, K., Martin, R., Mary, B., Pellerin, S., Therond, O. 2021. Estimating the carbon storage potential and greenhouse gas emissions of French arable cropland using high-resolution modelling. In *Global Change Biology*, vol. 27, pp.1645-1661. ISSN 13652486, 13541013. Dostupné na: doi: 10.1111/gcb.15512
- Linkeš, V., Kobza, J., Švec, M., Ilka, P., Pavlenda, P., Barančíková, G., Matúšková, L. 1997. *Monitoring pôd Slovenskej republiky. Súčasný stav monitorovacích vlastností pôd 1992 – 1996*. VÚPOP, Bratislava, 128 pp. ISBN: 80-85361-35-3
- Lorenz, K., Lal, R. (eds). 2018. *Carbon sequestration in agricultural ecosystems*, pp. 392. Berlin, Heidelberg, Springer. Dostupné na: <http://doi.org/10.1007/978-3-319-912318-5>.
- Lugato, E., Panagos, P., Bampa, F. Jones, A., Montanarella, L. 2014. A new baseline of organic carbon stock in European agricultural soils using a modelling approach. In *Global Change Biology*. vol, 20, pp.313-326. ISSN 13652486, 13541013. Dostupné na: doi: 10.1111/gcb.12292. ISBN 978-3-319-92317-8
- Makovníková, J., Širáň, M. 2011. *Modelovanie rovnovážnej objemovej hmotnosti pôdy*. VUPOP, Bratislava, 36 pp. ISBN: 978-80-89128-85-3.
- Mondini, C., Coleman, K. & Whitmore, A. 2012. Spatially explicit modelling of changes in soil organic C in agricultural soils in Italy, 2001–2100: Potential for compost amendment. In *Agriculture, Ecosystems & Environment*. vol., 153, pp. 24–32, ISSN 01678809. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.02.020>
- Morais, T., Teixeira, R., Domingos, T. 2019. Detailed global modelling of soil organic carbon in cropland, grassland and forest soils. In *PloS one*, 14(9): e0222604. ISSN 1932-6203 Dostupné na: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222604> ISSN 1932-6203
- Panagos, P., Van Liedekerke, M., Borelli, P., Koninger, J., Ballabio, C., Orgiazzi, A., Lugato, E., Liakos, L., Hervas, J., Jones, A., Montanarella, L. 2022. European Soil Data centre 2.0: Soil data and knowledge in support of the EU policies. In *European Journal of Soil Science*, vol. 73, pp. e13315. Dostupné na: <https://doi.org/10.1111/ejss.13315>

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

- Peralta, G., Di Paolo L., Luotto, I., Omuto, C., Mainka M., Viatkin, K., Yigini, Y. 2022. *Global soil organic carbon sequestration potential map (GSOSeq v1.1) – Technical manual*. Rome, FAO. Dostupné na: <https://doi.org/10.4060/cb2642en>
- Poeplau, C., Don, A. 2013. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe, In *Geoderma* 192, 189-201, ISSN 0016-7061. Dostupné na: doi: 10.1016/j.geoderma.2012.08.003
- Prokopyeva, K., Romanenkov, V., Sidorenkova, N., Pavlova, V., Siptits, S., Krasilnikov, P., 2021. The Effect of Crop Rotation and Cultivation History on Predicted Carbon Sequestration in Soils of Two Experimental Fields in the Moscow region, Russia. In *Agronomy*, vol., 11, pp.226, ISSN 2073-4395. Dostupné na: doi: 10.3390/agronomy11020226
- Rodrigues, L., Hardy B., Huyghebeart, B., Fohrafellner, J., Fornara, D., Barančíková, G., Bárcena, T., De Boever, M., Di Bene, C., Feiziené, D., Kätterer, T., Laszlo, P., O'Sullivan, L., Seitz, D., Leifeld, J. 2021. Achievable agricultural soil carbon sequestration across Europe from country-specific estimates. In *Global Change Biology*, vol. 27, pp. 6363-6380, ISSN 13652486, 13541013. Dostupné na: <https://doi.org/10.1111/gcb.15897>
- Schmer, M., Jin, V., Wienhold, B., Varvel, G., Follett, R. 2014. Tillage and Residue Management Effects on Soil Carbon and Nitrogen Under Irrigated Continuous Corn. In *Soil Science Society of America Journal*, vol.,78, pp.1987- 1996. ISSN 1435-0661. Dostupné na: DOI: 10.2136/sssaj2014.04.0166
- Skalský, R., Pavlenda, P., Barančíková, G., Koco, S., Barka, I., Tarasovičová, Z., Makovníková, J., 2017. Odhad zásoby organického uhlíka v povrchovej vrstve pôd Slovenska. In: Sobocká, J. (Ed.), 2017, *Vedecké práce VÚPOP*, vol., 39, pp. 87-94. ISBN: 978-80-8163-023-1, [https://www.vupop.sk/dokumenty/Vedecke\\_prace\\_2017.pdf](https://www.vupop.sk/dokumenty/Vedecke_prace_2017.pdf).
- Skalský, R., Koco, Š., Barančíková, G., Tarasovičová, Z., Halas, J., Koleda, P., Makovníková, J., Gutteková, M., Tobiášová, E., Gömöryová, E., Takáč, J. 2020. Land Cover and Land Use Change-Driven Dynamics of Soil Organic Carbon in North-East Slovakia Croplands and Grasslands Between 1970 and 2013. In *Ekológia* (Bratislava). vol., 39 (2), pp.159 - 173. Dostupné na: doi: 10.2478/eko-2020-0012.
- Smith, P., Soussana, J.F., Angers, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D., Batjes, N. *et al.* 2020. How to measure report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. In *Global Change Biology*. vol., 26(1), pp.219–241. ISSN 13652486, 13541013. Dostupné na: doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02689.x
- Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M., Zaehle, S., Hiederer, R., Jones, R., Montanarella, L. *et al.* 2005. Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and bgrasslands,1990-2080. ISSN In *Global Change Biology*. vol., 11(12): pp.2141–2152. ISSN 13652486, 13541013. Dostupné na: doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.001075.x
- Smith, J., Smith, P., Meyer, M., Z., Wattenbach, M., Meyer, J., Lindner, M., Zaehle, S., Hiederer, R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Rounsevell, M. 2006. Projected changes in mineral soil carbon of European forests,1990-2100. In *Canadian Journal of Soil Science*. Vol., 86, pp. 159-169. ISSN 13652486, 13541013. Dostupné na: <https://doi.org/10.4141/S05-078>

## **Monetárne a nemonetárne hodnotenie regulačných ekosystémových služieb v pilotných regiónoch SR**

Monetary and Non-monetary Assessment of Regulatory Ecosystem Services in the Pilot  
Regions of the SR

**Jarmila MAKOVNÍKOVÁ<sup>1</sup>, Stanislav KOLOŠTA<sup>2</sup>, Boris PÁLKA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva  
a ochrany pôdy, Bratislava, regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, e-mail:  
jarmila.makovnikova@nppc.sk

<sup>2</sup>Katedra verejnej ekonomiky a regionálneho rozvoja, Ekonomická fakulta Univerzita Mateja  
Bela Banská Bystrica

### **Abstract**

Sustainable way of managing the landscape requires the introduction of tools for evaluating and assessing ecosystem services. The aim of the study is to evaluate regional differentiations in the values of regulating ecosystem services in relation to natural potential in four small pilot regions of the Slovak Republic with the application of the modified matrix approach. The results in the pilot regions of the Slovak Republic indicated that the spatial distribution of individual ecosystems in the country in combination with a higher altitude and a larger area of forests and protected areas can represent significant factors influencing the potential of the territory to provide benefits resulting from regulating ecosystem services. Mountain areas generally have a higher capacity to provide regulating ecosystem services, which is mainly due to their rich forest vegetation. Regulating eco-system services to the highest extent reflect the multifunctionality of the territory.

**Keywords:** regulating ecosystem services, matrix assessment, landscape, mapping

### **Úvod**

Cieľom hodnotenia a oceňovania ekosystémových služieb je prispieť k sprehl'adneniu významu ekosystémov pre spoločnosť a začleniť ekonomické hodnotenia ekosystémových služieb do rozhodovacích rámcov. Koncept ekosystémových služieb zavádza ekologický aj sociálny rozmer do vnímania, hodnotenia a riadenia predovšetkým hospodársky využívaných ekosystémov. Prírodný kapitál, zásoba environmentálnych aktív jednotlivých ekosystémov, predstavuje základ poskytovania ekosystémových služieb. Krajina prostredníctvom svojej mozaiky ekosystémov poskytuje množstvo služieb pre blaho človeka. Poznanie hodnoty prírodného kapitálu a hodnoty ekosystémových služieb môže byť žiaduce z pohľadu environmentálneho účtovníctva a prepojenia hodnoty prírodného kapitálu s celkovým rozsahom ekonomiky. Zároveň ide aj o dôležitý zdroj údajov pre monitorovanie a hodnotenie stavu životného prostredia, environmentálnych politík a pokroku pri dosahovaní cieľov udržateľného rozvoja. Analyzovať a hodnotiť ekosystémové služby znamená porozumieť vzájomnej závislosti a kompromisom medzi výrobou a životným prostredím.

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. Ekosystémy, ktoré poskytujú služby, sú označované ako prírodný kapitál (Costanza & Daly 1992), čím dochádza k prepojeniu hospodárstva s jeho ekologickými rozmermi. Aby sa tieto výhody mohli realizovať, musí prírodný kapitál súvisieť s inými formami kapitálu, ako sú výrobný kapitál, ľudský kapitál a sociálny alebo kultúrny kapitál. 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 ekosystémových služieb predstavuje hypoteticky maximálny výnos ekosystémových služieb (Burkhard *et al.* 2014), ktorý môže prírodný kapitál (ekosystém) 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). Vyjadrenie hodnoty ekosystémových služieb tak môže pomôcť spoločnosti lepšie sa rozhodovať v prípadoch, v ktorých je nutné prijímať kompromisy (tzv. *trade-offs*), ktoré majú zásadný vplyv na prírodné zdroje a ich využívanie a zachovanie (Burkhard & Maes 2017).

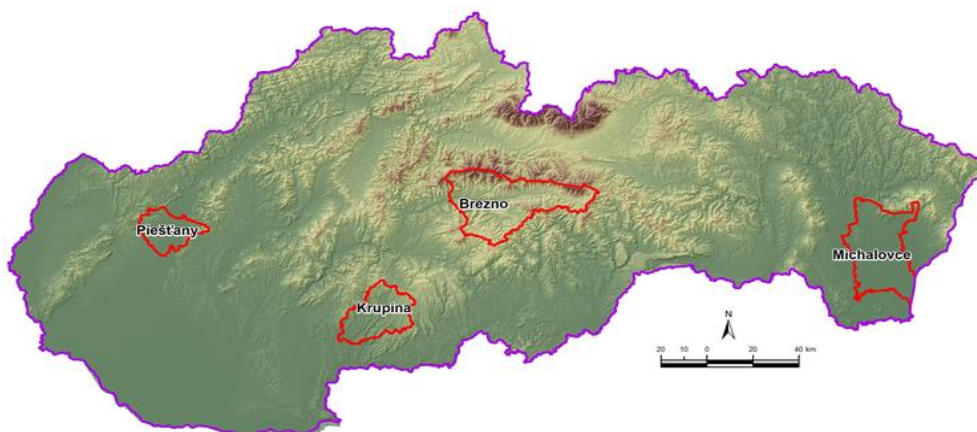
Cieľom príspevku je zhodnotiť regionálne diferenciacie v hodnotách regulačných ekosystémových služieb vo vzťahu k prírodnému potenciálu v štyroch malých pilotných regiónoch SR s aplikáciou modifikovaného maticového prístupu.

## Materiál a metodika práce

### Modelové regióny

Modelové regióny reprezentujú štyri základné prírodno-demografické oblasti Slovenska, a to západnú, východnú, južnú a centrálnu časť v rámci Slovenska, čo sa týka klimatických podmienok, nadmorskej výšky, prírodného kapitálu a demografických podmienok (Obr. 1).

Obr. 1 Modelové regióny



Zdroj: Vlastné spracovanie

Využívanie prírodného kapitálu a konkurencieschopnosť poľnohospodárskych podnikov ovplyvňujú prírodné, ekonomické a demografické podmienky Slovenskej republiky. Výmera jednotlivých ekosystémov v modelových regiónoch je uvedená v Tab. 1.

Tabuľka 1. Plošné zastúpenie ekosystémov v hektároch

Ekosystém	Krupina	Brezno	Michalovce	Piešťany
	ha			
Orné pôdy	15 266,6	3221,7001	50260,8	21022,1
Trvalé trávne porasty	9 362,1	17455,6	11295,5	726,9
Vinice	73,2	0	62,3	43
Ovocné sady	30,5	0,5	64,5	179
Rýchlorastúce dreviny	163,7	0	13,9	1
Vodné plochy	60,1	20,2	3618,8	403
Mokrade národného významu	0,3	3,2	186,7	4,1
Chránené vtáčie územia (CHVU)	5 725,9	31528,73	6243,7	4050,9
Les hospodársky	8 019,06	18027,9	2081,6	813,57
Les ochranný	2 156,7	10608,4	59,92	34,79



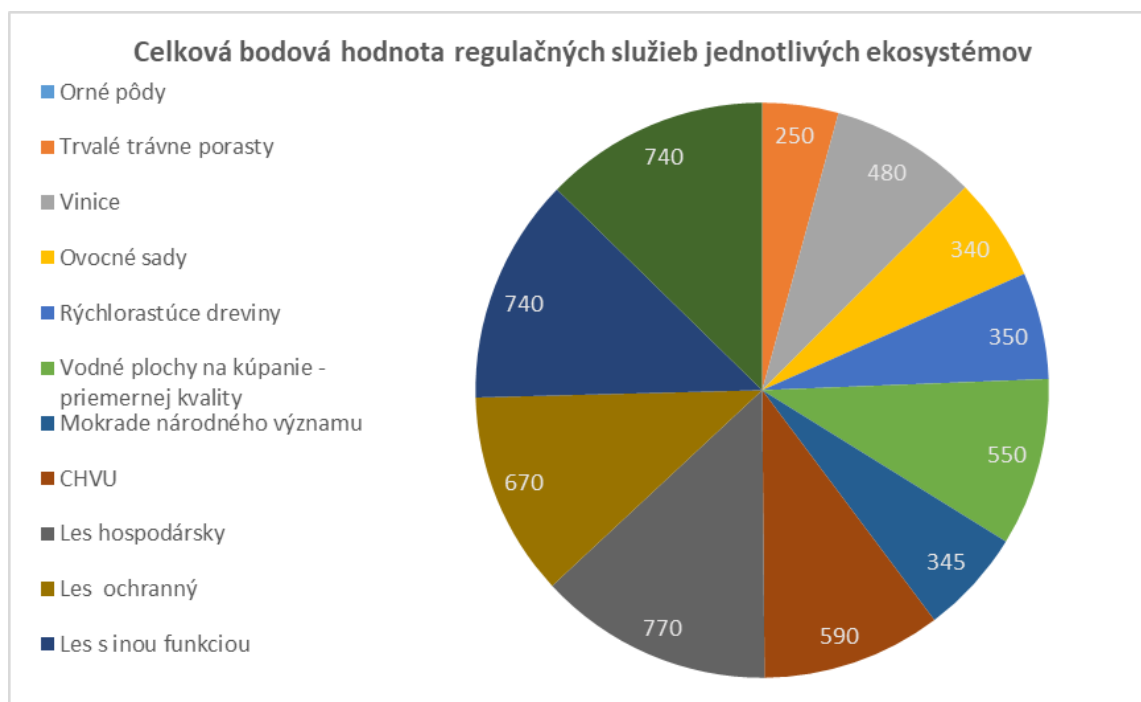
Ekosystém	Krupina	Brezno	Michalovce	Piešťany
	ha			
Lesy osobitného určenia	4 561,05	24759,3	1831,1	3150,4
Lesy (celková výmera)	14 736,81	53 395,60	3 972,62	3 998,76

Zdroj: Vlastné spracovanie z údajov LPIS, CLC a NLC.

### *Nemonetárne a monetárne (peňažné) hodnotenie ekosystémových služieb*

Hodnotenie potenciálu ekosystémových služieb prírodného kapitálu v modelových regiónoch lokalizovaných v rôznych klimatických regiónoch Slovenska, sme realizovali s využitím modifikovanej matice autorov Burkhard *et al.* (2014), Müller *et al.* (2020) a Černecký *et al.* (2020). Matica s rozsahom bodov od 0 do 100 navrhnutá Müller *et al.* (2020), uvedená aj v práci Černecký *et al.* (2020), bola pri chýbajúcich hodnotách ekosystémov definovaných v modelových územiach doplnená hodnotami z matice Burkhard *et al.* (2014), ktoré boli prepočítané z hodnotenia od 0 do 5 na bodové hodnoty od 0 do 100 bodov. Celkové bodové hodnoty jednotlivých ekosystémov pre hodnotenie regulačných služieb (regulácia lokálnej a globálnej klímy, regulácia kvality ovzdušia, regulácia vody/ochranu pred záplavami, regulácia vodnej erózie, regulácia živín, regulácia rizikových látok, opelovanie a ochrana biodiverzity) sú uvedené v nasledovnom grafe (Obr. 2).

**Obr. 2** Regulačné ekosystémové služby celková bodová hodnota potenciálu jednotlivých ekosystémov (bodová hodnota na ha)



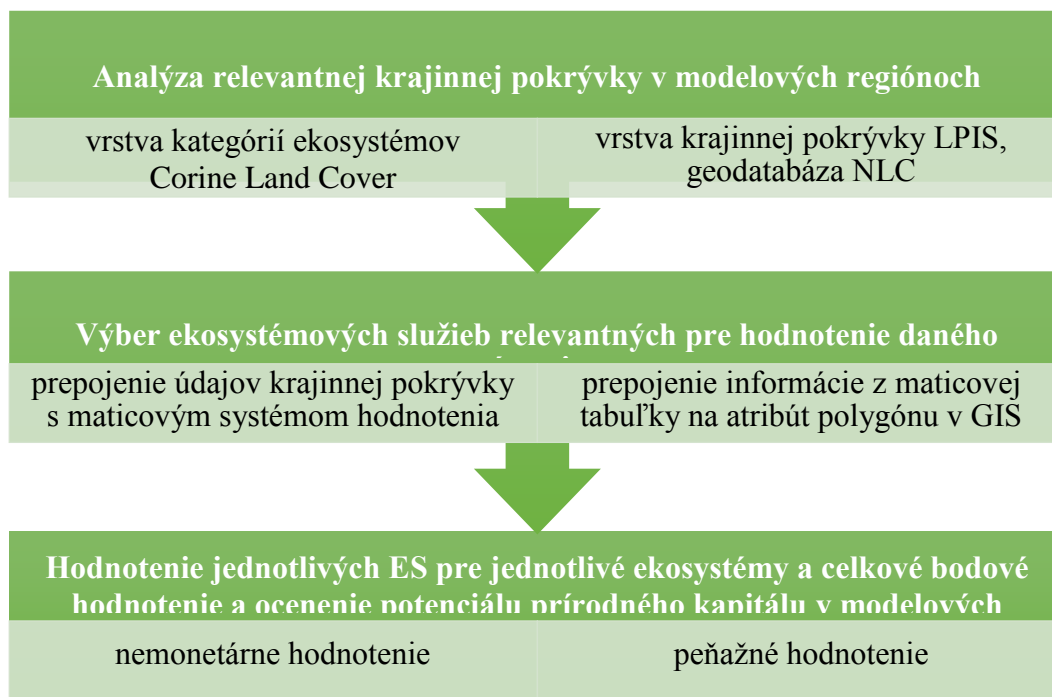
Zdroj: Vlastné spracovanie

Maticový systém spája triedy krajiny pokrývky alebo typy ekosystémov s ekosystémovými službami, je flexibilný a ľahko prispôsobiteľný rôznym zdrojom údajov a technikám modelovania. Prepojením výmery jednotlivých ekosystémov s bodovou hodnotou indexu v matici je následne možné stanoviť pre modelové územie komplexnú bodovú hodnotu ekosystémových služieb. Na stanovenie peňažnej ceny prírodného kapitálu na poskytovanie ekosystémových služieb sme zvolili metódu prenosu hodnôt (Liu *et al.* 2010, Wilson & Hoehn 2006, Burkhard & Maes 2017, Černecký *et al.* 2020), na základe ktorej je možné priradiť bodovým hodnotám cenu/ekonomickú hodnotu. Metóda prenosu hodnôt je postup, pri ktorom sa využívajú zistené hodnoty z existujúcich štúdií a aplikujú sa v novom kontexte.

Frélichová *et al.* (2014) publikovali meta-analýzu dát, ktorá bola zberom údajov všetkých relevantných publikovaných údajov o ocenení ekosystémových služieb v Európe a ich štúdia poskytuje ucelený obraz o priemerných hodnotách ekosystémových služieb v eurách na ha a na rok.

Na základe matice boli následne vypočítané peňažné hodnoty potenciálu ekosystémových služieb pre jednotlivé ekosystémy podľa bodových súčtov s využitím matice indexov (Obr. 3).

**Obr. 3** Schéma hodnotenia ekosystémových služieb v modelových regiónoch



Prepojením výmery jednotlivých ekosystémov s bodovou hodnotou indexu v matici je následne možné stanoviť pre modelové územie komplexnú bodovú hodnotu ekosystémových služieb. Podľa Vihervaara *et al.* (2010) sme stanovili celkovú hodnotu (CBHES) potenciálu prírodného kapitálu pre každú ekosystémovú službu ako sumu:

$CBHES = \sum BHe \cdot Pe$ , kde BHe je index potenciálu hodnotenej služby konkrétneho ekosystému a Pe je plošné zastúpenie konkrétneho ekosystému v danom okrese.

