



# ACTA AGRONOMICA ÓVÁRIENSIS



VOLUME 63.

KÜLÖNSZÁM

Mosonmagyaróvár  
2022







# ACTA AGRONOMICA ÓVÁRIENSIS



Mosonmagyaróvár

VOLUME 63.

KÜLÖNSZÁM

2022



**SZÉCHENYI ISTVÁN UNIVERSITY**  
Faculty of Agricultural and Food Sciences  
Mosonmagyaróvár  
Hungary

**SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM**  
Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar  
Mosonmagyaróvár

Közleményei

**Volume 63. Különszám**  
**Mosonmagyaróvár**  
**2022**

**Editorial Board/Szerkesztőbizottság**

Bali Papp Ágnes Jolán PhD	Ördög Vince DSc
Hanczné Dr Lakatos Erika PhD	Pinke Gyula DSc
Hegy Judit PhD	Reisinger Péter CSc
Kovács Attila József PhD	Salamon Lajos CSc
Kovácsné Gaál Katalin CSc	Szalka Éva PhD <i>Editor-in-chief</i>
Manninger Sándor CSc	Varga László DSc
Molnár Zoltán PhD	Varga-Haszonits Zoltán DSc
Nagy Frigyes PhD	Varga Zoltán PhD
Neményi Miklós MHAS	

**Reviewers of manuscripts/A kéziratok lektorai:**

Bakcsa Flórián, Giczi Zsolt, Hannus István, Hanzes Ľubomír, Jana Sádecká, Kalocsai Renátó, Koltai Gábor, Kuti Rajmund, Ligetvári Ferenc, Michaela Havrlentov, Molnár Judit, Sági András, Schmidt Rezső, Szakál Pál, Szakál Tamás

**Acknowledgement/Köszönetnyilvánítás:**

This publication has been supported by the Interreg V-A, SKHU/1802/3.1/023 Co-Innovation Program.

Ez a kiadvány az Interreg V-A Szlovákia-Magyarország Együttműködési Program SKHU/1802/3.1/023 támogatásával készült.

Acta Agronomica Óváriensis Vol. 63. Különszám

**Cover design/Borítóterv:** Andorka Zsolt © 2000  
Competitor-21 Kiadó Kft., Győr

**Address of editorial office/A szerkesztőség címe**  
H-9201 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.





## INVESTIGATION OF AN ION-EXCHANGED SYNTHETIC ZEOLITE WITH A COPPER TETRAMINE ION

TAMÁS SZAKÁL<sup>1</sup> - RENÁTÓ KALOCSAI<sup>1</sup> - ZSOLT GICZI<sup>1</sup> - REZSŐ SCHMIDT<sup>1</sup>-  
DÁVID VASAS<sup>1</sup> - KRISTÍNA KUKUROVÁ<sup>2</sup> - ANGELA SVĚTLÍKOVÁ<sup>2</sup>- MARTIN  
POLOVKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Széchenyi István University, Agricultural and Food Sciences, Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup>National Agricultural and Food Centre, Food Research Institute, Bratislava

### SUMMARY

Zeolite is one of the most versatile minerals on our planet. It can be found in our environment in a natural form, but it can already be produced artificially, thus increasing the versatility of its usability. Natural and artificial zeolites are widely used in industry and agriculture. It is used in agriculture in large quantities, that is for soil improvement, nutrient intake, feeding, deodorization. The significant ion exchange capacity further expands its field of application. It can be used in many forms in its natural form, though its real industrial value is given by its artificial shape, because with its regular shape, different pore sizes, it is possible to produce the most suitable type for the purpose by creating the most convenient form and pore size version for a variety of purposes. We used a derivatograph, X-ray diffraction, and electron microscopy to examine the zeolite. We examined the settling rate of the aqueous suspension of the synthesized zeolite and the copper-ion-exchanged synthesized zeolite and found that the settling rate of the suspension was low for both zeolite and copper-ion-exchanged zeolite. Based on the EDX recording of the Zeolone P4A type synthesized zeolite, it can be clearly seen that the Si:Al ratio in the zeolite is close to 1:1 (Si atom% = 10.16 and Al atom% = 11.81). Based on the recording, the EDX spectrum of the ion-exchanged zeolite shows that the ratio of Si:Al in the zeolite is approximately one, i.e. it is probable that no change in the lattice structure occurred due to ion exchange. It is clear from X-ray diffraction analysis that Cu

was not incorporated into the crystal lattice of the zeolite. It is clear from the scanning electron microscope that there was no change in size or shape with respect to the zeolite due to ion exchange.