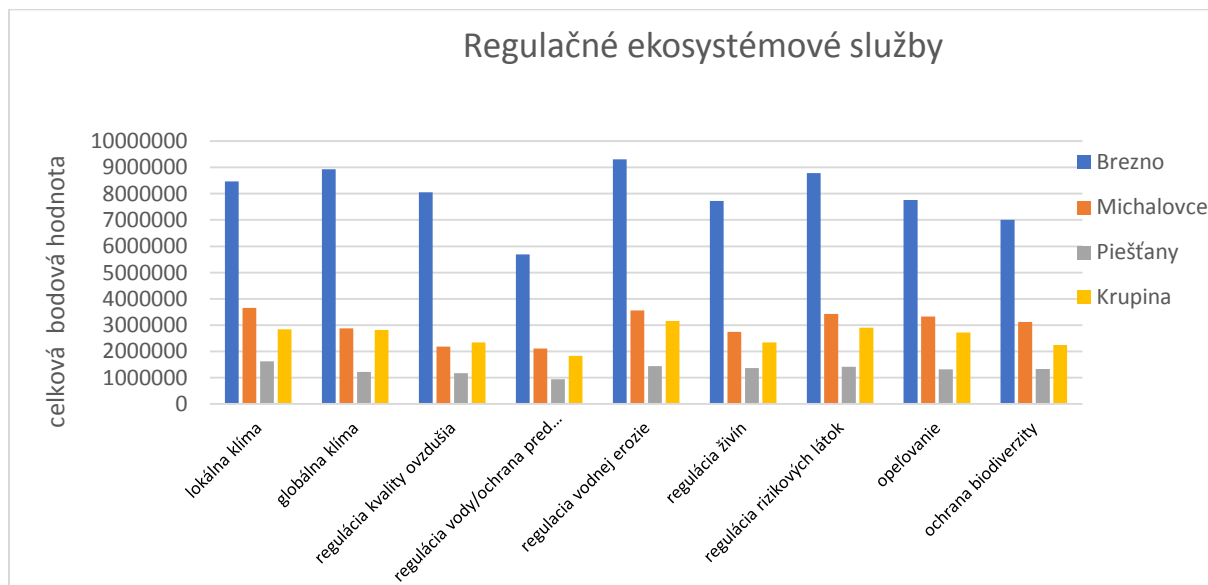
Hodnote indexu 1 bola priradená suma podľa Frélichová *et al.* (2014) upravená o negatívnu infláciu v SR  $-0,3\%$  a  $-0,5\%$  v rokoch 2015 a 2016 a pozitívnu infláciu v rokoch 2017 až 2021 nasledovne: rok 2015 = 36,476 ( $-0,3\%$  inflácia), 2016 = 36,294 ( $-0,5\%$  inflácia), 2017 = 36,766 ( $1,3\%$  inflácia), 2018 = 37,685 ( $2,5\%$  inflácia), 2019 = 38,702 ( $2,7\%$  inflácia), 2020 = 39,438 ( $1,9\%$  inflácia), 2021 = 40,700 ( $3,2\%$  inflácia) ([https://slovak.statistics.sk/wps/portal/ext/services/infoservis/confirmation!/ut/p/z0/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vM8ziw3wCLJycDB0NDMwszA0c\\_V0dLcwDPQy83U31C7IdFQH6c-x/](https://slovak.statistics.sk/wps/portal/ext/services/infoservis/confirmation!/ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vM8ziw3wCLJycDB0NDMwszA0c_V0dLcwDPQy83U31C7IdFQH6c-x/)).

### Výsledky a diskusia

V rámci regulačných ekosystémových služieb sme skúmali reguláciu lokálnej a globálnej klímy, kvality ovzdušia, vody a ochrany pred záplavami, vodnej erózie, živín, rizikových látok, opelňovanie a ochranu biodiverzity. Lesné porasty disponujú najvyšším potenciálom

poskytovať regulačné ES v okresoch Brezno a Krupina. Chránené územia predstavujú dôležitú súčasť ekosystémov najmä v okresoch Brezno a Piešťany. Ekosystém poľnohospodársky využívanej pôdy dominuje v potenciáli regulačných ES v okrese Piešťany. Mokrade národného významu sú najpodstatnejšou skupinou ekosystémov pri zabezpečovaní regulačných ES okresu Michalovce (Obr. 4).

**Obr. 4** Celková bodová hodnota potenciálu regulačných ekosystémových služieb v modelových regiónoch



Zdroj: Vlastné spracovanie

Celková bodová hodnoty regulačných ekosystémových služieb v skúmaných regiónoch je výrazne najväčšia v regióne Brezno. Naproti tomu regióny Michalovce a Krupina disponujú tretinovou celkovou bodovou hodnotou a najnižšiu hodnotu regulačných služieb má región Piešťany (Obr. 4).

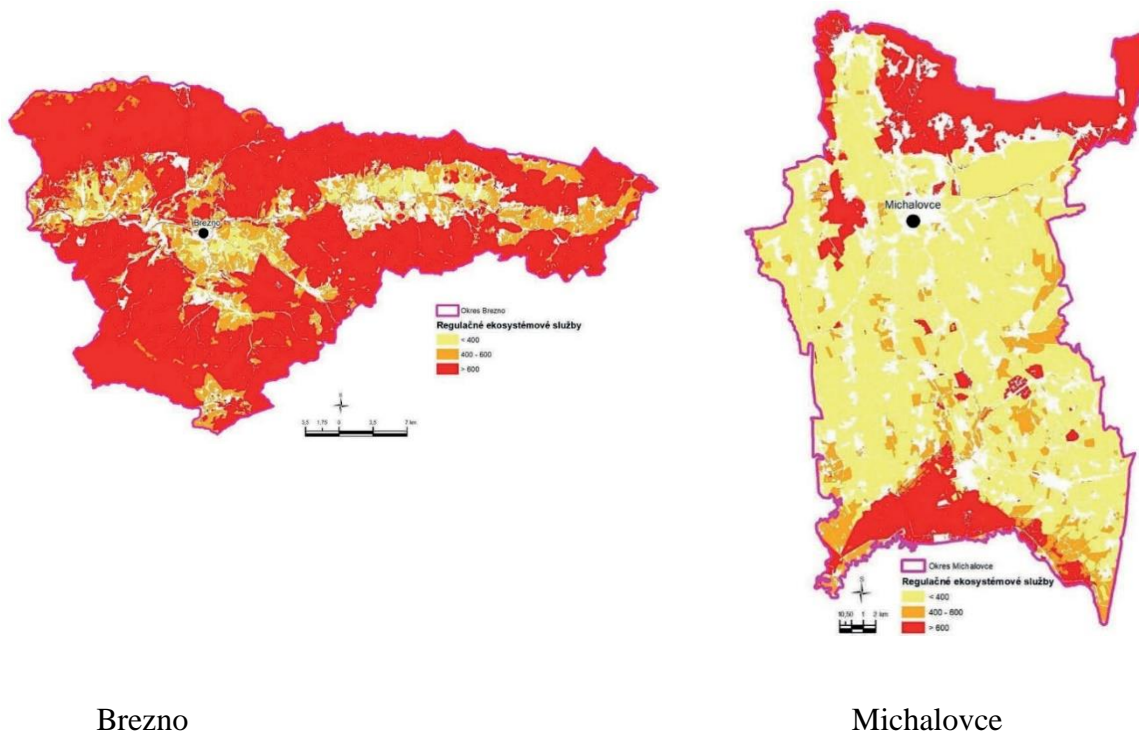
Regulácia klímy má svoju globálnu, ale aj lokálnu úroveň. Predovšetkým prirodzené lesné ekosystémy a ekosystémy mokradí udržiavajú vhodné atmosférické podmienky pre život na Zemi a regulujú klímu na celosvetovej úrovni (Maes *et al.* 2015, Nedkov *et al.* 2018). Na lokálnej úrovni sú dôležité predovšetkým ekosystémy, ktoré sú v bezprostrednej blízkosti miest a obcí. Lokálna regulácia klímy je daná schopnosťou ekosystémov regulovať teplotu, evapotranspiráciu, tieň, dopadajúce slnečné žiarenie, vietor, zrážky, imisie, prašnosť a hluk (Mederly, Černecký *et al.* 2019), čo prospieva ku komfortu života miestnych obyvateľov.

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 vodozádržnou funkciou.

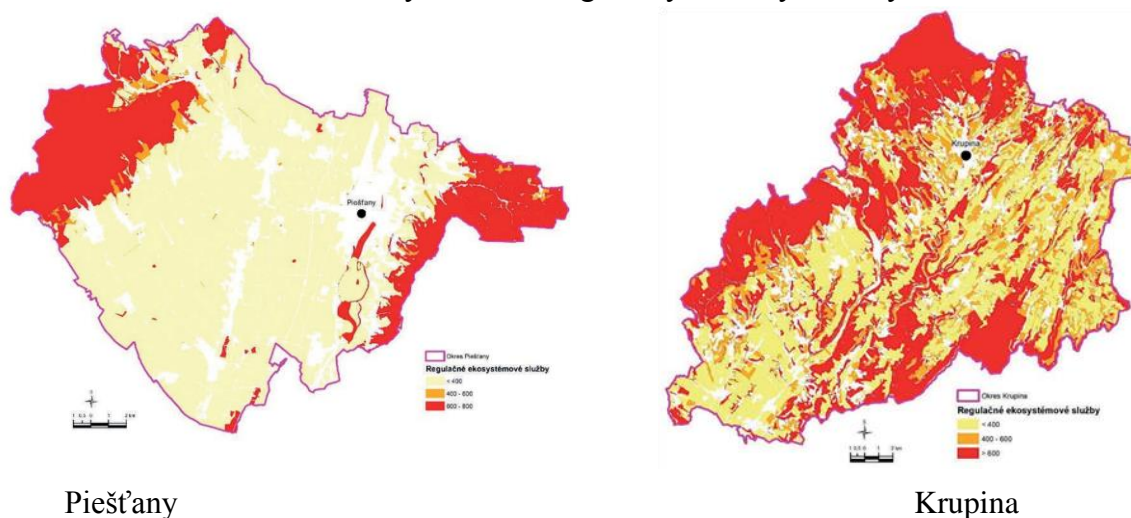
Ekosystémové služby nie sú priamo obchodovateľné, ľudia ich využívajú zadarmo a nepriamo z nich profitujú aj zariadenia zamerané na rekreáciu a cestovný ruch. Erózia patrí k závažným degradačným procesom. Riziko erózie ohrozuje poľnohospodárstvo, prírodné zdroje a životné prostredie, zosuvy pôdy môžu ohrozovať obývané oblasti a spôsobiť značné škody aj na zdraví a majetku ľudí. Hlavným typom krajiny, ktorý poskytuje túto ekosystémovú službu, sú zalesnené oblasti pahorkatín, vrchovín a horských oblastí (Mederly *et al.* 2019). Lesy a trvalé trávnaté porasty v krajine (remízky, líniové porasty drevín) sú pre transformáciu zrážok a odtokový režim kľúčovými prvkami. Prirodzené lesné porasty majú

vyšší potenciál na reguláciu erózie ako hospodárske lesy (Škodová *et al.* 2016). 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. Celková bodová hodnota potenciálu ekosystémových služieb jednotlivých ekosystémov umožňuje prepojiť maticové hodnotenie s geopriestorovými jednotkami a zobraziť aj plošnú distribúciu bodových hodnôt regulačných ekosystémových služieb v modelových regiónoch (Obr. 5A, 5B).

**Obr. 5A** Plošná distribúcia bodových hodnôt regulačných ekosystémových služieb – Brezno, Michalovce



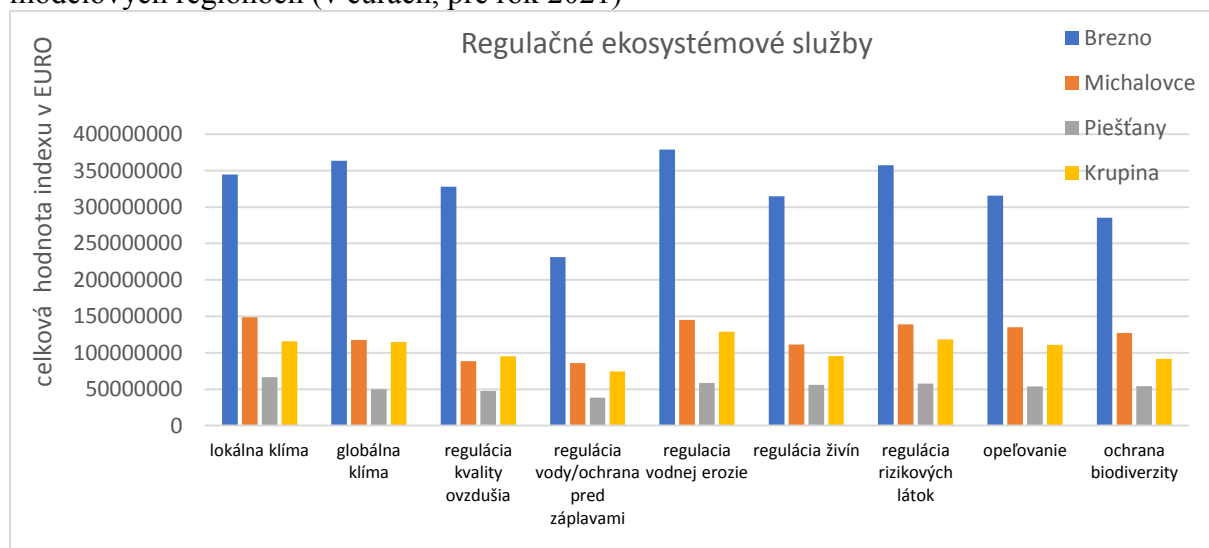
**Obr. 5B** Plošná distribúcia bodových hodnôt regulačných ekosystémových služieb - Brezno



Maticový systém hodnotenia potenciálu ekosystémových služieb v skúmaných regiónoch sme využili ako základ na ich monetárne ocenenie. Hodnote indexu 1 bola priradená suma 40,70

eur, na základe ktorej boli následne vypočítané peňažné ceny potenciálu jednotlivých regulačných služieb pre ekosystémy (Obr. 6).

**Obr. 6** Celková peňažná hodnota potenciálu regulačných ekosystémových služieb v modelových regiónoch (v eurách, pre rok 2021)



Zdroj: Vlastné spracovanie

Celková hodnota potenciálu regulačných ekosystémových služieb prírodného kapitálu v modelových regiónoch klesá v poradí: Brezno (2 919 047 066 eur) > Michalovce (1 098 849 402 eur) > Krupina (944 639 499 eur) > Piešťany (482 092 985,6 eura). Najvyššiu celkovú hodnotu prírodného kapitálu ekosystémových služieb má okres Brezno. Vďaka najväčšej rozlohe v porovnaní s ostatnými modelovými okresmi, vysokým zastúpením vysoko hodnotených ekosystémov, lesov a chránených území.

Peňažné ocenenie ekosystémových služieb sa stáva nevyhnutnou podmienkou pre uvedenie si hodnoty prírodného kapitálu predovšetkým pri procesoch plánovania, rozhodovania a regionálnej politiky. Ocenenie ekosystémových služieb zvyčajne zdôrazňuje význam prírodného kapitálu pre národné hospodárstvo, napomáha pri lepšom prijímaní rozhodnutí a jednotlivých alternatív v súvislosti so zabezpečovaním udržateľného využívania a manažmentu týchto služieb.

## Záver

Začleňovanie ekosystémových služieb do environmentálneho rozhodovania je z dlhodobého hľadiska žiaduce aj kvôli zaisteniu minimálnej úrovne hodnoty ekologických zásob, tzv. ekologickej bezpečnosti pre život (MEA, 2005). 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. Ľudské aktivity zasahujú do fungovania a prirodzenej podoby ekosystémov. Môžu mať pozitívne, neutrálne 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. 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. Matica ekosystémových služieb sa ukázala ako rýchly a spoľahlivý nástroj na nemonetárne a monetárne hodnotenie a mapovanie ekosystémových služieb. Uvedenú metódu odporúčala aj

pracovná skupina EÚ MAES ako kľúčový nástroj na plnenie záväzkov členských štátov EÚ pri tvorbe ekosystémových účtov jednotlivých krajín. Údaje o hodnote ekosystémových služieb môžu byť účinným médiom na vizuálne plošné zobrazenie hodnoty prírodného kapitálu, môžu fungovať ako podklad pre plánovacie nástroje, a tým môžu prispieť k efektívnemu rozhodovaniu v záujme udržateľného využívania prírodného kapitálu a ochrany krajiny (Makovníková *et al.* 2022).

### Pod'akovanie

Tento príspevok je podporený grantovou schémou (Agentúrou na podporu výskumu a vývoja) na základe zmluvy č. APVV-18-0035 - Oceňovanie ekosystémových služieb prírodného kapitálu ako nástroja hodnotenia sociálno-ekonomického potenciálu území.

**Kontaktná adresa:** Jarmila Makovníková, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum - Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava, regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, Banská Bystrica, Slovensko, e-mail: jarmila.makovnikova@nppc.sk

### Literatúra

- Birghofer, K., Diehl, E., Andersson, J., Ekroos, J., Früh-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. In *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2, 1-12. ISSN 2296-701X. DOI:10.3389/fevo.2014.00087.
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., Müller, F. 2014. Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands-Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification. In *Landscape Online* 2014, 34, 1–32. DOI:10.3097/lo.201434.
- Burkhard, B., Maes, J. (eds.) 2017. *Mapping Ecosystem Services*. Sofia: Pensoft Publish., 374 s.
- Constanza, R., Daly, H. E. 1992. Natural Capital, and Sustainable Development. In *Conservation Biology* 1992, 6 (1), 37–46 DOI: 10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x.
- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., Grasso, M. 2017. Twenty Years of Ecosystem Services: How Far Have We Come and How Far Do We Still Need to Go? In *Ecosystem Services* 2017, 28, 1–16. DOI: 10.1016/j.ecoser.2017.09.008.
- Černecký, J., Gajdoš, P., Ďuricová, V., Špulerová, J., Černecká, E., Švajda, J., Andráš, P., Ulrych, L., Rybanič, R., Považan, R. 2020. *The value of ecosystems and their services in Slovakia*. Banská Bystrica: ŠOP SR, Slovakia, 2020; pp. 166, ISBN 978-80-8184-078-4. (In Slovak)
- European Environment Agency (EU body or agency). 2022. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report. Available online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/794dcba3-e922-11e6-ad7c-01aa75ed71a1/language-en> (accessed 20 Sept 2022).
- Frélichová, J., Vačkář, D., Pártl, A., Loučková, B., Harmáčková, Z.V., Lorencová, E. 2014. Integrated Assessment of Ecosystem Services in the Czech Republic. In *Ecosystem Services* 2014, 8, 110-117; DOI: 10.1016/j.ecoser.2014.03.001.
- Liu, S., Costanza, R., Troy, A., D'Aagostino, J.D., Mates, W. 2010. Valuing New Jersey's ecosystem services and natural capital: a spatially explicit benefit transfer approach. In *Environmental Management* 45:1271–1285. DOI: 10.1007/s00267-010-9483-5.
- Maes, J. *et al.* 2015. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Ec – JRC, ISBN 978-92-79-46206-1.
- MEA. 2005. Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet*, Summary for Decision Makers, The Millennium Ecosystem Assessment Series, Island Press: Washington DC, USA, 2005, Volume 5.
- Makovníková, J., Kološta, S., Flaška, F., Pálka, B., Širáň, M. 2022. *Potenciál ekosystémových služieb prírodného kapitálu ako nástroja hodnotenia sociálno-ekonomického potenciálu územia*. Banská Bystrica, NPPC-VÚPOP, Ekonomická fakulta UMB, 131 s., ISBN 978-80-8163-042-2.
- Mederly, P., Černecký, J. *et al.* 2019. *Katalóg ekosystémových služieb Slovenska*. Banská Bystrica: ŠOP SR, UKF v Nitre, ÚKE SAV.
- 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.-G., Schneiders, A., Schubert, H., Schumacher, J., Tappeiner, U., Wangai, P., Windhorst, W., Zeleny, J. 2020. Assessing Ecosystem Service Potentials to Evaluate

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

- Terrestrial, Coastal and Marine Ecosystem Types in Northern Germany – an Expert-Based Matrix Approach. In *Ecological Indicators* 2020, 112, 106116. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106116.
- Nedkov, S., Zhiyanski, M., Borisova, B., Bratanova-Doncheva, S. 2018. Mapping and Assessment of Ecosystem Condition and Ecosystem Services across Different Scales and Domains in Europe. In *One Ecosystem* 2018, 3. DOI: 10.3897/oneeco.3.e29288.
- Škodová, M., Sabo, P., Švajda, J., Vološčuk, I. 2016. Ecosystem Services in the National Park Malá Fatra. In *Geografické informácie* 2016, 20 (2), 311–325. DOI:10.17846/GI.2016.20.2.311-325. (In Slovak).
- Vihervaara, P., Kumpula, T., Tanskanen, A., Burkhard, B. 2009. Ecosystem Services—a Tool for Sustainable Management of Human–Environment Systems. Case Study Finnish Forest Lapland. In *Ecological Complexity* 2010, 7 (3), 410–420. DOI: 10.1016/j.ecocom.2009.12.002.
- Wilson, M., Hoehn, J.P. 2006. Valuing Environmental Goods and Services Using Benefit Transfer: The State-of-the Art and Science. In *Ecological Economics*, 60, 335–342. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.08.015.

## Vplyv procesov vodnej erózie na kvantitatívne zmeny pôdných vlastností na eróznom transekte pri obci Smolinské (okr. Senica)

Water Erosion Processes Influence on Quantitative Changes of Soil Properties on the Erosion Transect near the Vilage of Smolinské (Senica County)

**Ján STYK, Boris PÁLKA**

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy – Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, Slovensko

### **Abstract**

A long-term alibi attitude towards solving the problems of erosion in an erosion-sensitive country often leads to irreversible negative changes in the basic soil parameters affecting the productive capacity of the soil. The protection of agricultural soil from the negative impact of water erosion processes is currently not given enough attention because implementation of effective anti-erosion measures increases the financial costs of the land user. Avoiding solving the problem of the impact of water erosion on the soil may result in a significant reduction in the productive capacity of the soil in the erosive parts of the slopes in the next future. We can demonstrate on this contribution the long-term impact of water erosion processes on the spatial variability and temporal dynamics of quantitative changes in important crop-producing soil parameters, especially the contents of accessible phosphorus and humus using the example of erosion transect near the village of Smolinské (Senica district). Phosphorus and humus are relatively firmly fixed on the fine colloidal part of the soil mass, and during its translocation due to water erosion, their displacement and subsequent accumulation also occur. Decreasing in their contents in the eroded parts of the slopes and, on the contrary, an increasing (even in greater depths of the soil profile) in the accumulation parts and slope depressions are the results of these processes. Spatial variability of soil pH values changed only slightly within the erosion transect. The genesis of these soils took place on a carbonate substrate (loess clay) and from this point of view the pH values are mostly in the range of neutral soils. Neutral subsoil layer reaches the surface when the surface humus layer of the soil profile is lost.

**Keywords:** influence of water erosion processes on soil, quantitative changes of soil parameters, agricultural soil protection,

### **Úvod**

Dlhodobý alibistický postoj k riešeniu problematiky erózie v erózne senzitivnej krajine často vedie až k nevratným negatívnym zmenám základných pôdných parametrov ovplyvňujúcich produkčnú schopnosť pôdy. Vplyvom neuváženej činnosti (často až nečinnosti) človeka v poľnohospodárskej krajine a meniacich sa klimatických podmienok dochádza k významnej akcelerácii erózne-akumulačných procesov. Táto skutočnosť vedie k znižovaniu produkčnej schopnosti pôdy (pokles úrodnosti), ale v konečnom dôsledku môže byť hlavnou príčinou znižovania celkového potenciálu využiteľnosti územia a zhoršovania kvality života v ňom (zanášanie vodných zdrojov splaveninami, kontaminácia pôdy, eutrofizácia atď.) (Styk, Pálka 2022).

Poľnohospodárska produkcia je súčasnej dobe významne ovplyvnená ekonomickými podmienkami trhu s cieľom dosahovania najvyšších hektárových výnosov pri minimalizácii prevádzkových nákladov (dosiahnutie čo najvyššieho benefitu z hektára plochy poľnohospodárskej pôdy). Ochrane poľnohospodárskej pôdy pred jej degradáciou procesmi vodnej erózie sa nevenuje dostatočná pozornosť nakoľko realizácia účinných protieróznych opatrení a postupov zvyšuje finančné zaťaženie užívateľa pôdy.



Užívateľ poľnohospodárskej pôdy je povinný (v zmysle platnej legislatívy - Zákon 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy) zabrániť, alebo minimalizovať degradačný vplyv erózie na pôdu využívaním účinných protieróznych opatrení a postupov. Snahou každého kto obhospodaruje poľnohospodársku pôdu musí byť zabránenie jej degradácii eróziou, udržať prípadne zlepšiť jej existujúcu úrodnosť a zamedziť transportu a následnej akumulácii erodovaného pôdneho materiálu do vodných zdrojov. Straty pôdnej hmoty procesmi vodnej erózie nesmú prekročiť limity, ktoré sú uvedené vo vyhláske MPRV SR č. 59/2013 Z.z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláska MP SR č. 508/2004 Z.z., ktorou sa vykonáva § 27 zákona č. 220/2004 Z.z. v znení neskorších predpisov (Tab. 1).

**Tabuľka 1.** Limitné hodnoty odnosu pôdy pri vodnej erózii

Hĺbka pôdy	Strata pôdy (t.ha <sup>-1</sup> rok <sup>-1</sup> )
Plytké pôdy (0,3 m)	5
Stredne hlboké pôdy (0,3-0,6 m)	10
Hlboké pôdy (0,6-0,9 m)	15
Veľmi hlboké pôdy (nad 0,9 m)	20

V zhode s cieľmi riešenia úlohy sme sa zamerali na sledovanie vplyvu eróznno-akumulačných procesov vodnej erózie na kvantitatívne zmeny vybraných pôdnych parametrov v čase (časová dynamika) a priestore (priestorová variabilita) v konkrétnych pôdno-klimatických a geomorfologických podmienkach záujmového územia. Využívali sme nasledovné prístupy:

- modelovanie intenzity vplyvu vodnej erózie (potenciálna, aktuálna erózia) na poľnohospodárske pôdy záujmových lokalít využitím empirického modelu univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE);
- stanovenie intenzity recentnej vodnej erózie na erózných transektoch na základe vyhodnotenia profilovej distribúcie rádioaktívneho izotopu cézia (<sup>137</sup>Cs) v pôde;
- sledovanie a vyhodnocovanie vplyvu vodnej erózie na kvantitatívne zmeny vybraných pôdnych parametrov (humus, pH/KCl, zrnitostné zloženie, fyzikálne vlastnosti, prístupný fosfor a draslík) na dvoch erózných transektoch v priestore (priestorová variabilita) a v čase (časová dynamika počas odberového cyklu).

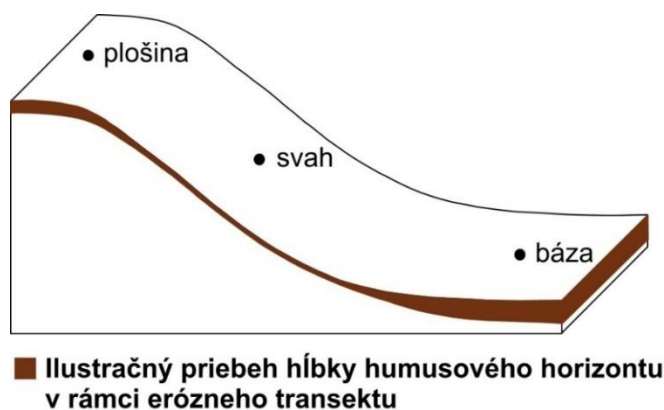
### **Materiál a metodika práce**

Na záujmovej lokalite pri obci Smolinské (okres Senica) dlhodobo sledujeme (štvrtý cyklus sledovania) vplyv eróznno-akumulačných procesov vodnej erózie na kvantitatívne zmeny pôdnych parametrov. Eróznny transekt pri Smolinskom je súčasťou siete 20-tich erózných transektov, na ktorých dlhodobo prebieha monitoring vplyvu vodnej erózie na zmeny pôdnych vlastností. Na lokalite sme odoberali pôdne vzorky z troch pôdnych profilov lokalizovaných v rámci eróznej katény (erózneho transektu) po spádnici svahu v referenčnej (plošina), eróznej (svah) a akumuláčnej (báza) časti (Obr. 1).

Preferované hĺbky odberov pôdnych vzoriek boli 0-10, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 cm. Po spracovaní a homogenizácii vzoriek pôdy sa fyzikálne (objemová hmotnosť, pórovitosť, KN, MKK, RVK), agrochemické (obsah humusu – metóda mokrý spôsob Ľurin, modifikácia Nikitin, prístupného fosforu – metóda Égner, prístupného draslíka – metóda Schachtschabel, pH v 0,2 M KCl) a zrnitostné (FAO) analýzy uskutočnili v laboratóriách NPPC-VÚPOP v Bratislave (Kolektív autorov 2011).

Intenzitu recentnej erózie (obdobie od začiatku intenzifikácie poľnohospodárskej výroby až po súčasnosť) sme na záujmových lokalitách stanovovali na základe vyhodnotenia aktivity (profilovej distribúcie) rádioaktívneho izotopu cézia (<sup>137</sup>Cs) v jednotlivých častiach transektu.

**Obr. 1** Rozmiestnenie pedologických sond v rámci erózneho transektu



Metóda využíva skutočnosť, že rádionuklid cézia sa v pôde prirodzených koncentráciách nenachádza. Do pôdy sa dostáva ako výsledok termonukleárnych pokusov a havárií jadrových elektrární (napr. v roku 1986 v Černobyle). Izotop cézia má schopnosť pevne sa viazať na povrchy častíc jemného podielu pôdnej hmoty. Pri uvoľnení, transporte a následnej akumulácii pôdnych častíc dochádza aj k transportu a akumulovaniu cézia. Podrobnejšie sa touto metódou zaoberali vo svojich prácach Linkeš, Lehotský, Stankoviansky (1992), Slávik *et al.* (2000), Fulajtár, Janský (2001), Styk (2007), Walling, *et al.* (1993). Pôdne vzorky na prítomnosť rádioaktívneho izotopu cézia ( $^{137}\text{Cs}$ ) sa odoberali systémom jedna vzorka z ornice (hĺbka 0 – 10 cm) a zvyšné vzorky z podornice postupne po 5 cm až do hĺbky 60 cm. Stanovenie izotopu cézia v pôdnych vzorkách polovodičovým gamaspektrometrickým systémom zo vzoriek pôdy sa uskutočnilo v laboratóriách Výskumného ústavu jadrových elektrární v Trnave.

Priemerná ročná strata pôdnej hmoty z hektára plochy (t/ha/rok) v rámci konkrétneho sledovaného transektu bola vyčíslená na základe použitia empirického modelu univerzálnej rovnice straty pôdy USLE (Wischmeier, Smith 1978). Je to vhodný nástroj pre numerické a plošné vyjadrenie potenciálneho a aktuálneho ohrozenia pôdy vodnou eróziou.

#### **A = R.K.L.S.C.P (t/ha/rok)**

**A** – priemerná ročná strata pôdy v tonách z hektára

**R** – erózna účinnosť dažďa (erozivita dažďa)

**K** – erodovateľnosť pôdy (erodibilita pôdy)

**L** – vplyv dĺžky svahu

**S** – vplyv svahovitosti

**C** – vplyv rastlinného pokryvu

**P** – spôsob obhospodarovania

#### **Výsledky a diskusia**

Záujmová lokalita sa nachádza v Chvojnickej pahorkatine pri obci Smolinské (okr. Senica). Proluviálno-eolická nížinná pahorkatina je charakteristická mierne zvlneným reliéfom. Nachádzajú sa tu predovšetkým viate piesky a sprašové sedimenty na ktorých vznikali väčšinou stredne ťažké pôdy hnedozemného, černozeemného alebo regozemného typu. V roku 2022 sa na celej sledovanej lokalite pestovala kapusta repková pravá (Obr. 2). Na eróznom transekte sa nachádza orná pôda a je charakteristická pôdnym typom hnedozem kultizemná, ktorej genéza bola na sprašových hlinách (Societas pedologica slovacica 2014). Hodnota priemerného ročného úhrnu zrážok je v tejto lokalite 550 mm (Faško & Šťastný 2002).

Transekt je dlhý 197 metrov a jeho svahovitosť sa pohybuje v rozmedzí od 8 do 12°. Mocnosť orbou premiešaného ornicevého humusového horizontu v rámci eróznej katény je variabilná (referenčný profil – Akp: 0,25 m, erózný profil – Akp: 0,25 m, akumulčný profil – Akp: 0,30 m; Ao: 0,40 m).

**Obr. 2** Erózný transekt pri obci Smolinské (autor: J. Styk and B. Pálka)



Využitím univerzálnej rovnice straty pôdnej hmoty USLE (Wischmeier, Smith 1978) sme vypočítali potenciálnu a aktuálnu stratu pôdy z plochy jedného hektára za obdobie jedného roka.

**Potenciálna strata pôdy:**

$$R - 47,00 \quad K - 0,22 \quad L - 2,98 \quad S - 2,89$$
$$A_p = R \cdot K \cdot L \cdot S = \mathbf{89,05 \text{ t/ha/rok}}$$

**Aktuálna strata pôdy (kapusta repková pravá):**

$$R - 47,00 \quad K - 0,22 \quad L - 2,98 \quad S - 2,89 \quad C - 0,22 \quad P - 1$$
$$A_a = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C = \mathbf{19,59 \text{ t/ha/rok}}$$

Hodnota potenciálnej straty pôdnej hmoty významne prekračuje limit (15 t/ha/rok pre hlboké pôdy), ktorý bol v roku 2013 upravený vyhláškou MPRV SR č. 59/2013 Z.z. a zaraďuje túto pôdu do kategórie erodovanosti – extrémna. Pri zohľadnení aktuálneho pôdneho pokryvu, ktorým bola v roku 2022 kapusta repková pravá (repka olejka), dochádza k poklesu hodnoty aktuálnej erózie na 19,59 t/ha/rok, čo je v porovnaní s potenciálnou eróziou nižšia hodnota, stále však relatívne dosť vysoká.

Aktivita rádioaktívneho izotopu cézia v pôdnom profile akumulčnej časti eróznej katény bola zaznamenaná do hĺbky 0,50 m. V referenčnej a eróznej časti transektu sú jeho koncentrácie v podornici na hranici merateľnosti. Je to klasická schéma priestorovej distribúcie izotopu cézia na pôdach ovplyvnených vodnou eróziou (uvoľnenie pôdnych častíc v eróznej časti

svahu a ich následná akumulácia v báze transektu).

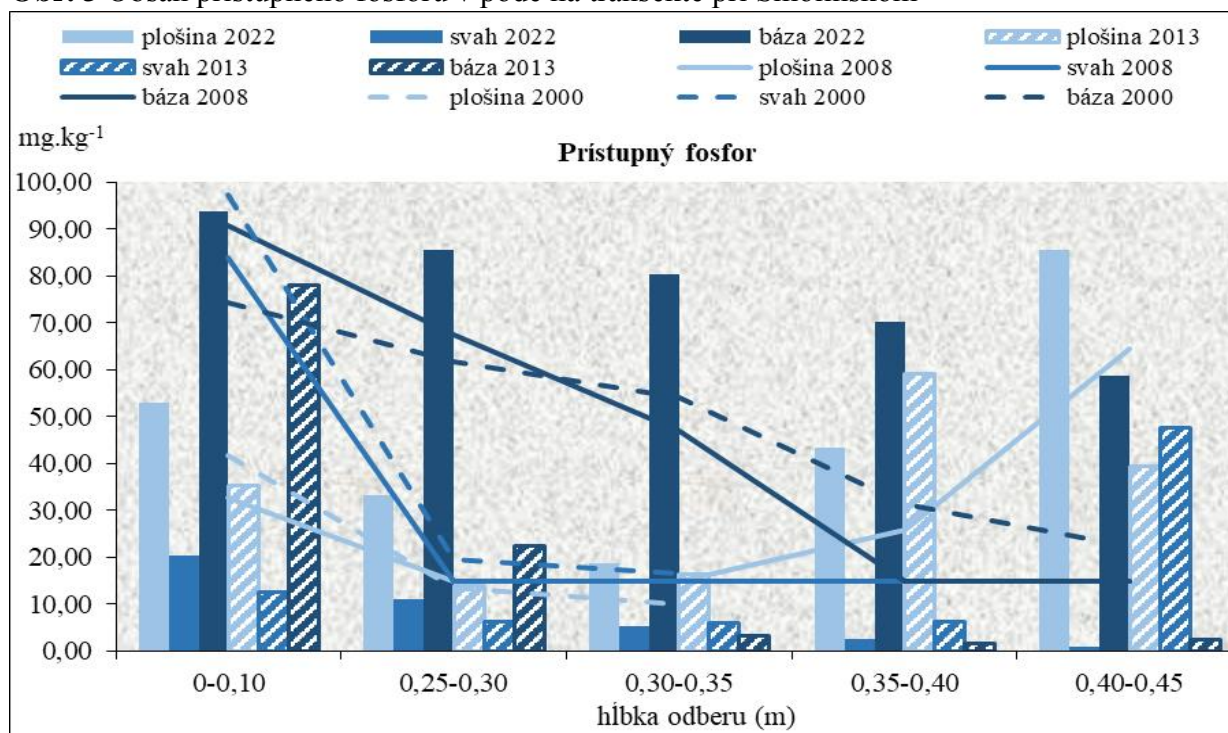
**Tabuľka 2.** Namerané koncentrácie  $^{137}\text{Cs}$  v pôdnych profiloch transektu pri Smolinskom

Transekt Smolinské	$^{137}\text{Cs}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )						
	0-10 m	0,30-0,35 m	0,35-0,40 m	0,40-0,45 m	0,45-0,50 m	0,50-0,55 m	0,55-0,60 m
Plošina	4,80	0,86	0,53	-	-	-	-
Svah	7,30	7,50	0,58	-	-	-	-
Báza	7,08	7,00	3,70	2,67	5,11	-	-

Recentná erózia predstavuje dlhodobý ročný priemer za veľmi dlhé sledované obdobie v konkrétnych podmienkach lokality. Za obdobie od roku 1963 kedy bol zaznamenaný najväčší spád cézia (cca 59 rokov) bola pretransportovaná vrstva pôdy v hrúbke 150 mm. Priemerná ročná akumulácia pôdnej hmoty predstavuje výšku vrstvy 2,54 mm. Pri zohľadnení aktuálnej objemovej hmotnosti ornice v báze svahu ( $1,31 \text{ g.cm}^{-3}$ ) to predstavuje priemernú ročnú akumuláciu pôdy 33,27 t/ha (kategória vysokej erodovanosti). V jednotlivých rokoch pri výrazných erózných udalostiach mohla byť vrstva pretransportovanej pôdy oveľa väčšia ako priemer alebo naopak v suchých rokoch vôbec nemuselo dochádzať k odnosu pôdnej hmoty.

Výrazná priestorová variabilita fosforu je spôsobená jeho schopnosťou pomerne pevne sa viazať na povrchy koloidného podielu pôdnej hmoty. Pri translokácii pôdnej hmoty v smere pôsobenia vodnej erózie sa premiestňuje spolu s ňou aj fosfor. Táto schéma platí aj v tomto prípade, kedy najvyššie obsahy prístupného fosforu boli namerané v akumuláčnej časti záujmového územia (Obr. 3, Tab. 3), kde dochádza k akumulácii eróziou pretransportovanej pôdnej hmoty z orníčného horizontu eróznej časti monitorovaného územia.

**Obr. 3** Obsah prístupného fosforu v pôde na transekte pri Smolinskom



**Tabuľka 3.** Percentuálne vyjadrenia úbytku alebo nárastu obsahov prístupného fosforu na svahu a v akumuláčnej časti svahu v porovnaní s referenčným profilom na plošine (štvrtý cyklus monitoringu erózie)

Hĺbka odberu	0 – 0,10 m	0,25 – 0,30 m	0,30 – 0,35 m	0,35 – 0,40 m	0,40 – 0,45 m
<b>Smolinské</b>	<b>% obsahu prístupného fosforu</b>				
Plošina	100	100	100	100	100
Svah	38,30	32,93	28,09	5,90	1,17
Báza	176,79	258,31	427,13	161,98	68,62

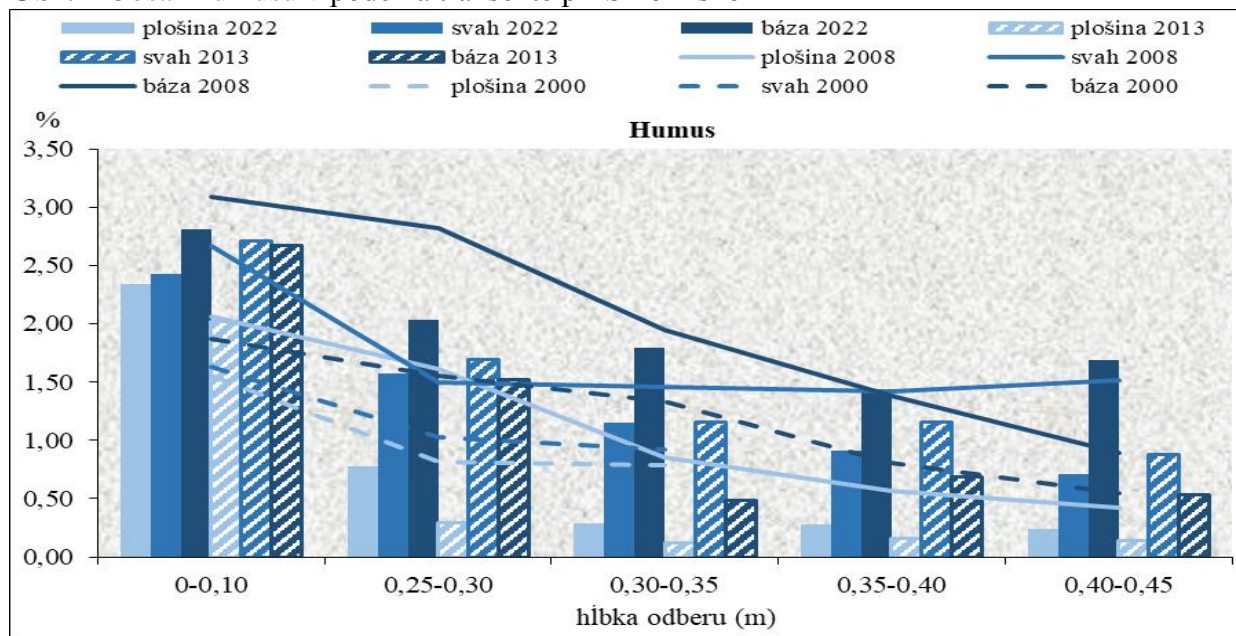
Čo sa týka časovej dynamiky zmien, tak na záujmovej lokalite je vplyvom procesov vodnej erózie za obdobie 2000 – 2022 pozorovaný trend znižovania obsahu tohto makroprvku v pôde eróznej časti svahu a naopak zvyšovanie jeho obsahu v akumuláčnej časti transektu (Tab. 4)

**Tabuľka 4.** Časová dynamika zmien prístupného fosforu (percentuálne vyjadrenia úbytku resp. nárastu obsahov prístupného fosforu v rámci prvého a štvrtého cyklu monitoringu erózie)

Transekt Smolinské	Hĺbka odberu (m)	Obsah prístupného fosforu / mg.kg <sup>-1</sup>	
		Prvý cyklus	Štvrtý cyklus (%)
Plošina	0-0,10	41,75	53,00 (126,95)
	0,40-0,45	-	85,40
Svah	0-0,10	97,35	20,30 (20,85)
	0,40-0,45	-	1,00
Báza	0-0,10	74,25	93,70 (126,20)
	0,40-0,45	22,25	58,60 (263,27)

Aj humus vytvára pomerne pevné väzby na povrchy jemného podielu pôdy. Vplyvom erózo-akumulačných procesov vodnej erózie dochádza spolu s pôdnou hmotou aj k premiestňovaniu humusu. Priestorová variabilita obsahov humusu v rámci jednotlivých častí erózneho transektu je podobná ako v prípade prístupného fosforu. Výrazne vyššie obsahy humusu s pribúdajúcou hĺbkou pôdneho profilu sme zaznamenali v akumuláčnej časti záujmoveho územia (Obr. 4, Tab. 5).

**Obr. 4** Obsah humusu v pôde na transekte pri Smolinskom



Nesprávne zvolená agrotechnika (orba po spádnici svahu) umocňuje negatívny vplyv orbovej erózie na pôdu. Vplyvom orbového telesa v smere orby po spádnici svahu dochádza aj k premiestňovaniu pôdnych častíc spolu s humusom nižších častí transektu. Nižšie hodnoty obsahov humusu namerané v referenčnej časti záujmového územia v porovnaní s eróznou a akumuláčnou časťou (priestorová distribúcia) dokumentujú prítomnosť orbovej erózie v referenčnej časti transektu (Tab. 5).

**Tabuľka 5.** Percentuálne vyjadrenia úbytku alebo nárastu obsahov humusu na svahu a v akumuláčnej časti svahu v porovnaní s referenčným profilom na plošine (štvrtý cyklus monitoringu erózie)

Hĺbka odberu	0 – 0,10 m	0,25 – 0,30 m	0,30 – 0,35 m	0,35 – 0,40 m	0,40 – 0,45 m
<b>Smolinské</b>	<b>% obsahu prístupného humusu</b>				
Plošina	100	100	100	100	100
Svah	103,68	202,22	394,12	331,25	292,86
Báza	119,85	262,22	611,76	518,75	700,00

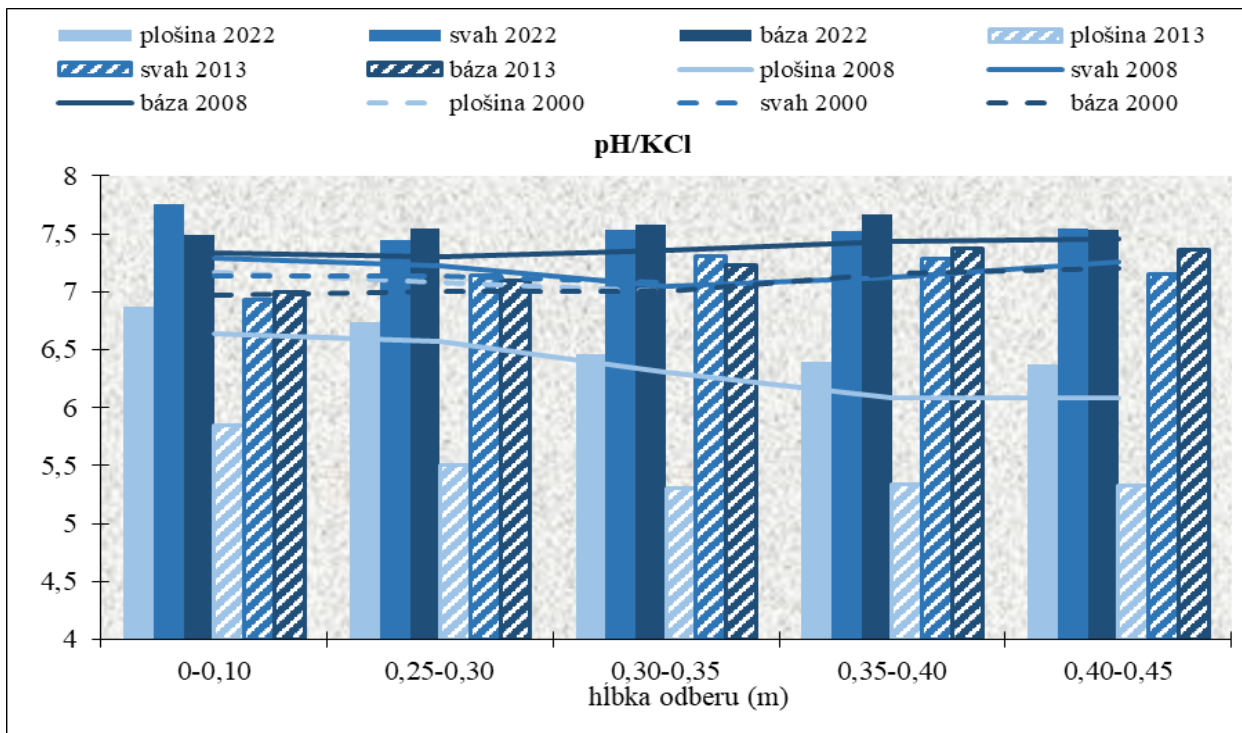
Časová dynamika zmien sa v prípade humusu prejavila jeho nárastom v roku 2022 v porovnaní s rokom 2000 vo všetkých častiach erózneho transektu (Tab. 6). Je to spôsobené buď používaním organických hnojív, alebo zaorávaním pozberových zvyškov do pôdy v minulosti.