**Keywords:** zeolite, ion exchange, derivatogram, X-ray diffraction

## LITERATURE REVIEW

Zeolites are found in natural or artificially produced (synthesis) forms. There are more than 60 types of zeolites in nature in volcanic or sedimentary media. The most common and most mined zeolites are chabazite, clinoptilolite, and mordenite. The number of synthesized zeolites artificially produced for different purposes is approx. 150, the most important of which are:

- **Zeolites** (high ion exchange capacity, **Si/Al** ratio = 1, pore size = 0.4 nm, eg. used in the detergent industry)
- **X zeolites** (**Si/Al** ratio = 1-1.5, pore size = 0.74 nm, for catalytic cracking)
- **Y zeolites** (**Si/Al** ratio  $\geq$  2.5, pore size = 0.74 nm, for catalytic cracking)

The widespread use of zeolites is enhanced by their ion exchange capacity, variable size channels, high stability, high melting point (above 1000 °C), insoluble in water and inorganic solvents (Breck, 1974; Moshoeshoe et al., 2017).

Zeolites are porous materials with high specific surface area, the pores of which can vary between 0.3 and 2.0 nm. The specific surface area ( $S = \text{m}^2/\text{g}$ ) can be calculated by the formula  $S = 2V_p/r$ , where  $V_p$  is the pore volume and  $r$  is the average pore radius.

According to their size, pores are usually divided into three groups. The pore size grouping of zeolites and zeolite-like materials is shown in *Table 1* (Nagy et al., 1998; Hannus, 2012).

*Table 1: Grouping of zeolites and zeolite-like materials based on their pore size (Hannus, 2012)*

pore size (nm)	materials	typical representative	number of ring members	pore diameter (nm)
50 <	macroporous			0.4-1.2
2-50	mesoporous	MCM-41		$1.5 \times 10$
2 >	microporous	Na-X		0.30-0.45
	ultra-large pores	clover	20	$0.6 \times 1.32$
		VPI-5	18	1.21
		AIPO <sub>4</sub> -8	14	$0.79 \times 0.87$
	large pores	faujasite	12	0.74
		AIPO <sub>4</sub> -5	12	0.73
		ZSM-12	12	$0.55 \times 0.59$
	medium pores	ZSM-48	10	$0.53 \times 0.56$
		ZSM-5	10	$0.53 \times 0.56$
				$0.51 \times 0.55$
small pores	CaA	8	0.42	
	SAPO-34	8	0.43	

Zeolites are three-dimensional, microporous, crystalline solids with a well-defined structure, containing aluminum, silicon, and oxygen as building blocks. The primary building blocks of zeolites, crystalline aluminosilicates, are composed of tetrahedra TO<sub>4</sub> (T = Si<sup>4+</sup>, Al<sup>3+</sup>), SiO<sub>4</sub>, and AlO<sub>4</sub> (*Figure 1*) (Flanigen *et al.*, 2012).



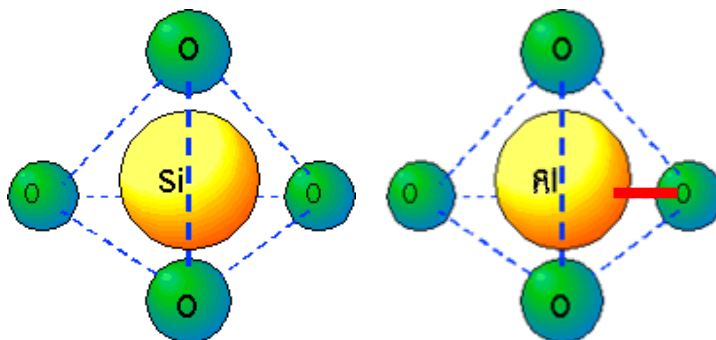


Figure 1:  $\text{SiO}_4$  and  $\text{AlO}_4$  tetrahedra of zeolite structure.