**Tabuľka 6.** Časová dynamika zmien humusu (percentuálne vyjadrenia úbytku resp. nárastu obsahov humusu v rámci prvého a štvrtého cyklu monitoringu erózie)

Transekt Smolinské	Hĺbka odberu (m)	Obsah prístupného humusu / mg.kg <sup>-1</sup>	
		Prvý cyklus	Štvrtý cyklus (%)
Plošina	0-0,10	1,55	2,34 (151,23)
	0,40-0,45	-	0,24
Svah	0-0,10	1,63	2,43 (149,13)
	0,40-0,45	-	0,71
Báza	0-0,10	1,87	2,81 (150,27)
	0,40-0,45	0,55	1,69 (307,19)

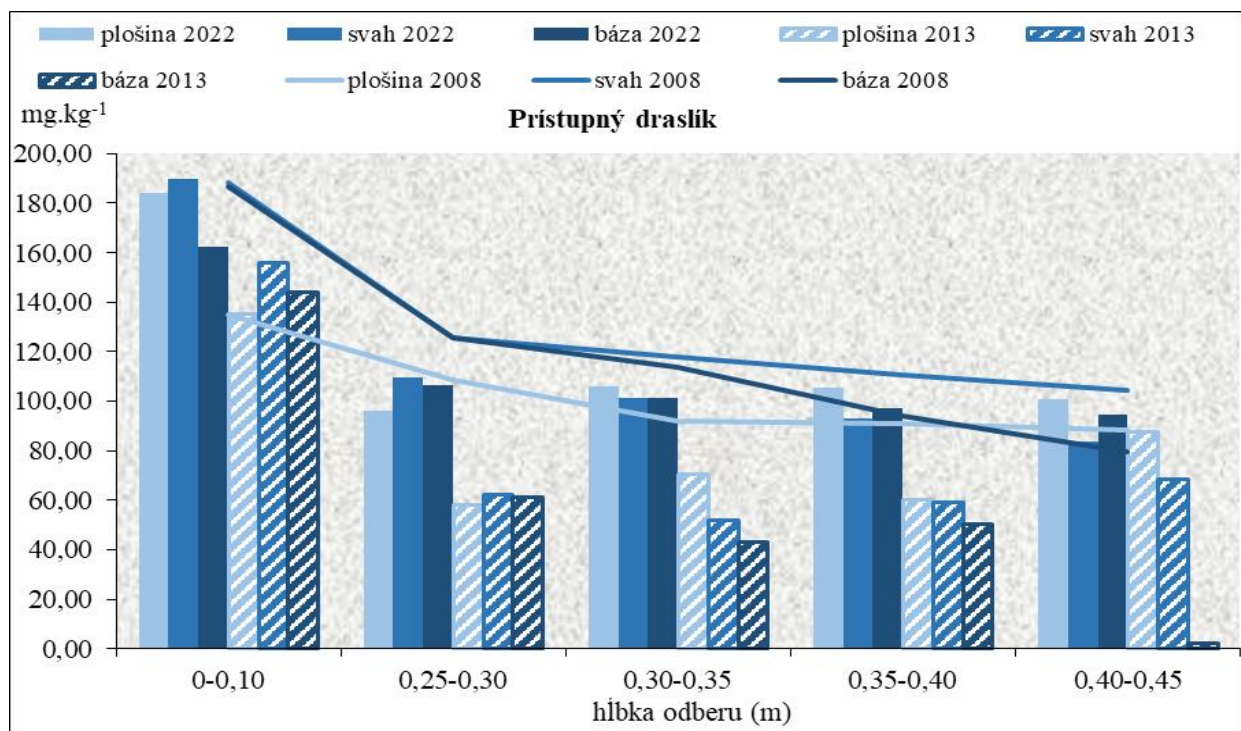
Hodnota pH pôdy sa v rámci záujmovej lokality mení len nevýrazne. Hodnoty pôdnej reakcie sa väčšinou pohybujú v rozsahu neutrálnej pôdy nakoľko jej genéza prebehla na karbonátovom substráte, ktorým sú sprašové hliny (Obr. 5). Časová dynamika zmien pôdnej reakcie na tejto lokalite nebola významná. Vplyv vodnej erózie na zmeny pôdnej reakcie sme na transekte nezaznamenali.

**Obr. 5** pH pôdy na transekte pri Smolinskom



Profilová distribúcia prístupného draslíka na eróznom transekte pri Smolinskom (podobne ako v prípade humusu) dokumentuje okrem prítomnosti vodnej erózie aj relatívne intenzívny vplyv orbovej erózie, ktorou je ovplyvnená už aj vrcholová časť transektu (Obr. 6).

**Obr. 6** Obsah prístupného draslíka v pôde na transekte pri Smolinskom



V porovnaní s rokom 2013 došlo k miernemu zvýšeniu zásob prístupného draslíka vo všetkých častiach sledovaného územia, čo môže byť výsledok nerovnovážnej bilancie medzi prísunom tohto makroprvku do pôdy a jeho spotrebou rastlinami.

Na transekte sa nachádza stredne ťažká hlinitá, prachovito-hlinitá pôda (Tab. 7). Vplyv erózie na zastúpenie jednotlivých pôdnych frakcií nie je výrazný a v rámci záujmového územia sa významne nemenia ich obsahy (Tab.7).

**Tabuľka 7.** Zrnitostné frakcie pôdy transektu pri Smolinskom

Transekt Smolinské	Hĺbka Odberu (m)	Obsah jednotlivých zrnitostných frakcií (%)			
		< 0,002 mm Íl	0,002-0,05 mm Prach	0,05-2,0 mm Jemný piesok	Pôdny druh
Plošina	0-0,10	17,78	38,71	43,51	Hlinitá
	0,25-0,30	22,91	35,59	41,50	Hlinitá
	0,30-0,35	22,06	40,91	37,03	Hlinitá
	0,35-0,40	21,98	38,52	39,51	Hlinitá
	0,40-0,45	19,92	32,15	47,93	Hlinitá
Svah	0-0,10	19,19	54,96	25,86	Prachovito-hlinitá
	0,25-0,30	19,85	41,07	39,08	Hlinitá
	0,30-0,35	21,72	42,01	36,27	Hlinitá
	0,35-0,40	19,69	53,58	26,74	Prachovito-hlinitá
	0,40-0,45	18,52	47,23	34,25	Hlinitá
Báza	0-0,10	17,33	42,95	39,73	Hlinitá
	0,25-0,30	18,47	39,40	42,13	Hlinitá
	0,30-0,35	17,59	38,86	43,55	Hlinitá
	0,35-0,40	18,75	40,05	41,20	Hlinitá
	0,40-0,45	17,19	31,75	51,06	Hlinitá

V ornici nie sú prekročené limity zhutnenia pôdy (Tab. 8) a vytvára svojimi základnými fyzikálnymi vlastnosťami (objemová hmotnosť, pórovitosť) pre väčšinu poľnohospodárskych plodín optimálne podmienky vodného, vzdušného a teplotného režimu (Hanes *et al.* 1996). V podornici všetkých častí záujmového územia sú limity pre zhutnenie pôdy v prípade objemovej hmotnosti a pórovitosti prekročené (Zákon 220/2004 Z.z.). Je to výsledok nepreorávania tejto časti pôdneho profilu.

**Tabuľka 8.** Základné fyzikálne vlastnosti pôdy transektu pri Smolinskom

Transekt Smolinské	Hĺbka (m)	Objemová hmotnosť (g.cm <sup>-3</sup> )				Celková pórovitosť (PO) (obj. %)			
		2000	2008	2013	2022	2000	2008	2013	2022
Plošina	0-0,10	1,27	1,30	1,41	1,61	52,72	50,84	46,23	38,86
	0,30-0,35	1,48	1,58	1,67	1,60	45,13	40,43	37,89	41,14
Svah	0-0,10	1,26	1,26	1,34	1,36	53,83	53,02	49,40	49,41
	0,30-0,35	1,55	1,63	1,49	1,60	42,93	39,93	44,55	41,32
Báza	0-0,10	1,30	1,36	1,35	1,31	51,55	49,35	49,00	50,91
	0,30-0,35	1,61	1,56	1,48	1,59	40,30	42,21	42,13	41,20

## Záver

Na záujmovej lokalite sa dlhodobo prejavuje negatívny vplyv eróznno-akumulačných procesov



na priestorovú variabilitu a časovú dynamiku zmien sledovaných pôdnych parametrov predovšetkým obsahov prístupného fosforu a humusu. Nakoľko pri obidvoch parametroch platí, že sa pomerne pevne fixujú na jemný koloidný podiel pôdnej hmoty a pri jej translokácii vplyvom vodnej erózie dochádza aj k ich premiestňovaniu a následnému akumulovaniu. Výsledkom je znižovanie ich obsahov v erózných častiach svahov a naopak ich zvyšovanie v akumulačných častiach a svahových depresiách.

Prítomnosť erózo-akumulačných procesov vodnej erózie na transekte pri Smolinskom (okr. Senica) potvrdzujú aj výsledky profilovej distribúcie rádioaktívneho izotopu cézia (recentná erózia), ako aj numerická kalkulácia straty pôdnej hmoty podľa vzorca Univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE).

V prípade pôdnej reakcie sme zistili, že sa jej hodnoty väčšinou pohybujú v rozsahu neutrálnej pôdy nakoľko jej genéza sa tvorila na karbonátovom substráte, ktorým sú sprašové hliny. Pri strate povrchovej humusovej vrstvy pôdneho profilu sa na povrch dostáva pH neutrálne podložie.

Na záver môžeme konštatovať, že vyhýbanie sa riešeniu problematiky vplyvu vodnej erózie na pôdu v erózne senzitivnej krajine môže mať v blízkej budúcnosti za následok výrazné zníženie produkčnej schopnosti pôdy. Nestačí len využívať pôdoochraný účinok rastlín, ale je dôležité pristúpiť aj k realizácii správneho manažmentu obhospodarovania pôdy kombináciou vhodných protieróznych opatrení a postupov v zhode s platnou legislatívnou normou (zákon 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy).

**Kontaktná adresa:** Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy – Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, Slovensko, e-mail: jan.styk@nppc.sk; boris.palka@nppc.sk

## Literatúra

- Faško, P., Šťastný, P. 2002. Priemerné ročné úhrny zrážok. In: Kolektív autorov: *Atlas krajiny SR*, Ministerstvo životného prostredia SR Bratislava, Slovenská agentúra životného prostredia SR Banská Bystrica, s. 95, ISBN 80-88833-27-2.
- Fulajtár, E., Janský, L. 2001. *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*. VÚPOP Bratislava, 2001, 310 s.
- Hanes, J., Zaujec, A., Sisák, P., Linkeš, V., Mucha, V., Čurlík, J. 1996. *Pedológia*. SPU Nitra, 1996, 119 s.
- Kolektív autorov 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. VÚPOP Bratislava, 2011, 136 s., ISBN 978-80-89128-89-1.
- Linkeš, V., Lehotský, M., Stankoviánsky, M. 1992. Príspevok k poznaniu vývoja vodnej erózie pôd na pahorkatinách Podunajskej nížiny s využitím <sup>137</sup>Cs. *Vedecké práce* č. 17. VÚPÚ Bratislava, 1992, s. 111-120.
- MPSR 2004. 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
- MPRV SR, 2013. Vyhláška MPRV SR č. 59/2013 Z.z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška MP SR č. 508/2004 Z.z., ktorou sa vykonáva § 27 zákona č. 220/2004 Z.z. v znení neskorších predpisov.
- Slávik, O., Den Bensten, J.W., Cebecauer, T., Fulajtár, E., Hofierka, J., Horňák, M., Lehotský, M., Van Der Perk, M., Šúry, M., Walling, D.E., Wielinga, A., Zhang, Y.S. 2000. Radio caesium redistribution in the Mochovce catchment, Slovakia. In: Perk M. *et al. Spatial redistribution of radionuclides within catchments: Development of GIS-based models for decision support systems*. Final Report. Spartacus, EC Contract No. IC15-CT98-0215 Utrecht Centre for Environmental and Landscape Dynamics (UCEL) Faculty of Geographical Sciences Utrecht University, 2000, 93-125.
- Societas pedologica slovacica 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska, Bazálna referenčná taxonómia*. Druhé upravené vydanie. Bratislava: NPPC – VÚPOP Bratislava, 2014, 96 p., ISBN: 978-80-8163-005-7.
- Styk, J., 2007. Indication of erosive-accumulative processes intensity at using <sup>137</sup>Cs profile distribution on selected soil transect. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, Journal for agricultural sciences, 53, 2007 (1), Istia Nitra, p. 23-30.
- Styk, J., Pálka, B. 2022. Modelovanie vodnej erózie na poľnohospodárskej pôde okresu Banská Bystrica. Water erosion modelling on agricultural soils in the Banska Bystrica district. *Geografická revue*. Vol. 18, no. 1, 2022, p. 64 – 78., ISSN 2585-8955 (print), ISSN 2585-8947 (online).

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

Walling, D.E., Quine, T.A., 1993. Use of caesium-137 as a tracer of erosion and sedimentation. Handbook for the application of the caesium-137 technique. UK Overseas Development Administration Research Scheme R4579, University of Exeter, 1993.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978: Predicting rainfall erosion losses – Guide to conservation planning, Agricultural Handbook 537, USDA, 1978.

## Aktuálny fyzikálny stav pôd SR podľa údajov monitoringu pôd

Current Physical State of Soils in Slovakia according to Soil Monitoring Data

**Miloš ŠIRÁŇ**

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 97404 Banská Bystrica, Slovensko

### Abstract

The physical condition of the monitored soils was influenced by soil texture. In the direction from sandy to clayey soils, soil bulk density values slightly decreased and risk of compaction (% of compacted sites within soil texture group) rises. The decrease in bulk density within the soil textures is less than required by the valid compaction limits, which are set to consider the requirements of agricultural crops. In relation of soil compaction and its limits, based on the bulk density averages, topsoil of all soil textures are below the limit, while subsoils are compacted in loamy (in 5 sample cycles) and clayey (in 6 sample cycles) soils. Overall, in the topsoil, a negative trend is recorded for sandy soils (up to the 4th cycle with a subsequent decrease), sandy-loam soils (from the 3rd to the 6th cycle) and loamy soils (from the 3rd to the 5th cycle, then a decrease) and a decrease in bulk density in the 6th cycle compared to the 5th, except for sandy-loam soils. In the subsoil, a negative development was recorded for sandy and loamy soils with a decrease in bulk density in the 6th cycle compared to the previous one, while for the other soils, an alternately fluctuating course with bulk density increase in the last cycle.

**Keywords:** soil monitoring, physical properties limit, bulk density, risk of soil compaction

### Úvod

Optimálny rast a vývoj rastlín je podmienený vhodnou fyzikálnou stavbou pôdy, ktorá im zabezpečuje priaznivý vodno-vzdušný, tepelný príp. živinový režim. Fyzikálna stavba pôdy je determinovaná zrnitosťou zložením pôdy a obsahom humusu, ale hlavne ich priestorovým usporiadaním vo forme agregátov ako aj stabilitou (vodoodolnosťou) tejto pôdnej štruktúry. Zhutňovaním pôdy 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). Zhoršenie pôdnej štruktúry a s ňou súvisiacich vlastností pôdy sa premietne nielen na zhoršení produkčných vlastností (zníženie výnosov plodín ako aj ich kvality), znížení rentabilnosti výroby (zvýšenie nákladov pri spracovaní pôdy, zníženie účinnosti hnojenia), ale aj na zhoršení ekologických funkcií pôdy, predovšetkým transportných a transformačných procesov. Fyzikálne vlastnosti pôdy okamžite reagujú na zmeny v spôsobe obrábania, tak v pozitívnom (zúrodňovanie), ako aj negatívnom smere (degradácia pôdy vplyvom nedodržiavania preventívnych pôdoochranných opatrení - veľký tlak na pôdu, vysoká vlhkosť pôdy v čase vstupu na pôdu, nevhodná agrotechnika, oševné postupy; Kobza *et al.* 2005), preto je dôležité ich monitorovanie. 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. Boli využité doterajšie poznatky v tejto oblasti výskumu (Lhotský 2000, Širáň 2004, 2005, Heuscher, Brandt, Jardine 2005, Eckelman *et al.* 2006, Širáň *et al.* 2016, Shiri *et al.* 2017) a bolo konfrontované s viacerými prácami (Zrubec 1998, Kobza *et al.* 2017a-b, 2019, Makovníková, Pálka, Širáň 2005, 2010, Makovníková *et al.* 2017).

## Materiál a metodika práce

Zdrojom údajov k vyhodnoteniu fyzikálneho stavu pôd je databáza monitoringu pôd SR, ktorý funguje nepretržite od roku 1993. 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, 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. Neporušené pôdne vzorky pre účely stanovenia fyzikálnych vlastností pôd boli v rámci 6. odberového cyklu (2018) odobraté na 295 lokalitách z ornice (10-20 cm) a podornice (30-40 cm) do oceľových Kopeckého valčekov o objeme 100 cm<sup>3</sup>, nakoľko to dovolili pôdne podmienky (hlĺbka pôdy, nástup pevnej horniny, obsah pôdneho skeletu). V nich 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.

**Tabuľka 1.** Limity zhutnenia pôdy pre jednotlivé pôdne druhy v zmysle vyhlášky 59/2013

Pôdna vlastnosť	Pôdny druh <sup>1</sup>					
	I	IV, IH	H	PH	HP	P
Objemová hmotnosť $p_a$ (g.cm <sup>-3</sup> )	>1,35	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70
Penetrometrický odpor (MPa)	2,8-3,2	3,2-3,7	3,7-4,2	4,5-5,0	5,5	6,0
pri vlhkosti (% hmotn.)	28-24	24-20	18-16	15-13	12	10
Pórovitosť $P_c$ (obj. %)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Minimálna vzdušná kapacita $VzK$ (obj. %)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Maximálna kapilárna kapacita $MKK$ (obj. %)	>35	>35	>35	-	-	-

<sup>1</sup> Pôdny druh: **I** – íl, **IV** – ílovitá, **IH** – ílovito-hlinitá, **H** – hlinitá, **PH** – piesčito-hlinitá, **HP** – hlinito-piesčitá, **P** – piesčitá

## Výsledky a diskusia

Základné delenie hodnotenia kompaktie pôd je rozdelené podľa pôdných druhov (Tab. 2 a Obr. 1), nakoľko zrnitosť pôdy výrazne vplýva na jej ostatné fyzikálne vlastnosti, vrátane hlavného indikátora kompaktie pôd objemovej hmotnosti pôdy. V Tab. 2 sú základné štatistiky objemovej hmotnosti v rámci jednotlivých pôdných druhov podľa údajov posledného odberového cyklu a porovnané podľa druhu využitia. Na Obr. 1 je zobrazený vývoj objemovej hmotnosti jednotlivých pôdných druhov počas monitorovacieho obdobia vo vzťahu k limitom zhutnenia. Veľkosť stĺpca zobrazuje priemernú hodnotu danej skupiny pôd a chybová úsečka variačné rozpätie (interval ohraničený minimálnou a maximálnou hodnotou).

### Zrnitosť ľahké pôdy

Celkovo ľahké pôdy (> 8% výmery poľnohospodárskej pôdy) patria k pôdam odolným voči zhutneniu (Tab. 2, Obr. 1). Dosahujú v priemere najvyššie hodnoty objemovej hmotnosti pôdy v porovnaní s ostatnými pôdnymi druhmi. Tieto hodnoty sa pohybujú v jednotlivých cykloch v rozpätí 1,40-1,51 g.cm<sup>-3</sup> v ornici a 1,51-1,60 g.cm<sup>-3</sup> v podornici (najnižšia hodnota v 6. odberovom cykle). Limity zhutnenia prekračujú len v ojedinelých prípadoch (8 % lokalít) tak v ornici ako aj v podornici. Vyznačujú sa dostatočnou celkovou a vyššou nekapilárnou pórovitosťou, prevzdušnosťou a nižšou maximálnou kapilárnou vodnou kapacitou. Je viditeľný ich nepatrný pozitívny trend vývoja v čase od 3. cyklu a v celom sledovanom profile pôdy.

*Zrnitostne stredne ťažké pôdy*

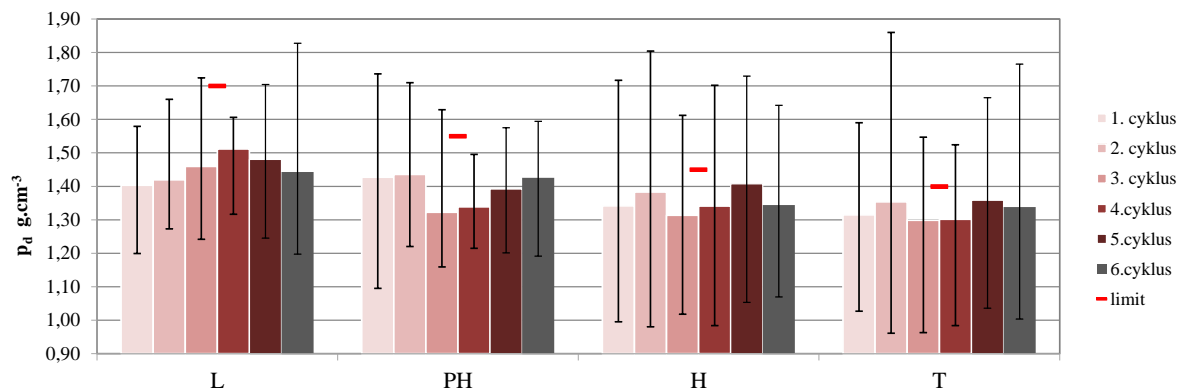
Na Slovensku je najviac rozšírený pôdny druh (> 70 % výmery poľnohospodárskej pôdy, z toho hlinité >53 %) s priaznivým pomerom frakcií ílu, prachu a piesku (s výnimkou pôd s vysokým obsahom prachu alebo piesku v pomere k ílu; Fulajtár 2006). Z hľadiska rozdielnych limitov

**Tabuľka 2.** Stav objemovej hmotnosti a rizika zhutnenia v rámci pôdnych druhov v 6. odberovom cykle (2018)

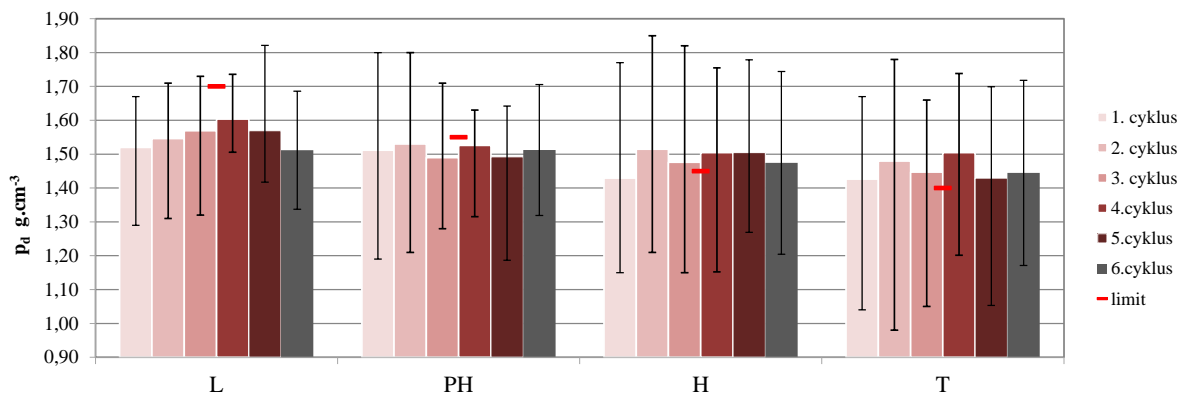
Pôdny druh	Hĺbka pôdy cm	$\phi$	min	max	v%	n	riziko zhutnenia %
Orná pôda							
Ľahké pôdy	10-20	1,443	1,197	1,827	10,9	12	8
	30-40	1,511	1,337	1,794	9,0	12	8
Stredne ťažké pôdy (spolu)	10-20	1,357	1,069	1,642	9,3	137	13
	30-40	1,480	1,205	1,695	7,7	129	43
PH	10-20	1,425	1,192	1,594	7,4	22	5
	30-40	1,512	1,319	1,665	5,8	20	19
H	10-20	1,344	1,069	1,642	9,4	115	15
	30-40	1,474	1,205	1,695	8,0	109	48
Ťažké pôdy	10-20	1,338	1,003	1,765	12,3	61	28
	30-40	1,445	1,171	1,660	8,3	58	58
Trvalé trávne porasty							
Stredne ťažké pôdy (spolu)	10-20	1,248	0,623	1,543	15,2	53	8
	30-40	1,376	0,814	1,676	12,8	49	35
PH	10-20	1,127	0,623	1,291	20,2	7	0
	30-40	1,287	0,814	1,593	19,8	7	14
H	10-20	1,267	0,880	1,543	14,1	46	9
	30-40	1,391	1,059	1,676	11,4	42	38
Ťažké pôdy	10-20	1,294	0,974	1,474	11,2	23	22
	30-40	1,365	0,995	1,586	11,1	22	41

zhutnenia v rámci stredne ťažkých pôd je účelné ich hodnotiť v dvoch kategóriách v zmysle Tab. 1. Rozpätia hodnôt objemovej hmotnosti piesočnato-hlinitých (ornica: 1,32-1,44; podornica 1,49-1,53 g.cm<sup>-3</sup>) a hlinitých pôd (ornica: 1,31-1,41; podornica: 1,43-1,51 g.cm<sup>-3</sup>), vyjadrujúce variabilitu priemerov objemovej hmotnosti v cykloch, potvrdzujú pokles objemovej hmotnosti oproti ľahkým pôdam (Obr. 1). Podľa priemerných hodnôt (Tab. 2) sú piesočnato-hlinité pôdy, využívané ako orné pôdy, nezhutnené v celom sledovanom profile pôdy, kým podornice hlinitých druhov sú nad limitom zhutnenia v piatich cykloch (od 2. cyklu). Riziko zhutnenia prevažujúcich hlinitých pôd vyjadrené %-podielom zhutnených lokalít je v porovnaní s ľahkými pôdami podstatne vyššie a dosahuje v ornici 15 %, v podornici 48 %. Piesočnato-hlinité pôdy sa od hlinitých líšia nepatrne vyššími priemermi objemovej hmotnosti, no v dôsledku odlišných limitov (Tab. 1) vykazujú výrazne nižšie riziko zhutnenia (ornica – 5 %, podornica – 19 %). Celkovo vývoj objemovej hmotnosti počas doby monitorovania je v podornici striedavo kolísavý s nepatrným zhoršením v poslednom cykle pri piesčito-hlinitých pôdach a s nepatrným zlepšením pri hlinitých (Obr. 1). V ornici bol pozorovaný mierne negatívny trend od tretieho cyklu pri oboch textúrach. Podstatne priaznivejší stav z pohľadu kompaktie zvlášť pri hlinitých pôdnych druhoch bol zistený v pôdach pod trvalými trávnyimi porastmi (Tab. 2) najmä v dôsledku vyššieho prekorenenia, obsahu humusu a stabilnejšej štruktúry pôdy.

**Obr. 1** Vývoj objemovej hmotnosti ornice a podornice jednotlivých pôdnych druhov  
ORNICA



PODORNICA



**Vysvetlivky:** L – ľahké pôdy, PH – stredne ťažké – piesočnato-hlinité, H – stredne ťažké – hlinité, T – ťažké pôdy

*Zrnitostne ťažké pôdy*

Tento pôdny druh zaberá viac ako 21 % výmery poľnohospodárskej pôdy. Sú to pôdy s vyšším obsahom ílovej frakcie, väčším podielom kapilárnych pórov schopné pútať väčšie množstvo vody na úkor vzduchu a vďaka tomu náchylné k intenzívnejšiemu prirodzenému ulíhaniu. V priemere dosahujú najnižšie hodnoty objemovej hmotnosti oproti ostatným pôdnym druhom s užším rozpätím hodnôt (ornica: 1,30-1,36; podornica: 1,43-1,50 g·cm<sup>-3</sup>; Obr. 2), no na druhej strane majú kvôli ich charakteristickým fyzikálnym vlastnostiam aj prísnejšie limity. To sa odzrkadľuje na vyšších hodnotách rizika kompaktie (% podiel zhutnených lokalít), ktoré v ornici dosahuje 28 % a v podornici 58 %. V prípade trvalých trávnych porastov (Tab. 2) boli namerané nižšie hodnoty objemovej hmotnosti v celom profile pôdy. K výraznému zníženiu rizika kompaktie tu dochádza hlavne v horných vrstvách pôdy ovplyvňovaných koreňmi rastlín (hĺbka 10-20 cm s rizikom 22%), no hlbšie časti pôdneho profilu si zachovávajú pomerne vysokú hodnotu (hĺbka 30-40 cm s rizikom 41%).

Ak zhrnieme predchádzajúce zhodnotenie, fyzikálny stav sledovaných pôd bol najviac ovplyvnený zrnitostným zložením pôdy (pôdnym druhom). Celkovo hodnoty objemovej hmotnosti (priemer za všetky cykly) mierne klesali v smere od zrnitostne ľahších ku ťažším pôdam. Tento kontext sa prejavoval aj v jednotlivých cykloch (s výnimkou ornice ľahkých pôd v prvých dvoch cykloch a hlinitých pôd v piatom cykle v oboch hĺbkach). Priemerné hodnoty objemovej hmotnosti v jednotlivých cykloch odberu sa pohybovali v ornici v rozpätí 1,30-1,51 g·cm<sup>-3</sup> a hodnota 1,40 g·cm<sup>-3</sup> bola prekročená v 9 prípadoch (z toho v ľahkých

pôdach v piatich cykloch, piesočnato-hlinitých v troch a hlinitých v jednom). V podornici bol zistený rozsah objemovej hmotnosti 1,43-1,60 g.cm<sup>-3</sup> s hodnotou 1,50 g.cm<sup>-3</sup> presiahnutou v 11 prípadoch (ľahké – 6, piesočnato-hlinité – 4, hlinité – 1). Pokles objemovej hmotnosti v rámci pôdných druhov je menší ako si vyžadujú platné limity zhutnenia, ktoré sú stanovené tak, aby zohľadňovali požiadavky poľnohospodárskych plodín. Z hľadiska zhutnenia a jeho limitov sú na základe priemerov objemovej hmotnosti ornice všetkých pôdných druhov pod limitom, maximami ich ľahké pôdy dosahujú (v 3 cykloch) a piesočnato-hlinité mierne (v piatich cykloch), príp. hlinité a ťažké významnejšie (vo všetkých šiestich cykloch) presahujú. Podornice sú podľa priemerov objemovej hmotnosti zhutnené v hlinitých (v 5 cykloch) a ťažkých (v 6 cykloch) pôdach a maximami aj v ľahkých (v 3 cykloch) a piesočnato-hlinitých pôdach (v 6 cykloch).

Celkovo v ornici je evidovaný výraznejší negatívny trend pri ľahkých pôdach (do 4. cyklu s následným poklesom), piesočnato-hlinitých (od 3. do 6. cyklu) a hlinitých (od 3. do 5. cyklu, potom pokles) a pokles objemovej hmotnosti v šiestom cykle oproti piatemu s výnimkou piesočnato-hlinitých pôd. V podornici bol zaznamenaný pri ľahkých a hlinitých druhoch negatívny vývoj s poklesom objemovej hmotnosti v 6. cykle oproti predchádzajúcemu, kým pri ostatných nevýrazný striedavo kolísavý priebeh s jej nárastom v poslednom cykle.

### Záver

Fyzikálny stav sledovaných pôd bol ovplyvnený zrnitostným zložením pôdy (pôdnym druhom). Celkovo v smere od zrnitostne ľahkých ku ťažkým pôdam hodnoty objemovej hmotnosti (priemer za všetky cykly) mierne klesali, kým riziko zhutnenia (% zhutnených lokalít v rámci pôdneho druhu) stúpalo. Pokles objemovej hmotnosti v rámci pôdných druhov je menší ako si vyžadujú platné limity zhutnenia, ktoré sú stanovené tak, aby zohľadňovali požiadavky poľnohospodárskych plodín. Z hľadiska zhutnenia a jeho limitov sú na základe priemerov objemovej hmotnosti ornice všetkých pôdných druhov pod limitom, kým podornice sú zhutnené v hlinitých (v 5 cykloch) a ťažkých (v 6 cykloch) pôdach.

Celkovo v ornici je evidovaný výraznejší negatívny trend pri ľahkých pôdach (do 4. cyklu s následným poklesom), piesočnato-hlinitých (od 3. do 6. cyklu) a hlinitých (od 3. do 5. cyklu, potom pokles) a pokles objemovej hmotnosti v šiestom cykle oproti piatemu s výnimkou piesočnato-hlinitých pôd. V podornici bol zaznamenaný pri ľahkých a hlinitých druhoch negatívny vývoj s poklesom objemovej hmotnosti v 6. cykle oproti predchádzajúcemu, kým pri ostatných nevýrazný striedavo kolísavý priebeh s jej nárastom v poslednom cykle. Dané výsledky potvrdzujú doterajšie poznatky v tejto oblasti výskumu a sú využívané pri ďalších hodnoteniach a mapovaní kompaktie pôd.

### 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

**Kontaktná adresa:** Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 97404 Banská Bystrica, Slovensko, email: milos.siran@nppc.sk

### 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: VUPOP, 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., Piš, V., Schlosserová, J., Slávik, V., Styk, J., Širáň, M. 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. Bratislava: VUPOP, 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: VUPOP, 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)*, 63(2), pp. 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 pôdochranných opatrení*. Bratislava: NPPC-VUPOP, 2017, 69 p. ISBN 978-80-8163-024-8.
- Kobza, J., Barančíková, G., Makovníková, J., Dodok, R., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. 2019. *Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu*. Bratislava: NPPC-VUPOP, 254 p. ISBN 978-80-8163-033-0
- Lhotský, J. 2000. Zhutňování půd a opatření proti němu. In *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. In *Štvrté pôdoznalecké dni v SR, zborník referátov z vedeckej konferencie pôdoznalcov SR [CD ROM]*. Čingov: VÚPOP – SPS Bratislava, pp. 220-225.
- Makovníková, J., Širáň, M., Pálka, B. 2007. Statický model objemovej hmotnosti pôdy a jeho aplikácia v záujmovom území Banská Bystrica. In *Agrochémia*, roč. 47, 2, pp. 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. In *International Agrophysics*, 2017, 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. In *Journal of Hydrology*, vol. 549, pp. 592–602.
- Širáň, M. 2004. Zhutnenie pôdy a jeho vývoj. In: *Tretie pôdoznalecké dni na Slovensku 22.-24. jún 2004: zborník referátov*. Mojmírovce: VÚPOP – SPS Bratislava, pp. 317-322
- Širáň, M. 2005. Spatial variability of some physical properties on arable soils of different texture with regard to soil compaction. In *Proceeding (Vedecké práce)*, no. 27, VÚPOP Bratislava, pp.139-146.
- Širáň, M., 2010. Aktuálny stav objemovej hmotnosti pôd na základe údajov monitoringu pôd SR. In *Vedecké práce č. 32*, VUPOP Bratislava, pp.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. In *Agrochémia*, vol. XX (56), 2, 38-42, ISSN 1335-2415.
- Vyhľadávka č. 59/2013 Vyhľadávka Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky.
- Zrubec, F. 1998. *Metodika zúrodnenia zhutnených pôd*. Bratislava: VUPOP, 40 p.



## **Analýzy vybraných chemických parametrov pôdy po konverzii jej využitia**

Analysis of Selected Chemical Parameters of Soil after Conversion of its Use

**Božena ŠOLTYSOVÁ, Martin DANILOVIČ, Janka DANILOVIČOVÁ**

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby –  
Ústav agroekológie Michalovce, Špitálska 1273/12, 071 01 Michalovce, Slovenská republika

### **Abstract**

The changes in selected chemical parameters in the soil were observed in Gleyic Fluvisols. The field experiment was established with four energy crops (*Arundo donax*, *Miscanthus x giganteus*, *Elymus elongatus*, *Sida hermaphrodita*) in 2012. Soil samples were taken at the beginning of the experiment in the autumn of 2012 and every autumn (2013 – 2018) at a depth of 0 – 0.3 m. Land management conversion, from classic annual crops to perennial energy crop cultivation, influenced changes in selected chemical parameters. Since the establishment of the experiments, an increase in soil organic carbon in the monitored energy crops was found. The annual increase in soil carbon was 0.44 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> for the *Arundo*, 0.46 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> for the *Elymus*, and 0.43 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> for the *Sida*. The content of soil organic carbon was preserved during the cultivation of *Miscanthus*. Since the establishment of the experiments, an increase in total nitrogen, a reduction in available phosphorus and potassium, and a reduction in soil reaction in the soil of the monitored energy crops were found.

**Keywords:** Gleyic Fluvisols, energy crops, chemical parameters, trend analysis

### **Úvod**

Prijateľnou alternatívou k fosílnym palivám sa stala výroba bio energie. Energetické plodiny sa pestujú na poľnohospodárskej pôde, pričom sa najčastejšie rieši ich produkčný potenciál, prípadne ich kvalitatívna úroveň vo vzťahu k technologickým postupom využitým v energetike. Dôležité je vedecky zhodnotiť vplyv pestovania energetických plodín na jednotlivé zložky životného prostredia, teda aj na kvalitu pôdy. Predpokladá sa, že pri pestovaní energetických plodín sa zlepšia fyzikálne, chemické a biologické vlastnosti pôd vrátane zvýšenia ich organickej zložky.

Medzi ekologické dôvody pestovania energetických plodín patrí ich priaznivý vplyv na štruktúrny stav pôdy, zlepšenie hospodárenia s pôdnou vodou, teda obmedzenie neproduktívneho výparu vody z pôdy mulčom z rastlinných zvyškov na povrchu pôdy, redukcia vodnej a veternej erózie, obmedzenie vyplavovania pohyblivých foriem dusíka pri dlhodobom pôsobení plodín na jednom stanovišti, zlepšenie stavu pôdnej organickej hmoty a pod. (Hůla & Procházková 2002).

Medzi navrhované adaptačné opatrenia pre zachovanie a zvýšenie množstva organického uhlíka v pôde (Ministerstvo životného prostredia SR 2014) patrí výsadba trvalých kultúr, ktoré sú vhodné z hľadiska pôdných podmienok. Najviac pestovanou energetickou plodinou s pozitívnym vplyvom predovšetkým na znižovanie emisií skleníkových plynov je *Miscanthus x giganteus* (Anderson-Teixeira *et al.* 2009, Hillier *et al.* 2009). V súčasnej dobe sa do pozornosti dostávajú aj iné druhy energetických plodín (*Panicum virgatum*, *Camelina sativa*, *Elymus elongatus*, *Sorghum* spp., *Amaranthus* spp., *Arundo donax*).

Konverzia poľnohospodárskej pôdy na porasty energetických rastlín sa javí ako lepší spôsob ukladania uhlíka v pôde než likvidácia prirodzenej vegetácie za účelom ich pestovania. Straty uhlíka z pôdy pri konverzii poľnohospodárskej pôdy, rovnako ako pri konverzii prirodzených porastov, sú závislé od druhu energetickej rastliny (Anderson-Teixeira *et al.* 2009, Hillier *et al.* 2009). Volk *et al.* (2004) odporúčajú, aby sekvestrácia uhlíka pod energetickými plodinami bola za rok aspoň 0,25 t.ha<sup>-1</sup> C. Odhady uhlíka sekvestrovaného pod energetickými plodinami sa pohybujú medzi 0,6 – 3,0 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> C (Sartori *et al.* 2007).

Cieľom príspevku bolo zhodnotenie vplyvu pestovania energetických plodín, ako sú *Arundo donax*, *Miscanthus x giganteus*, *Elymus elongatus* a *Sida hermaphrodita*, na zmeny vybraných chemických parametrov pôdy.

### Materiál a metodika práce

Poľný pokus s energetickými plodinami bol založený v roku 2012 na experimentálnom pracovisku Národného poľnohospodárskeho a potravinárskeho centra – Výskumného ústavu rastlinnej výroby – Ústavu agroekológie Michalovce. Experimentálne pracovisko sa nachádza v Milhostove (48°40'N, 21°43'E), je situované v centrálnej časti Východoslovenskej nížiny v nadmorskej výške 101 m.

Monitorovaná lokalita je zaradená do klimatického regiónu T 03 (Linkeš et al. 1996), ktorý je charakterizovaný ako teplý, veľmi suchý, nížinný. Dlhodobý normál (1981 – 2010) pre ročnú teplotu vzduchu v Milhostove je 9,4 °C (16,6 °C počas vegetačného obdobia) a dlhodobý normál zrážok je 567 mm (374 mm počas vegetačného obdobia) (Mikulová et al. 2020).

Zmeny vybraných chemických vlastností pôdy boli sledované pri energetických plodinách trsteník obyčajný (*Arundo donax*), ozdobnica obrovská (*Miscanthus x giganteus*), pýr predĺžený (*Elymus elongatus*) a sida obojpohlavná (*Sida hermaphrodita*). Plodiny boli každoročne hnojené fosforom v dávke 40 kg.ha<sup>-1</sup>, draslíkom v dávke 60 kg.ha<sup>-1</sup> a nebolo realizované hnojenie dusíkom. Veľkosť variantu pri trsteníku, ozdobnici a side bola 12 m<sup>2</sup> a pri pýre 9 m<sup>2</sup>, pričom pokusy boli uskutočnené v trojnásobnom opakovaní.

V Tab. 1 je uvedené zrnitostné zloženie pôdy pred založením pokusov s energetickými plodinami. Klasifikácia pôdneho druhu bola posúdená na základe obsahu častíc I. kategórie (<0,01 mm), teda obsahu ílovitých častíc podľa Novákovej klasifikačnej stupnice (Kolektív 2000). Pred založením pokusov bol priemerný obsah ílovitých častíc 40,3 %, čo znamená, že pokus s energetickými plodinami bol založený na stredne ťažkej, hlinitej fluvizemi glejovej.

**Tabuľka 1.** Zrnitostné zloženie pôdy pred založením pokusov

Parameter	Trsteník	Ozdobnica	Pýr	Sida	Priemer
1. frakcia [%]	20,6	20,8	20,8	21,6	<b>20,9</b>
2. frakcia [%]	19,0	18,8	18,8	20,0	<b>19,4</b>
3. frakcia [%]	28,7	29,5	29,5	28,6	<b>28,6</b>
4. frakcia [%]	25,6	24,7	24,7	23,8	<b>24,8</b>
5. frakcia [%]	6,1	6,2	6,2	6,0	<b>6,3</b>
obsah častíc I. kat. [%]	39,6	39,6	39,6	41,6	<b>40,3</b>
Hodnotenie pôdy	hlinitá pôda	hlinitá pôda	hlinitá pôda	hlinitá pôda	<b>hlinitá pôda</b>

kde: 1. frakcia – íl (< 0,001 mm), 2. frakcia – jemný a stredný prach (0,001 – 0,01 mm), 3. frakcia – hrubý prach (0,01 – 0,05 mm), 4. frakcia – jemný piesok (0,05 – 0,25 mm), 5. frakcia – stredný piesok (0,25 – 2 mm), obsah častíc I. kategórie (< 0,01 mm)

Pred založením pokusov bola priemerná hodnota celkovej sorpčnej kapacity vysoká, z hľadiska stupňa nasýtenosti sorpčného komplexu bola pôda plne nasýtená. Podľa Hrašku et al. (1962) vyšší stupeň nasýtenia sorpčného komplexu majú pôdy nachádzajúce sa v suchých oblastiach, a preto aj zistené hodnoty pre hlinitú fluvizem glejovú nachádzajúcu sa v Milhostove boli vysoké. Dominujúcou zložkou v pôde boli fulvokyseliny, a preto humus je nižšej kvality (Tab. 2).

**Tabuľka 2.** Vlastnosti pôdy pred založením pokusov

Parameter	Trsteník	Ozdobnica	Pýr	Sida	Priemer
T [mmol.kg <sup>-1</sup> ]	348	323	324	312	<b>327</b>
V [%]	96,3	96,9	96,6	97,1	<b>96,6</b>
C <sub>HK</sub> [g.kg <sup>-1</sup> ]	2,03	2,05	2,03	2,07	<b>2,07</b>
C <sub>FK</sub> [g.kg <sup>-1</sup> ]	2,08	2,47	2,35	2,19	<b>2,27</b>
C <sub>HK</sub> /C <sub>FK</sub>	0,98	0,83	0,86	1,00	<b>0,91</b>

kde: T – celková sorpčná kapacita, V – stupeň nasýtenia sorpčného komplexu, C<sub>HK</sub> – uhlík humínových kyselín, C<sub>FK</sub> – uhlík fulvokyselín, C<sub>HK</sub>/C<sub>FK</sub> – pomer uhlíka humínových kyselín k uhlíku fulvokyselín

Pôdne vzorky boli odoberané pred založením pokusov v jeseni 2012 a každoročne v jeseni (2013 – 2018) z hĺbky 0 – 0,3 m. V spracovaných vzorkách pôdy boli stanovené vybrané chemické parametre pôdy štandardne používanými metódami (Hraško *et al.* 1962; Hrivňáková, Makovníková *et al.* 2011). Vývoj vybraných chemických parametrov pôdy v časovom rade bol posúdený trendovou analýzou. Použil sa lineárny trend, pri ktorom koeficienty boli odhadnuté lineárnou rovnicou  $y = a \times x + b$  (Chajdiak 2005), na základe ktorej sa dá predpokladať trend vývoja sledovaných parametrov pôdy (pôdny organický uhlík, celkový dusík, výmenná pôdna reakcia, prístupný fosfor a draslík) v sedemročnom časovom rade.