Possible ways of coupling tetrahedra became known in the early 20th century after X-ray diffraction studies made it possible to understand the crystal structure.

The tetrahedra are connected to each other through common oxygen atoms at the corners, resulting in 16 larger units, the so-called secondary building block may be created. The crystal structure of zeolite is formed from secondary building blocks, while molecular-sized channels and cavities are formed in one, two, or all three directions of space (*Meyer-Olson, 1996; Hannus, 2012; Kollár, 2012; Moshoeshoe et al., 2017*).

The 0.4-1.2 nm pores of the zeolites are micropores according to the IUPAC classification. When forming their three-dimensional backbone,  $\text{SiO}_4$  tetrahedra can be replaced isomorphically by  $\text{AlO}_4$  tetrahedra. Trivalent aluminium,  $\text{AlO}_4$ , has a negative charge in tetrahedra, and the skeletal structure is the carrier of the negative charge, which is neutralized by cations, primarily alkali metals and alkaline earth metals.

Zeolites are generally crystalline silicate or aluminosilicate materials with a regular microporous (<2 nm) structure. Zeolites with different structures are made up of the resulting structural units, building blocks, cages, for example, sodalite, zeolite A, faujasite zeolite are made up of sodalite cages (*Schwanke et al., 2018*). The amount of pores of different sizes determines the amount that can be bound with the copper tetramine cation.

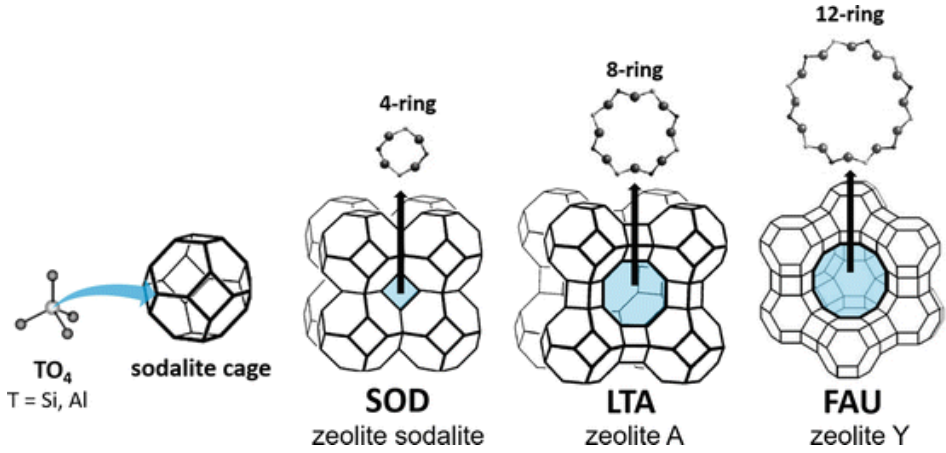


Figure 2: Structure of type A zeolite from sodalite unit (Schwanke *et al.*, 2018).

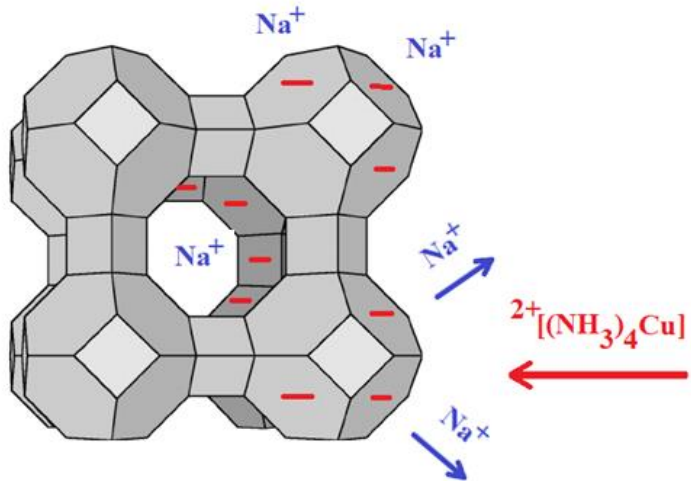
The main characteristic properties of different zeolites, the Si:Al ratio and the pore size are shown in the following, Figure 2 (Schwanke *et al.*, 2018). The figure illustrates the molecules that can be bound in the pores of different zeolites and crystalline oxides based on their size (Ramsay and Kallus, 2000).