Viacnásobnou analýzou rozptylu (Multifactor ANOVA) sa štatisticky testovali stanovené hodnoty vybraných chemických parametrov pôdy. Vzájomné vzťahy medzi sledovanými parametrami boli vyhodnotené pomocou regresnej analýzy. Časové rady boli zobrazené spojnicovými grafmi.

### Výsledky a diskusia

Výsadba trvalých kultúr vhodných z hľadiska pôdnych podmienok patrí medzi navrhované adaptačné opatrenia pre zachovanie a zvýšenie množstva organického uhlíka v pôde (Ministerstvo životného prostredia SR 2014). Predpokladá sa, že zmena vo využívaní pôdy, teda prechod na pestovanie viacročných energetických plodín umožní udržanie až ukladanie uhlíka v pôde. V sedemročnom časovom období sa obsah pôdneho organického uhlíka vyskytoval v rozpätí 14,03 g.kg<sup>-1</sup> až 15,95 g.kg<sup>-1</sup> (Tab. 3). Po prepočte organického uhlíka na humus bolo zistené, že monitorovaná stredne ťažká fluvizem glejová bola stredne humózna (Fecenko a Ložek 2000).

**Tabuľka 3.** Obsahy pôdneho organického uhlíka [g.kg<sup>-1</sup>] a celkového dusíka [mg.kg<sup>-1</sup>] v pôde

Rok	Pôdny organický uhlík [g.kg <sup>-1</sup> ]				Celkový dusík [mg.kg <sup>-1</sup> ]			
	T	O	P	S	T	O	P	S
2012	14,27	14,67	14,64	14,86	1516	1554	1561	1609
2013	14,31	14,80	14,77	14,69	1334	1456	1478	1445
2014	14,29	14,61	14,86	14,99	1368	1456	1447	1388
2015	14,22	14,69	14,42	14,59	1543	1596	1550	1653
2016	14,29	14,03	14,29	14,56	1485	1512	1499	1490
2017	14,46	14,57	14,52	14,77	1530	1524	1508	1502
2018	15,08	15,01	15,95	15,84	1669	1695	1697	1641

kde: T – trsteník, O – ozdobnica, P – pýr, S – sida

Obsah pôdneho organického uhlíka bol štatisticky preukazne závislý od plodiny a vysoko preukazne od ročníka (Tab. 4). Priemerne najvyššie obsahy pôdneho organického uhlíka boli

zaznamenané v roku 2018. Z hľadiska plodiny boli najvyššie priemerné obsahy organického uhlíka zistené pri pestovaní sidy (14,90 g.kg<sup>-1</sup>) a pýru (14,78 g.kg<sup>-1</sup>).

**Tabuľka 4.** Štatistické vyhodnotenie obsahov vybraných chemických parametrov pôdy

Zdroj variability	Faktor	Sledovaný parameter				
		C <sub>ox.</sub> [g.kg <sup>-1</sup> ]	N <sub>t</sub> [mg.kg <sup>-1</sup> ]	P [mg.kg <sup>-1</sup> ]	K [mg.kg <sup>-1</sup> ]	pH/KCl
plodina	trsteník	14,42 a	1492 a	100,3 c	223,1 a	6,70 c
	ozdobnica	14,63 ab	1542 b	95,0 b	227,6 ab	6,67 c
	pýr	14,78 b	1534 b	84,3 a	229,7 ab	6,62 b
	sida	14,90 b	1533 ab	87,7 a	233,0 b	6,57 a
rok	2012	14,61 a	1560 cd	96,3 c	227,6 a	6,71 e
	2013	14,64 a	1428 a	94,4 bc	233,6 a	6,67 de
	2014	14,69 a	1415 a	89,5 a	221,0 a	6,71 e
	2015	14,48 a	1586 d	90,3 ab	246,4 b	6,66 cd
	2016	14,29 a	1497 b	89,3 a	224,0 a	6,60 bc
	2017	14,58 a	1516 bc	88,7 a	221,2 a	6,60 b
	2018	15,47 b	1676 e	94,1 bc	225,0 a	6,53 a

kde: C<sub>ox.</sub> – pôdny organický uhlík, N<sub>t</sub> – celkový dusík, P – prístupný fosfor, K – prístupný draslík, pH/KCl – výmenná pôdna reakcia, písmená (a, b, c, d, e) medzi faktormi poukazujú na štatisticky preukazné rozdiely ( $\alpha = 0,05$ ) – LSD test

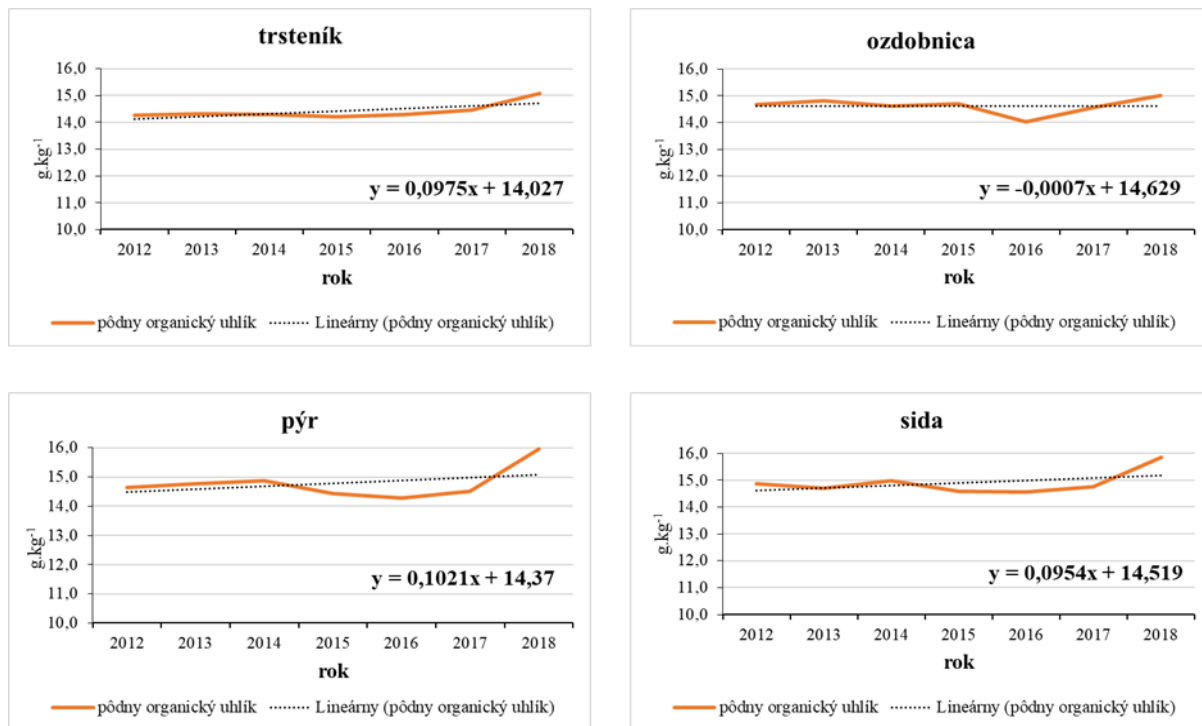
Trend vývoja obsahov pôdneho organického uhlíka (Obr. 1) bol pre trsteník vyjadrený lineárnou rovnicou  $y = 0,0975x + 14,027$ , pre ozdobnicu  $y = -0,0007x + 14,629$ , pre pýr  $y = 0,1021x + 14,37$  a sidu  $y = 0,0954x + 14,519$ . Z trendu vývoja obsahu pôdneho organického uhlíka pri jednotlivých energetických plodinách v posudzovanom časovom rade vyplýva jeho ročné zvýšenie pri trsteníku o 0,098 g.kg<sup>-1</sup> C, pri pýre o 0,102 g.kg<sup>-1</sup> C a pri side o 0,095 g.kg<sup>-1</sup> C. Ročný nárast pôdneho organického uhlíka pri uvedených plodinách po prepočte na obsah v ornici do 0,3 m predstavuje ročný nárast o 0,44 t.ha<sup>-1</sup> C pri trsteníku, o 0,46 t.ha<sup>-1</sup> C pri pýre a o 0,43 t.ha<sup>-1</sup> C pri side, čo prevyšuje minimálne hodnoty uhlíka 0,25 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> pre sekvestráciu uhlíka odporúčané Volkom *et al.* (2004). Ročná sekvestrácia uhlíka pri trsteníku, pýre a side sa približuje hodnotám, ktoré udávajú Sartori *et al.* (2007). Lineárny trend vývoja pôdneho organického uhlíka pri ozdobnici vypovedá o udržaní jeho pôvodného obsahu v pôde.

Zmeny v obsahu pôdneho organického uhlíka v dôsledku rôzneho využitia pôdy sa objavujú postupne a sú pomerne malé v porovnaní s veľkými zásobami pôdneho organického uhlíka, ktoré varujú priestorovo aj časovo (Bhattacharyya *et al.* 2013).

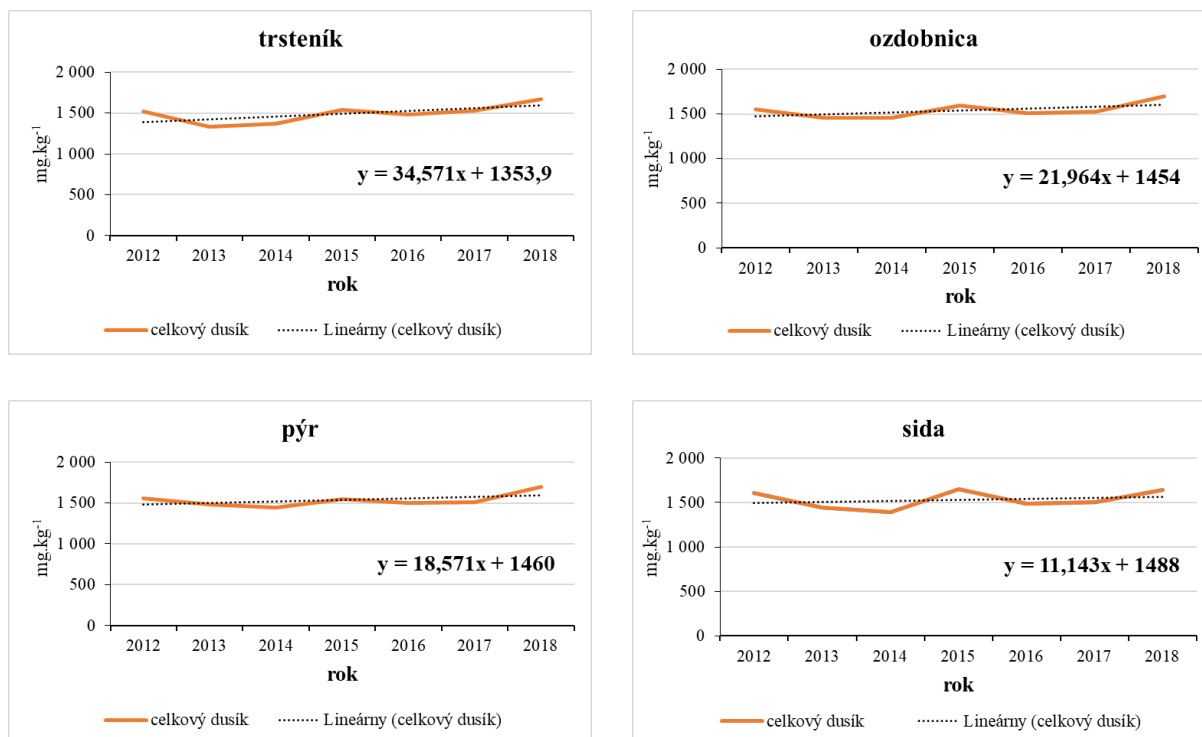
Obsah celkového dusíka sa vyskytoval v rozmedzí 1334 – 1697 mg.kg<sup>-1</sup> (Tab. 3) a bol štatisticky vysoko preukazne ovplyvnený ročníkom (Tab. 4). Priemerne najvyššie obsahy celkového dusíka boli zaznamenané v roku 2018 analogicky ako pri pôdnom organickom uhlíku, pretože obsah celkového dusíka úzko súvisí s obsahom pôdneho organického uhlíka. Pri pestovaní energetických plodín bola medzi pôdnym organickým uhlíkom a celkovým dusíkom zaznamenaná kladná závislosť ( $r = 0,52$ ;  $n = 28$ ). Signifikantné lineárne korelácie medzi organickým uhlíkom a celkovým dusíkom v orničnom horizonte s hodnotou korelačného koeficienta  $r = 0,53$  zaznamenali Kováč *et al.* (2004),  $r = 0,90$  Barančíková (2005) a  $r = 0,50$  Wang *et al.* (2009).

Trend vývoja obsahov celkového dusíka (Obr. 2) bol pre trsteník vyjadrený lineárnou rovnicou  $y = 34,5714x + 1353,9$ , pre ozdobnicu  $y = 21,964x + 1454$ , pre pýr  $y = 18,571x + 1460$  a sidu  $y = 11,143x + 1488$ . Z trendu vývoja obsahu celkového dusíka pri jednotlivých energetických plodinách v posudzovanom časovom rade vyplýva trend jeho

zvýšenia. Ročné zvýšenie celkového dusíka pri trsteníku bolo  $34,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ , pri ozdobnici  $22,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ , pri pýre  $18,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  a pri side  $11,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Ročný nárast celkového dusíka po prepočte na obsah v ornici do 0,3 m predstavuje ročné zvýšenie o  $0,16 \text{ t.ha}^{-1} \text{ N}$  pri trsteníku, o  $0,10 \text{ t.ha}^{-1} \text{ N}$  pri ozdobnici, o  $0,08 \text{ t.ha}^{-1} \text{ N}$  pri pýre a o  $0,05 \text{ t.ha}^{-1} \text{ N}$  pri side.



Obr. 1 Trend vývoja obsahov pôdneho organického uhlíka v porastoch energetických plodín



Obr. 2 Trend vývoja obsahov celkového dusíka v porastoch energetických plodín

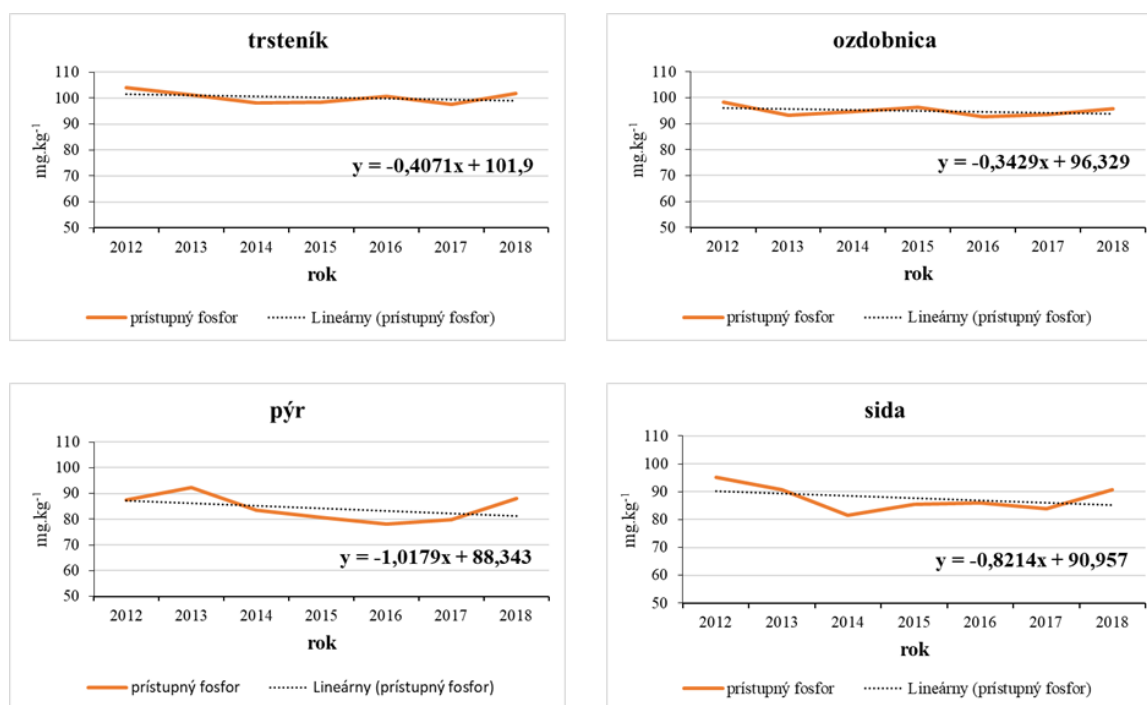
Obsahy prístupného fosforu sa vyskytovali v rozmedzí 78,0 – 103,9 mg.kg<sup>-1</sup> (Tab. 5). Z hľadiska kritérií pre hodnotenie výsledkov chemických rozborov orných pôd (Vyhláška MP SR č. 151/2016 Z. z.) bol v pôde pod energetickými plodinami vyhovujúci až dobrý obsah prístupného fosforu. Obsah prístupného fosforu bol vysoko preukazne závislý od plodiny a ročníka (Tab. 5). Z pestovaných plodín boli najvyššie priemerné obsahy prístupného fosforu v pôde zistené pri pestovaní trsteníka (100,3 mg.kg<sup>-1</sup>) a najnižšie pri pestovaní pýru (84,3 mg.kg<sup>-1</sup>) a sidy (87,7 mg.kg<sup>-1</sup>). Z hľadiska ročníka boli priemerné obsahy prístupného fosforu vyššie na začiatku výskumného obdobia a preukazne poklesli ku koncu výskumného obdobia.

**Tabuľka 5.** Obsahy prístupného fosforu a draslíka [mg.kg<sup>-1</sup>] v pôde

Rok	Prístupný fosfor [mg.kg <sup>-1</sup> ]				Prístupný draslík [mg.kg <sup>-1</sup> ]			
	T	O	P	S	T	O	P	S
2012	103,9	98,4	87,5	95,3	214,0	231,2	227,7	237,5
2013	101,3	93,3	92,2	90,8	224,0	235,4	240,0	234,8
2014	98,2	94,7	83,6	81,5	204,1	224,0	229,4	226,5
2015	98,5	96,4	80,7	85,5	234,3	248,1	250,2	253,0
2016	100,7	92,6	78,0	86,0	226,9	219,0	218,9	231,0
2017	97,5	93,6	79,7	83,8	228,5	215,7	219,7	220,7
2018	101,8	95,7	88,2	90,8	230,1	219,9	222,1	227,7

kde: T – trsteník, O – ozdobnica, P – pýr, S – sida

Trend vývoja obsahov prístupného fosforu pri všetkých štyroch energetických plodinách (Obr. 3) poukazuje na jeho mierny pokles. Vývoj obsahov prístupného fosforu bol pre trsteník vyjadrený lineárnou rovnicou  $y = -0,4071x + 101,9$ , pre ozdobnicu  $y = -0,3429x + 96,329$ , pre pýr  $y = -1,0179x + 88,343$  a pre sidu  $y = -0,8214x + 90,957$ . Ročný pokles prístupného fosforu v hĺbke do 0,3 m bol len v jednotkách kilogramov na hektár (trsteník -1,83 kg.ha<sup>-1</sup> P, ozdobnica -1,54 kg.ha<sup>-1</sup> P, pýr -4,58 kg.ha<sup>-1</sup> P, sida -3,70 kg.ha<sup>-1</sup> P).

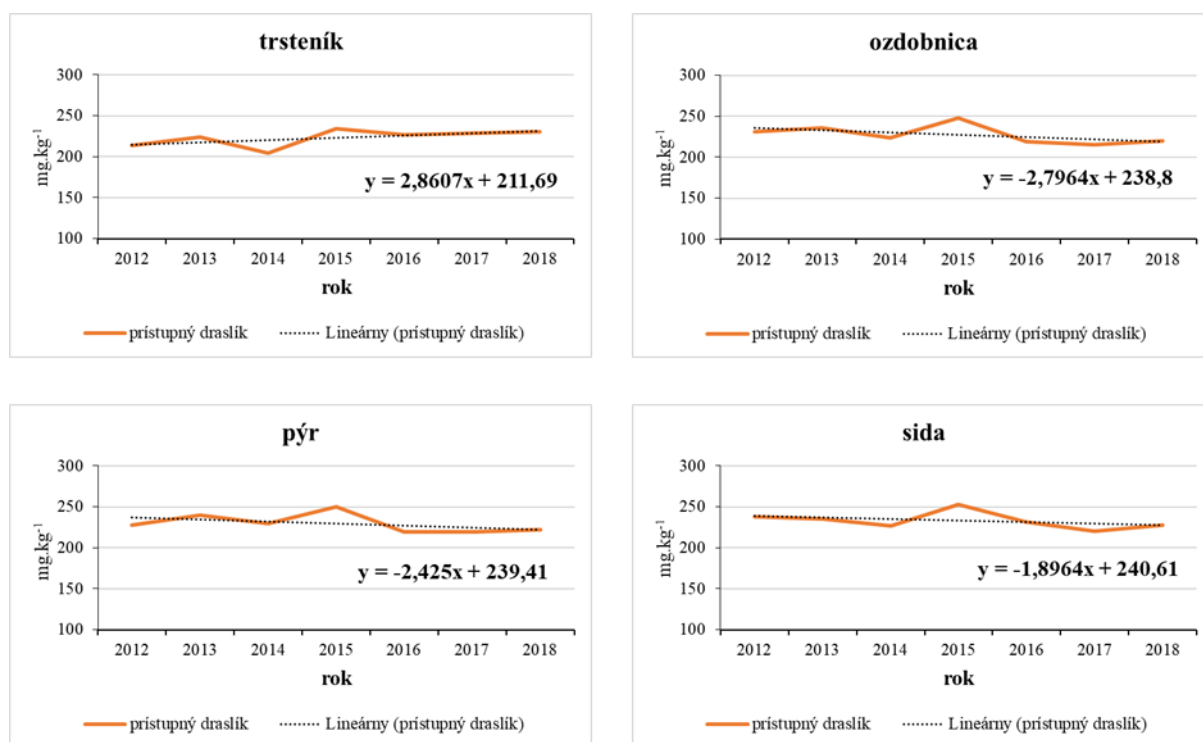


**Obr. 3** Trend vývoja obsahov prístupného fosforu v porastoch energetických plodín

Energetické plodiny boli každoročne hnojené fosforom v dávke  $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  a napriek tomu pri ich pestovaní mierne poklesol obsah prístupného fosforu v pôde. Pravdepodobne to súvisí s neustálymi zmenami foriem organického a minerálneho fosforu v pôde. Kultiváciou v dôsledku intenzívnej mineralizácie organických zlúčenín sa obsah prístupného fosforu zvyšuje a obsah celkového fosforu sa znižuje (Fecenko a Ložek 2000). Pri pestovaní energetických plodín nedochádza ku každoročnej kultivácii a jedná sa o neobrábanú pôdu. Preto pri pestovaní energetických plodín nedochádza k mineralizácii, ale k zabudovaniu fosforu do organických zložiek pôdy, čoho výsledkom je skutočnosť, že aj pri pozitívnej bilancii fosforu obsah jeho minerálnej zložky poklesol.

Obsahy prístupného draslíka sa vyskytovali v rozmedzí  $204,1 - 253,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Tab. 5). Z hľadiska kritérií pre hodnotenie výsledkov chemických rozborov orných pôd (Vyhláška MP SR č. 151/2016 Z. z.) bol v pôde pod energetickými plodinami dobrý obsah prístupného draslíka, ktorý bol vysoko preukazne závislý od ročníka (Tab. 4).

Trend vývoja obsahov prístupného draslíka pri trsteníku v rokoch 2012 až 2018 poukazuje na jeho mierny nárast ( $y = 2,8607x + 211,69$ ). Z lineárneho trendu bolo zaznamenané ročné zvýšenie prístupného draslíka v pôde o  $12,87 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Trend vývoja obsahov prístupného draslíka v pôde bol pre ozdobnicu vyjadrený lineárnou rovnicou  $y = -2,7964x + 238,8$ , pre pýr rovnicou  $y = -2,425x + 239,41$  a pre sidu  $y = -1,8964x + 240,61$ . Vývoj obsahov prístupného draslíka v pôde pri pestovaní ozdobnice, pýru a sidy poukazuje na jeho mierny pokles ročne o  $12,58 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  K pri ozdobnici,  $10,91 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  K pri pýre a  $8,53 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  K pri side.



**Obr. 4** Trend vývoja obsahov prístupného draslíka v porastoch energetických plodín

Obsah prístupného draslíka v pôde je závislý od odberu draslíka pestovanými energetickými plodinami. V štvrtom až šiestom roku pestovania bol zaznamenaný výpadok trsteníka, úrody boli oveľa nižšie a tým aj odber draslíka z pôdy, a to je jeden z dôvodov, prečo sa obsah draslíka v pôde mierne zvýšil. Pri ostatných energetických plodinách došlo k poklesu prístupného draslíka v pôde, čo pravdepodobne súviselo s jeho vyšším odberom pri nedostatočnom hnojení draslíkom, alebo tiež s vyplavením draslíka, ktorého sa v podmienkach stredne ťažkých pôd vyplaví ročne  $0,2 - 10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Pri pestovaní viacročných energetických plodín boli hodnotené aj zmeny hodnôt výmennej pôdnej reakcie. Hodnoty výmennej pôdnej reakcie sa vyskytovali v rozmedzí 6,47 – 6,82 (Tab. 6). Podľa kritérií hodnotenia bola výmenná pôdna reakcia neutrálna (Vyhláška MP SR č. 151/2016 Z. z.).

**Tabuľka 6.** Hodnoty výmennej pôdnej reakcie pri pestovaní energetických plodín

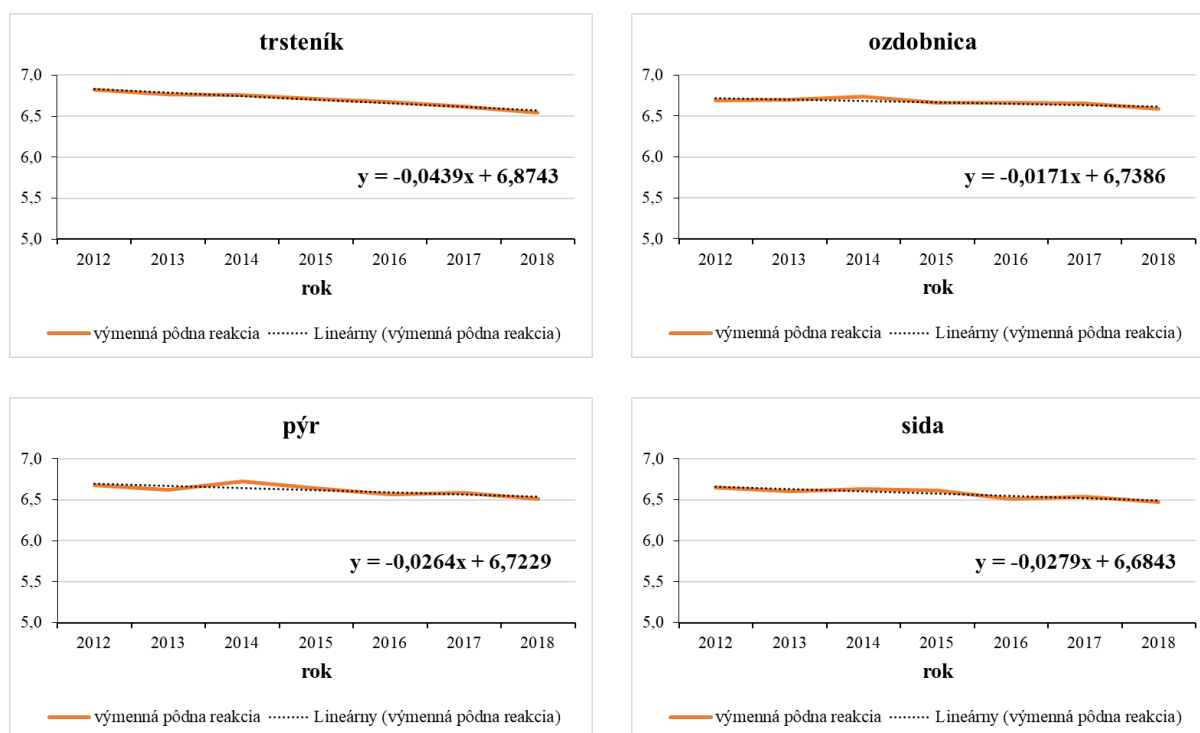
Rok	T	O	P	S	Rok	T	O	P	S
2012	6,82	6,69	6,68	6,65	2016	6,67	6,66	6,57	6,51
2013	6,77	6,70	6,62	6,60	2017	6,62	6,65	6,58	6,54
2014	6,76	6,74	6,72	6,63	2018	6,54	6,59	6,51	6,47
2015	6,71	6,66	6,64	6,61					

kde: T – trsteník, O – ozdobnica, P – pýr, S – sida

Obsah hodnôt výmennej pôdnej reakcie bol štatisticky vysoko preukazne závislý od plodiny a ročníka (Tab. 6). Z pestovaných plodín boli vysoko preukazne vyššie priemerné hodnoty výmennej pôdnej reakcie zistené pri pestovaní trsteníka (6,70) a ozdobnice (6,67) a najnižšie pri pestovaní sidy (6,57). Z hľadiska ročníka bol zaznamenaný pokles hodnôt pôdnej reakcie ku koncu výskumného obdobia.

Pôdna reakcia ovplyvňuje prístupnosť živín. Vyššia kyslosť pôdy znižuje rozpustnosť niektorých živín niekedy až pod životné minimum rastlín. Pri pestovaní vybraných energetických plodín bol pri vyššej kyslosti pôdy zistený pokles prístupného fosforu ( $r = 0,47$ ). Závislosť medzi hodnotami pôdnej reakcie a fosforom v pôde zaznamenali aj Dong *et al.* (2009).

Trend vývoja hodnôt výmennej pôdnej reakcie pri všetkých štyroch energetických plodinách (Obr. 5) poukazuje na jeho mierny pokles. Vývoj hodnôt pôdnej reakcie bol pre trsteník vyjadrený lineárnou rovnicou  $y = -0,0439x + 6,8743$ , pre ozdobnicu  $y = -0,0171x + 6,7386$ , pre pýr  $y = -0,0264x + 6,7229$  a pre sidu  $y = -0,0279x + 6,6843$ .



**Obr. 5** Trend vývoja hodnôt výmennej pôdnej reakcie v porastoch energetických plodín



Z lineárneho trendu vývoja hodnôt výmennej pôdnej reakcie pri monitorovaných energetických plodinách bolo zaznamenané najvyššie zníženie hodnôt výmennej pôdnej reakcie pri pestovaní trsteníku a najnižšie pri pestovaní ozdobnice (Obr. 5). Lineárny trend poukazuje na to, že ročne pri pestovaní energetických plodín môže poklesnúť pôdna reakcia o 0,044 pri trsteníku, o 0,017 pri ozdobnici, o 0,026 pri pýre a o 0,028 pri side.

Monitorované hlinité fluvizeme glejové boli neutrálne, a preto zníženie pôdnej reakcie v porastoch energetických plodín by nemalo byť ani pri dlhodobom pestovaní energetických plodín prvkom obmedzujúcim dosahované úrody. Na kyslých pôdach je potrebné pred výsadbou energetických plodín zrealizovať úrodotvorné opatrenia, teda zrealizovať nielen hnojenie, ale aj vápnenie pôdy.

Optimálna pôdna reakcia pre pestovanie ozdobnice je v rozmedzí 5,5 – 6,5 a pri pôdnej reakcii nad 7,0 bolo pozorované zníženie úrody (Stražil 2009). Pre sidu je optimálna pôdna reakcia neutrálna (Piszczalka & Macák, 2009). Siaudinis *et al.* (2017) však zistili, že sida pozitívne reagovala na hnojenie a vápnenie aj keď bola pestovaná na kyslej pôde.

### **Záver**

Zmena vo využívaní pôdy, teda prechod z pestovania klasických jednoročných plodín na pestovanie viacročných energetických plodín ovplyvnila obsahy vybraných parametrov pôdy. Pri energetických plodinách trsteník, pýr a sida bol od založenia pokusov zistený nárast pôdneho organického uhlíka, pričom ročný nárast uhlíka bol pri trsteníku  $0,44 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  C, pri pýre  $0,46 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  C a pri side  $0,43 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  C. Pri pestovaní ozdobnice sa pôvodný obsah pôdneho organického uhlíka udržal.

Pri pestovaní energetických plodín bola medzi pôdnym organickým uhlíkom a celkovým dusíkom zistená kladná závislosť ( $r = 0,52$ ;  $n = 28$ ). Pri monitorovaných energetických plodinách bol zistený aj nárast obsahov celkového dusíka v pôde. Ročné zvýšenie celkového dusíka v pôde bolo  $0,16 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  N pri trsteníku,  $0,10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  N pri ozdobnici,  $0,08 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  N pri pýre a  $0,05 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  N pri side.

Vývoj obsahov prístupného fosforu a draslíka v sledovanom období vykazoval pokles s výnimkou prístupného draslíka pri pestovaní trsteníka. Analogicky v sledovanom období bol zaznamenaný aj pokles hodnôt výmennej pôdnej reakcie pri všetkých štyroch energetických plodinách.

### **PodĎakovanie**

Táto práca vznikla s podporou Ministerstva poľnohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky.

### **Kontaktné adresy :**

Božena Šoltysová, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav agroekológie Michalovce, Špitálska 1273, 071 01 Michalovce, Slovenská republika, mail: bozena.soltysova@nppc.sk

Martin Danilovič, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav agroekológie Michalovce, Špitálska 1273, 071 01 Michalovce, Slovenská republika, mail: martin.danilovic@nppc.sk

Janka Danilovičová, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby – Ústav agroekológie Michalovce, Špitálska 1273, 071 01 Michalovce, Slovenská republika, mail: janka.danilovicova@nppc.sk

### **Literatúra**

Anderson-Teixeira, K.K., Davis, S.C., Masters, M.D., Delucia, E.H. 2009. Changes in soil organic carbon under biofuel crops. In *GCB Bioenergy*, vol. 1, no. 1, pp. 75-96.

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

- Barančíková, G. 2005. Vývoj pôdnej organickej hmoty na vybraných pôdnych typoch trvalých trávnych porastov a orných pôd v priebehu monitoringu. In *Štvrté pôdoznalecké dni na Slovensku*. Bratislava : VÚPOP, s. 7-13. ISBN 80-89128-18-1
- Bhattacharyya, P., Nayak, A.K., Mohanty, S., Tripathi, R., Shahid, M., Kumar, A., Raja, R., Panda, B.B., Roy, K. S., Neogi, S., Dash, P. K., Shukla, A.K., Rao, K.S. 2013. Greenhouse gas emission in relation to labile soil C, N pools and functional microbial diversity as influenced by 39 years long-term fertilizer management in tropical rice. In *Soil Till. Res.*, vol. 129, pp. 93-105.
- Dong, X.W., Zhang, X.K., Bao, X.L., Wang, J.K. 2009. Spatial distribution of soil nutrients after the establishment of sand-fixing shrubs on sand dune. In *Plant Soil Environ.*, vol. 55, no. 7, pp. 288-294.
- Fecenko, J., Ložek, O. 2000. *Výživa a hnojenie poľných plodín*. 1. vyd. Nitra : SPU Nitra. 452 s. ISBN 80-7137-777-5.
- Hillier, J., Whittaker, C., Dailey, G. et al. 2009. Greenhouse gas emission from four bioenergy crops in England and Wales: Integrating spatial estimation of yield and soil carbon balance in life cycle analysis. In *GCB Bioenergy*, vol. 1, no. 4, pp. 267-281.
- Hraško, J. et al. 1962. *Rozbory pôd*. 1. vyd. Bratislava : SVPL, 342 s.
- Hrivňáková, K., Makovníková, J. et al. 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. 1. vyd. Bratislava: VÚPOP, 136 s. ISBN 978-80-89128-89-1
- Hůla, J., Procházková, B. 2002. *Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku*. Zemědělské informace ÚZPI, č. 3, 103 s.
- Chajdiak, J. 2005. *Štatistické úlohy a ich riešenie v Exceli*. Bratislava: Statis, 268 s. ISBN 80-85659-39-5
- Kolektív 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. 1. vyd. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy v Bratislave. 76 s. ISBN 80-85361-70-1.
- Kováč, K., Lehotská, Z., Žák, Š. 2004. Dynamika zmien agrochemických vlastností pôdy v ekologickom a integrovanom systéme. In *Nové poznatky v pestovaní, šlechtění a ochraně rostlin*. Brno: Výzkumný ústav picinářský, spol. s.r.o. Troubsko, s. 315-320. ISBN 80-902436-9-X
- Linkeš, V., Pestún, V., Džatko, M. 1996. *Průručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických*. 3. vyd. Bratislava : VÚPÚ, 1996. 103 s. ISBN 80-85361-19-1
- Mikulová, K. et al. 2020. *Národný klimatický program Slovenskej republiky. zväzok 15/20. Klimatologické normály za obdobie 1981-2010 na Slovensku*. 1. vyd., DVD-ROM. ISBN 9788099929044
- Ministerstvo životného prostredia SR 2014. *Stratégia adaptácie Slovenskej republiky na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy*. 103 s.
- Piszczalka, J., Macák, M. 2009. Sida ako energetická plodina. In *Agrobioenergia*, roč. 4, č. 3, s. 7-78.
- Sartori, F., Lal, R., Ebinger, M.H., Eaton, J.A. 2007. Changes in soil carbon and nutrient pools along a chronosequence of poplar plantations in the Columbia Plateau, Oregon, USA. In *Agric Ecosyst Environ*, vol. 122, no. 3, pp. 325-339.
- Siaudinis, G., Skuodiene, R., Repsiene, R. 2017. The investigation of three potential energy crops: common mugwort, cup plant and Virginia mallow on Western Lithuania's albeluvisol. In *Applied Ecology and Environmental Research*, no.15, pp. 611-620.
- Stražil, Z. 2009. *Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (Miscanthus)*. Metodika pro praxi. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 52 s. ISBN 978-80-7427-006-2
- Volk, T.A., Verwijst, T., Tharakan, P.J., Abrahamson, L.P., White, E.H. 2004. Growing fuel a sustainability assessment of willow biomass crops. In *Front Ecol Environ*, vol. 2, no. 8, pp. 411-418.
- Vyhľadška MPRV SR č. 151/2016 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o agrochemickom skúšaní pôd a o skladovaní a používaní hnojív.
- Wang, Z.M., Song, K.S., Zhang, B., Liu, D. W., Li, X.Y., Ren, C.Y., Zhang, S.M., Luo, L., Zhang, C.H. 2009. Spatial variability and affecting factors of soil nutrients in croplands of Northeast China: a case study in Dehui County. In *Plant Soil Environ.*, vol. 55, no. 3, pp. 110-120.

## Produkčná účinnosť závlahovej vody poľných plodín na Podunajskej nížine

Irrigation Water Use Efficiency of Field Crops on Danubian Lowland

Jozef TAKÁČ

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Trenčianska 55, 821 09 Bratislava, Slovenská republika

### Abstract

The main objective of this paper is to evaluate irrigation water use efficiency on Danubian Lowland at crop production level. Crop production was simulated on both rainfed and irrigated soils with agroecological model DAISY in the period 1961 - 2020. According to the results of, there was an increase in the irrigation needs for spring barley, winter wheat and grain maize in the period 1991-2020 compared to the period 1961-1990. The most significant increase in irrigation needs occurred in the southwest and northeast of the Danubian Lowland. In contrast, in the southeast of the Danubian Lowland, a smaller increase in irrigation needs was simulated for the period 1991-2020 compared to the period 1961-1990. According to the results of the simulations, irrigation proved to be most effective on Chernozems and Luvisols, especially in the southwest of the Danubian Lowland. Irrigation water use efficiency was highest in dry years with low irrigation amount applied.

**Keywords:** water stress, irrigation needs, field crops, soil groups, agroecological model DAISY

### Úvod

Slovensko sa nachádza v miernom klimatickom pásme a plnému využívaniu produkčného potenciálu poľnohospodárskych plodín bráni nedostatok a najmä nerovnomerné rozdelenie zrážok. Poľnohospodárska výroba je mimoriadne zraniteľná vplyvom zmeny klímy. Zmenou klimatických podmienok sa budú meniť aj výrobné podmienky, ktoré môžu mať pozitívny alebo negatívny vplyv na poľnohospodársku výrobu.

Očakávané zvýšenie teploty vzduchu spolu so zmenami v rozložení zrážok a zrážkových úhrnoch sa odrazí v zmenách jednotlivých prvkov vodnej bilancie. Vlahový deficit jednotlivých plodín sa bude zvyšovať, čo sa negatívne premietne do produkčnej a ekonomickej oblasti pestovateľských systémov jednotlivých plodín.

Doplnková závlaha je považovaná za účinný spôsob na zmiernenie alebo elimináciu vodného stresu plodín a je aj v súčasnosti nevyhnutnou podmienkou optimalizácie vodného režimu pôdy pre potreby poľnohospodárskej výroby v južných regiónoch Slovenska. Účinnosť závlahy závisí od priebehu počasia, hydrofyzikálnych vlastností pôd, dostupnosti živín, pestovanej plodiny a jej odrody, ako aj od úrovne hospodárenia na pôde. Predpokladá sa, že potreba vody pre závlahu v podmienkach klimatickej zmeny bude významne rásť. Kos (1970) pre mesačné časové rady z 10 meteorologických staníc v Československu vypočítal, že zmena teploty o 1,5 °C mala za následok priemerné zvýšenie potreby závlahovej vody o 20 až 35 %.

Podľa deviatich alternatívnych scenárov zmeny klímy pre Slovensko sa predpokladal nárast potreby závlahovej vody v závislosti od scenára o 17 až 332 % (Takáč, 1996). Podľa inej štúdie, zvýšenie potreby závlahovej vody podľa jednotlivých scenárov k časovému horizontu roku 2075 v porovnaní so stavom v roku 1996 (271 mil. m<sup>3</sup>) sa pohybuje medzi 46 mil. m<sup>3</sup> až 900 mil. m<sup>3</sup> (Takáč & Zuzula 2000). Podľa výsledkov simulácií vykonaných modelom DAISY podľa scenárov SRES A2 a SRES B1 sa ročné úhrny vlahovej potreby plodín do konca storočia postupne zvýšia o 15 % (SRES B1) a 19 % (SRES A2) v porovnaní s obdobím 1961–1990 (Takáč, Šiška, Lapin, 2009).

V ostatných rokoch sa v súvislosti s požiadavkami na zvýšenie efektívnosti rastlinnej výroby čoraz častejšie diskutuje otázka produkčnej účinnosti využitia vody a osobitne závlahovej

vody. Produkčná účinnosť využitia vody patrí aj medzi základné charakteristiky hodnotené v súvislosti s dôsledkami klimatickej zmeny na poľnohospodárstvo a prípravou adaptačných a zmierňovacích opatrení.

Cieľom tohto príspevku je na základe numerických simulácií agroekologickým modelom DAISY vyhodnotiť produkčnú účinnosť závlahy poľných plodín v regióne Podunajskej nížiny v období 1961-2020.

### Materiál a metodika práce

Na hodnotenie závlahovej potreby boli využité výsledky simulácii úrod vybraných plodín agroekologickým modelom DAISY. DAISY je jednorozmerný model agroekosystému, ktorý na základe informácie o spôsobe hospodárenia a údajov o počasí simuluje rast plodiny, vodný režim, tepelný režim, bilanciu organickej hmoty a dynamiku dusíka v poľnohospodárskych pôdach. Model umožňuje budovanie komplexných scenárov hospodárenia (Hansen *et al.*, 1990, Abrahamsen & Hansen, 2000). Plodinové parametre modelu DAISY boli optimalizované a overené pre naše podmienky na základe experimentálnych údajov (Takáč 1994, Takáč & Šiška 2011). Spoľahlivosť modelu bola preukázaná aj vo viacerých porovnávacích štúdiách (Kröbel *et al.*, 2010, Palosuo *et al.*, 2011, Rötter *et al.*, 2012).

Model DAISY bol z hľadiska vhodnosti pre hodnotenie produkčnej účinnosti závlahy overený na poľnom stacionárnom pokuse Výskumnej a prevádzkovej stanici (VPS) Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Moste pri Bratislave za celé obdobie jeho trvania v období 1973-2006 (Takáč, 2008a).

Pre posúdenie vplyvu pôdy na vodný režim pôdy boli vykonané simulácie na území Podunajskej nížiny pre tri plodiny, a to kukuricu, jarný jačmeň a ozimnú pšenicu. Územie Podunajskej nížiny bolo rozdelené do štyroch klimatických regiónov reprezentovaných klimatickými stanicami Hurbanovo, Bratislava-letisko, Jaslovské Bohunice a Nitra. V každom z regiónov bolo podľa Morfogenetického klasifikačného systému (Societas pedologica slovacica, VÚPOP 2014) identifikovaných päť dominantných pôdnych typov pokrývajúcich 99% poľnohospodárskej pôdy – černozeme, hnedozeme, fluvizeme, černozeme čiernicové a čiernice ako je uvedené v Tab. 1. V prípade fluvizemí, čiernic a černozemí čiernicových bola uvažovaná fixná hladina podzemnej vody v hĺbke 170 až 250 cm v závislosti od pôdneho typu. Simulácie boli vykonané pre obdobia 1961-1990 a 1991-2020.

**Tabuľka 1.** Základná charakteristika vybraných regiónov. (pôdny typ: CA – čiernica, CM – černoze, CMc – černoze čiernicová, FM – fluvizem, HM – hnedozem; hydrolimity: PK – poľná kapacita, BV – bod vädnutia, VVK – využiteľná vodná kapacita )

Región / meteorologická stanica	Pôdny typ	Výmera [ha]	Výmera [%]	PK [mm]	BV [mm]	VVK [mm]
Severozápad <i>Jaslovské Bohunice</i>	CA	5936	8	420	216	204
	CM	26796	36	408	171	237
	CMc	4982	7	387	147	240
	FM	5476	7	384	144	240
	HM	29891	40	408	177	231
Severovýchod <i>Nitra</i>	CA	2481	4	432	228	204
	CM	22500	33	420	171	249
	CMc	3251	5	372	159	213
	FM	4928	7	408	159	249
	HM	33867	50	423	195	228

Región / meteorologická stanica	Pôdny typ	Výmera [ha]	Výmera [%]	PK [mm]	BV [mm]	VVK [mm]
<b>Juhozápad</b> <i>Bratislava - letisko</i>	CA	26593	14	423	207	216
	CM	10258	6	396	147	249
	CMc	87819	47	384	132	252
	FM	41939	23	384	117	267
	HM	15684	8	408	213	195
<b>Juhovýchod</b> <i>Hurbanovo</i>	CA	60844	18	423	219	204
	CM	108520	32	408	168	240
	CMc	52578	15	384	147	237
	FM	45407	13	387	147	240
	HM	71415	21	429	210	219

Závlahová potreba plodín bola modelom simulovaná v automatickom režime pri poklese zásoby pôdnej vody v koreňovej zóne pod 50 % využiteľnej vodnej kapacity. Minimálny interval medzi dvomi závlahovými dávkami bol limitovaný na 7 dní. Simulované boli aj ďalšie 2 závlahové režimy, a to redukovaný a minimalizovaný. Redukovaný závlahový režim bol limitovaný intervalom medzi závlahovými dávkami 10 dní pri hustosiatych obilninách a 14 dní pri kukurici. Pri minimalizovanom závlahovom režime bola závlaha aplikovaná v čase klasenia, prípadne na začiatku mliečnej zrelosti v závislosti od obsahu vody v pôde. Produkčná účinnosť závlahovej vody [kg sušiny/m<sup>3</sup>] bola z výsledkov simulácií vypočítaná ako podiel rozdielu úrody zavlažovanej a nezavlažovanej plodiny [kg sušiny] a dodanej závlahovej vody [m<sup>3</sup>]. Priemerné hodnoty závlahovej potreby a produkčnej účinnosti závlah podľa pôdnych typov, resp. klimatických regiónov boli počítané ako vážené priemery podľa výmery pôdnych typov, resp. regiónov.

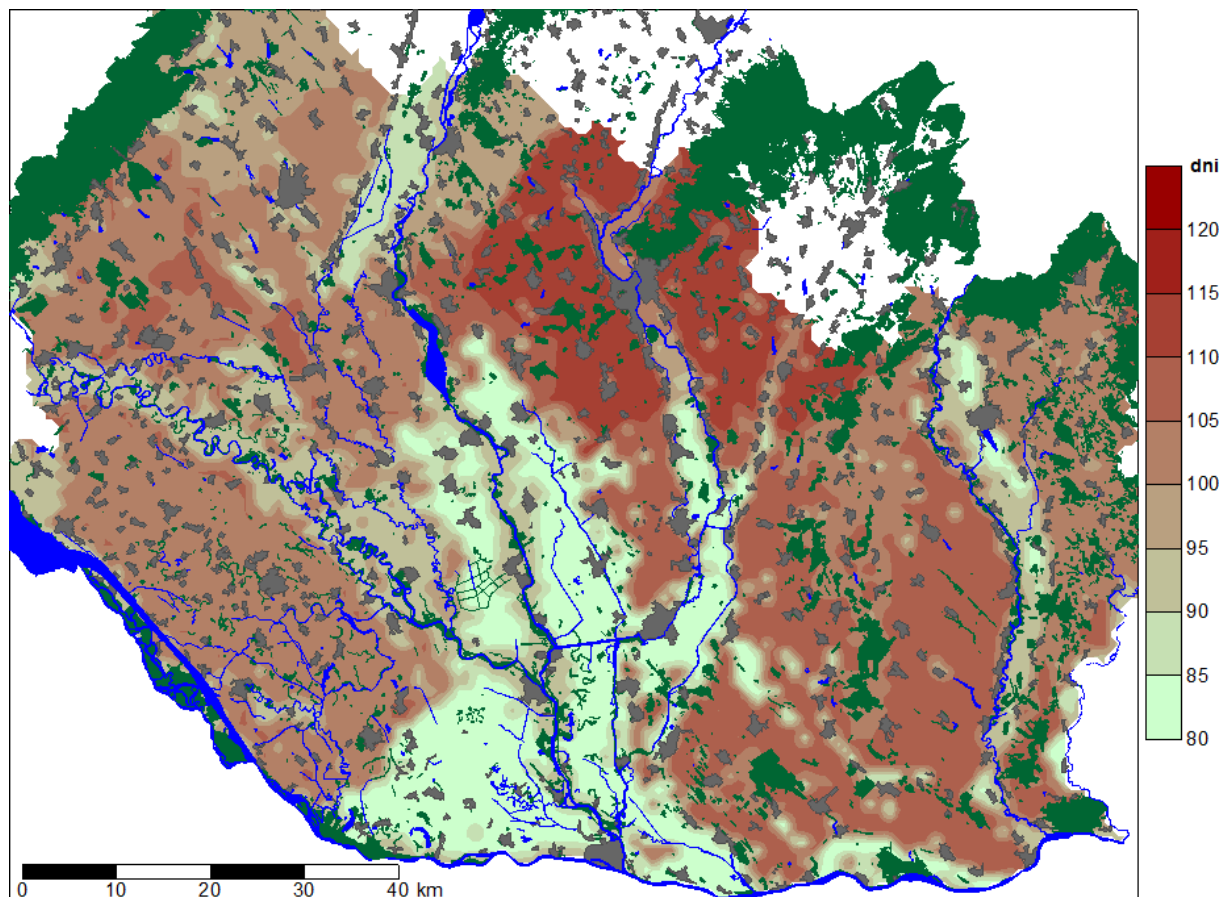
### Výsledky a diskusia

Okrem klimatických podmienok ovplyvňujú pokrytie vlhovej potreby plodín aj pôdne pomery, i keď v podstatne menšej miere ako klimatické faktory. Pôda a jej retenčné schopnosti sú hlavnou príčinou priestorovej variability v zásobách pôdnej vody a úrodách plodín. V závislosti od zrnitostného zloženia dokáže pôda udržať rozdielne množstvo vody.

Z hľadiska dopadov na pestované plodiny je rozhodujúce trvanie obdobia s vlhkosťou pôdy v koreňovej zóne pod 50 % VVK (využiteľnej vodnej kapacity) v kritických vývojových fázach pestovaných plodín. Skutočnosť, že zásoba vody v horizonte 0-100 cm poklesne pod 50 % VVK, je v južných oblastiach Slovenska bežná a vyskytuje sa takmer každý rok. Podľa matematických simulácií dochádza na Podunajskej nížine k poklesu pôdnej vlhkosti pod hranicu 50 % VVK v priemere už v priebehu júna. V niektorých rokoch môže tento stav nastať už začiatkom jari, prípadne môže následkom nedostatočných zrážkových úhrnov v jesenných a zimných mesiacoch pretrvávajúť aj počas jesene a zimy.

Medián počtu dní s vlhkosťou pôdy pod 50 % VVK v súvislých obdobiach je na Podunajskej nížine viac ako 150 dní. Raz za 4 roky dosahuje v tomto regióne súvislé obdobie s vlhkosťou pôdy menšou ako 50 % VVK viac ako 200 dní. Najmenší počet dní s vlhkosťou pôdy pod 50 % VVK na Podunajskej nížine bol vypočítaný pre oblasti s prítomnosťou hladiny podzemnej vody na dolnom Žitnom ostrove a v blízkosti vodných tokov (Obr. 1). Najmenšia priemerná zásoba využiteľnej pôdnej vody na Podunajskej nížine bola simulovaná pre hnedozeme a černozeme, najväčšia pre černozeme čiernicové a fluvizeme. S výnimkou juhovýchodu nížiny sa v období 1991-2020 v porovnaní s obdobím 1961-1990 zvýšil počet dní so zásobou vody v pôde pod 50 % VVK, a to v závislosti od plodiny a pôdneho typu v priemere o 2 až 17 dní.

**Obr. 1** Priemerný počet dní so zásobou vody v pôde nižšou ako 50 % VVK na Podunajskej nížine počas vegetačného obdobia kukurice



Nedostatok vody v pôde sa prejaví vodným stresom, ktorý má nepriaznivý vplyv na úrody plodín (Tab. 2). Najvyšší počet dní s vodným stresom bol simulovaný na černozemiach a hnedozemiach, najmenší na čierniciach a fluvizemiach.

**Tabuľka 2.** Priemerný počet dní s vodným stresom vybraných plodín na rôznych pôdach Podunajskej nížiny v období 1961-1990 a 1991-2020

Pôdny typ	Jačmeň jarný		Ozimná pšenica		Kukurica na zrno	
	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
Čiernica	4	9	3	5	7	12
Černozem	13	20	13	16	29	32
Černozem čiernicová	8	15	6	11	16	24
Fluvizem	4	8	3	6	9	15
Hnedozem	12	20	12	17	28	33

**Tabuľka 3.** Priemerná závlahová potreba jarného jačmeňa, ozimnej pšenice a kukurice na zrno [mm] na Podunajskej nížine v období 1961-1990 a 1991-2020. (pôdny typ: CA – čiernica, CM – černozem, CMc – černozem čiernicová, FM – fluvizem, HM – hnedozem)

		Jačmeň jarný		Ozimná pšenica		Kukurica na zrno	
Región	Pôda	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020

**Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke,  
potravínárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave, 2023**

		Jačmeň jarný		Ozimná pšenica		Kukurica na zrno	
Región	Pôda	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
Bratislava	CA	33	65	43	73	119	180
Bratislava	CM	41	72	49	82	129	204
Bratislava	CMc	38	69	49	82	129	201
Bratislava	FM	8	27	9	32	50	104
Bratislava	HM	47	77	60	91	140	217
Hurbanovo	CA	37	42	19	25	52	70
Hurbanovo	CM	62	68	71	81	168	187
Hurbanovo	CMc	22	30	9	18	40	62
Hurbanovo	FM	26	38	26	42	84	110
Hurbanovo	HM	61	70	73	88	175	196
J. Bohunice	CA	40	62	35	55	69	120
J. Bohunice	CM	51	74	58	81	123	175
J. Bohunice	CMc	26	44	24	47	69	111
J. Bohunice	FM	30	48	33	58	83	130
J. Bohunice	HM	51	73	62	84	123	178
Nitra	CA	30	54	20	43	53	107
Nitra	CM	46	78	52	91	132	196
Nitra	CMc	18	37	26	61	83	146
Nitra	FM	24	48	27	58	89	149
Nitra	HM	51	80	58	95	141	206
	CA	35	51	26	42	68	106
	CM	57	71	65	82	153	187
	CMc	31	53	33	58	94	147
	FM	19	36	20	41	71	114
	HM	54	75	64	90	149	198
Bratislava		31	60	40	70	110	177
Hurbanovo		46	54	47	57	118	138
J. Bohunice		46	68	52	75	110	162
Nitra		44	72	47	82	120	182
priemer		42	60	46	67	115	159

Doplňková závlaha je považovaná za účinný spôsob na zmiernenie alebo elimináciu vodného stresu plodín a je aj v súčasnosti nevyhnutnou podmienkou optimalizácie vodného režimu pôdy pre potreby poľnohospodárskej výroby v južných regiónoch Slovenska.

Najvyššia závlahová potreba bola simulovaná na černoziach a hnedozemiach (Tab. 3). V období 1991-2020 došlo v porovnaní s obdobím 1961-1990 k zvýšeniu závlahovej potreby v priemere o 18 mm pri jarnom jačmeni, 21 mm pri ozimnej pšenici a o 44 mm pri kukurici na zrno. K najvýraznejšiemu zvýšeniu závlahovej potreby došlo na juhozápade nížiny (klimatický región Bratislava) a na severovýchode nížiny (klimatický región Nitra), kde závlahová potreba hustosiatych obilnín vzrástla v priemere o 28-35 mm a závlahová potreba kukurice vzrástla o 67, resp. 63 mm. Naproti tomu, na juhovýchode Podunajskej nížiny (klimatický región Hurbanovo) bol pre obdobie 1991-2020 v porovnaní s obdobím 1961-1990 simulovaný nárast závlahovej potreby jarného jačmeňa len 8 mm, ozimnej pšenice 10 mm a kukurice na zrno 21 mm.

**Tabuľka 4.** Priemerná produkčná účinnosť závlahovej vody [kg suš./m<sup>3</sup>] na Podunajskej nížine v období 1961-1990 a 1991-2020. (pôdny typ: CA – čiernica, CM – černoze, CMc – černoze čiernicová, FM – fluvize, HM – hnedoze)

Región	Pôda	Jačmeň jarný		Ozimná pšenica		Kukurica na zrno	
		1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
Bratislava	CA	1.04	1.17	1.39	1.59	1.25	1.54
Bratislava	CM	1.79	2.03	2.25	2.49	1.89	1.64
Bratislava	CMc	1.84	2.02	2.41	2.25	1.83	1.61
Bratislava	FM	0.91	1.27	1.19	1.36	0.77	1.24
Bratislava	HM	1.62	1.84	1.72	1.68	1.78	1.56
Hurbanovo	CA	0.29	0.34	0.31	-0.02	0.14	0.21
Hurbanovo	CM	1.27	1.83	2.28	2.15	2.00	1.60
Hurbanovo	CMc	0.36	0.39	0.88	0.51	0.25	0.44
Hurbanovo	FM	0.59	0.62	0.95	0.56	1.00	0.94
Hurbanovo	HM	1.35	1.64	1.68	1.10	2.06	1.66
J. Bohunice	CA	0.72	0.77	0.22	0.56	0.32	0.55
J. Bohunice	CM	1.50	1.52	1.27	1.50	1.37	1.83
J. Bohunice	CMc	0.83	0.86	0.73	0.90	0.54	0.96
J. Bohunice	FM	1.14	1.03	1.35	1.26	0.92	1.29
J. Bohunice	HM	1.42	1.48	0.73	1.31	1.38	1.70
Nitra	CA	0.26	0.69	0.22	0.40	0.37	0.48
Nitra	CM	1.16	1.51	0.91	1.04	1.83	1.80
Nitra	CMc	0.85	1.35	1.25	1.11	0.90	1.24
Nitra	FM	0.62	0.80	0.32	0.21	1.02	1.41
Nitra	HM	1.27	1.72	0.70	1.36	1.73	1.84
	CA	0.49	0.63	0.52	0.46	0.45	0.59
	CM	1.33	1.75	1.92	1.91	1.86	1.67
	CMc	1.25	1.38	1.77	1.55	1.19	1.16
	FM	0.76	0.92	1.00	0.88	0.91	1.14
	HM	1.35	1.66	1.11	1.28	1.78	1.73
Bratislava		1.49	1.71	1.91	1.91	1.50	1.51
Hurbanovo		0.88	1.14	1.40	1.07	1.27	1.09
J. Bohunice		1.30	1.33	0.89	1.25	1.16	1.53
Nitra		1.03	1.43	0.64	1.05	1.45	1.57
priemer		1.11	1.35	1.31	1.29	1.35	1.34

Závlaha sa ukázala ako najúčinnějšía na černoze a hnedoze a to hlavne na juhozápade nížiny (Tab. 4). Produkčná účinnosť závlahy sa v období 1991-2020 v porovnaní s obdobím 1961-1990 v priemere za celé územie zvýšila pri jarnom jačmeni, pri ozimnej pšenici a kukurici ostala nezmenená, pričom pokles produkčnej účinnosti pri pšenici a kukurici bol vypočítaný pre juhovýchod nížiny.

Účinnosť závlahy závisí od priebehu počasia (rozloženia zrážok, teploty vzduchu a evapotranspirácie), hydrofyzikálnych vlastností pôd, dostupnosti živín, pestovanej plodiny a jej odrody, ako aj od úrovne hospodárenia na pôde. Simulované hodnoty produkčnej účinnosti



závlahy zodpovedajú hodnotám získaných z poľných pokusov pri optimálnom hnojení (Takáč, 2008a).

Produkčná účinnosť závlahy závisí aj množstva dodanej vody a závlahového režimu. Pri menšom množstve dodanej závlahovej vody je účinnosť závlahy vyššia (Tab. 5). Veľké množstvo závlahovej vody nemusí vytvoriť väčšiu úrodu. Nadbytočná závlaha môže viesť k zníženiu úrod. Sun *et al.* (2006) na základe trojročných výsledkov z poľných pokusov s ozimnou pšenicom zistili, že so zvyšujúcim sa množstvom dodanej závlahovej vody klesá účinnosť využitia vody. Podľa modelových výsledkov vodou limitovaných úrod ozimnej pšenice (Takáč, 1999) v niektorých rokoch jedna závlahová dávka postačovala na porovnateľné zvýšenie úrody ako viac závlahových dávok, rozhodujúci bol termín aplikácie závlahovej dávky.

**Tabuľka 5.** Medián dodanej závlahovej vody a produkčná účinnosť závlahovej vody [kg sušiny/m<sup>3</sup>] na černoze v oblasti Hurbanova

Závlaha	Jarný jačmeň		Ozimná pšenica		Kukurica	
	Závlahová dávka [mm]	Produkčná účinnosť [kg sušiny/m <sup>3</sup> ]	Závlahová dávka [mm]	Produkčná účinnosť [kg sušiny/m <sup>3</sup> ]	Závlahová dávka [mm]	Produkčná účinnosť [kg sušiny/m <sup>3</sup> ]
Plná	60	1.47	90	1.76	210	1.98
Redukovaná	45	1.59	60	3.00	90	2.43
Minimalizovaná	30	1.73	30	3.65	60	2.52

Efekt závlahy na úrody plodín závisí od rastovej fázy plodiny. Plodina reaguje v jednotlivých rastových fázach rozdielne na vodný stres. Produkčná účinnosť závlahy je teda ovplyvnená aj načasovaním závlahovej dávky. Rovnako nedostatok živín môže spôsobiť depresiu úrod. Potvrdzujú to aj výsledky získané z poľného stacionárneho pokusu (Takáč, 2008b).

### Záver

Podľa výsledkov simulácií modelom DAISY došlo v regióne Podunajskej nížiny v období 1991-2020 v porovnaní s obdobím 1961-1990 k zvýšeniu závlahovej potreby jarného jačmeňa, ozimnej pšenice a kukurice na zrno. K najvýraznejšiemu zvýšeniu závlahovej potreby došlo na juhozápade a na severovýchode Podunajskej nížiny. Naproti tomu, na juhovýchode Podunajskej nížiny bol pre obdobie 1991-2020 v porovnaní s obdobím 1961-1990 simulovaný menší nárast závlahovej potreby. Podľa výsledkov simulácií sa závlaha ukázala ako najúčinnjšia na černoze a hnedozemiach a to hlavne na juhozápade Podunajskej nížiny.

Zrážkové úhrny, resp. množstvo vody dodané do systému, nie je jediným rozhodujúcim faktorom determinujúcim účinnosť využitia vody plodinami. Ďalšími faktormi sú aj spôsob a termín zavlažovania, obsah živín v pôde, pôdne vlastnosti, vývoj počasia (rozdelenie zrážok v priebehu vegetačného obdobia, teplota vzduchu, evapotranspirácia, extrémne prejavy počasia), nároky plodín na vodu a živiny a ich interakcie. Pri nedostatku živín môže prísť k poklesu úrody závlahou.

### Podakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Udržateľné systémy inteligentného farmárstva zohľadňujúce výzvy

budúcnosti 313011W112, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

**Kontaktná adresa:** Jozef Takáč, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy, Trenčianska 55, 821 09 Bratislava, Slovensko, e-mail: jozef.takac@nppc.sk

## Literatúra

- Abrahamsen, P., Hansen, S. 2000. DAISY: An Open Soil, Crop, Atmosphere System Model. In *Environmental Modelling & Software*, vol. 15, 2000, No. 3, p. 313-330. ISSN 1364-8152.
- Hansen, S. 2000. *DAISY, a Flexible Soil - Plant - Atmosphere System Model*. Equation Section 1. Copenhagen: The Royal Veterinary and Agricultural University, 2000, p. 1–47. ISBN 87-503-8790-1.
- Kos, Z. 1970. Simulation Models of Water Supply for Irrigation in Water Resources Systems, *ICID Bulletin*, 19 (1), p. 7– 52.
- Kröbel, R., Sun, Q., Ingwersen, J., Chen, X., Zhang, F., Müller, T., Römheld, V. 2020. Modelling water dynamics with DNDC and DAISY in a soil of the North China Plain: A comparative study. In *Environmental Modelling & Software*, vol. 25, pp. 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.
- 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. In *Field Crops Research*, vol. 13, pp. 23–36. ISSN 0378-4290.
- Societas pedologica slovacica, VÚPOP 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Druhé revidované vydanie. NPPC-VUPOP Bratislava, p. 96. ISBN 978-80-8163-005-7.
- Sun, H.Y., Liu, C. M., Zhang, X.Y., Shen, Y.J., Zhang, Y.Q. 2006. Effects of Irrigation on Water Balance, Yield and WUE of Winter Wheat in the North China Plain. In *Agricultural Water Management* 85 (2006) 211 – 218.
- Takáč, J. 1994. Verifikácia modelu DAISY - Simulovanie úrod obilnín. *Vedecké práce VÚZH* č. 21, VÚZH Bratislava, s. 95-104.
- Takáč, J. 1996. Možné dôsledky klimatickej zmeny na bilanciu pôdnej vody a závlahové režimy. NKP SR, SHMÚ, VÚZH Bratislava, 25 s.
- Takáč, J. 1999. Modelovanie závlahových režimov ozimnej pšenice. In: *Hydromeliorácie Slovenska na prahu 21. storočia*. Zborník referátov z vedeckej konferencie. VÚMKI, Bratislava, s. 135-140.
- Takáč, J. 2008a. Produkčná účinnosť využitia vody poľnými plodinami – porovnanie výsledkov poľného pokusu a matematického modelu. 16th International *Poster Day. Transport of Water, Chemicals and Energy in the System Soil-Crop Canopy-Atmosphere*, ÚH SAV, GFÚ SAV, Bratislava, 541-550.
- Takáč, J. 2008b. Produkčná účinnosť závlahy – poľný stacionárny pokus. *Vedecké práce VÚPOP*, 30, Bratislava. ISBN 978-80-89128-51-8. 153-163.
- 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.
- Takáč, J., Šiška, B., Lapin, M. 2009. Dôsledky zmeny klímy na vlhkovú zabezpečenosť poľných plodín podľa scenárov SRES A2 a B1. *Vedecké práce VÚPOP*, 31, Bratislava. ISBN 978-80-89128-59-4. 187-200.
- Takáč, J., Zuzula, I. 2000. Adaptácia poľnohospodárstva v Slovenskej republike na klimatickú zmenu. NKP SR, V, 2000, zv. 9, Bratislava, s. 95 - 107.

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

Zostavili: Adamčíková Katarína, Golian Jozef

Grafická úprava: Semjon Boris

Autori: kolektív autorov

Vydavateľ: Slovenská spoločnosť pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV, online zborník vedeckých prác

Rok vydania: 2023

Počet strán: 208

Vydanie: prvé

Forma vydania: online

Materiál neprešiel jazykovou úpravou.  
Za obsahovú a jazykovú stránku zodpovedajú autori textu.

ISBN 978-80-974779-0-5



**Ústav  
ekológie  
lesa  
SAV**

ISBN 978-80-974779-0-5