Table 2: Structural characteristics and properties of different types of zeolites (Ramsay and Kallus, 2000).

Zeolite type	Structural Formula	[Si]/[Al]	Window Dimension / Å
Silicalite 1	$\} Na_n[Si_{96-n}Al_nO_{192}] 16 H_2O$	$\infty$	52 * 5.7
ZSM-5		10-1000	
Zeolite A	$Na_{12}[Si_{12}Al_{12}O_{48}] 27 H_2O$	1 (1.2 - 3.7)	4.1
Zeolite X	$\} Na_{96-x}[Si_{96+x}Al_{96-x}O_{384}] 240 H_2O$	1 - 1.5	7.4
Zeolite Y		$\geq 2.5$	7.4
Clathrasils	e.g. Sodalite; Dodecasil	1 - $\infty$	2.2 - 2.8

Cu atom radius = 135 pm

Channel diameter = 0.4 nm (400 pm)



N atom radius = 65 pm

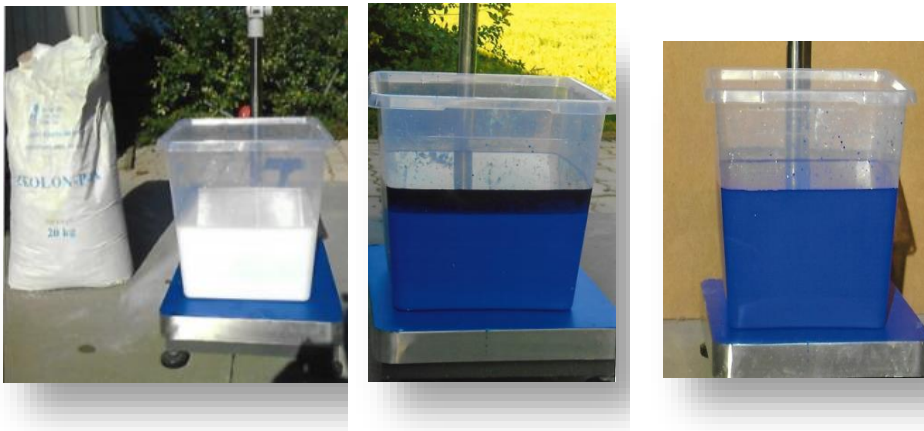
H atom radius = 25 pm

Figure 3: Ion exchange on the surface, size of atoms involved in the exchange

**MATERIALS AND METHODS**

***Preparation of copper-tetramine-ion-exchanged synthesized zeolite***

During the preparation of the ion-exchanged zeolite, ion exchange with copper tetramine sulfate was performed on a domestically produced Zeolon P4 zeolite of NaA type. A 10 wt% aqueous suspension of the synthesized zeolite was prepared. To the zeolite suspension thus prepared, a solution of copper tetramine sulfate (12% by weight for copper) was added with stirring. Copper tetramine sulfate is used in agriculture in large quantities to improve the yield and quality of wheat *Giczi et al. (2020), Szakál (2018)*. Based on the preliminary tests performed, a 100% excess of copper tetramine sulfate required for ion exchange was introduced. After stirring for 2 hours, the suspension was allowed to settle and the decantation was carried out with distilled water until the excess copper complex became detectable. The resulting suspension was dried at 30 °C and its powdered sample was examined for copper and nitrogen content, thermal stability, and structure. Instruments used in the tests: ICP, derivatograph (thermal stability test), X-ray diffraction (structure test).



water + zeolite, suspension

copper tetramine sulfate + zeolite

deionized zeolite, suspension

*Figure 4.:* Ion exchange on Zeolone P4 type zeolite with copper tetramine sulfate, self-photograph



Figure 5.: Ion-exchanged zeolite with powdered copper-amine-complex ion, (self-photograph)

#### ***Derivatographic analysis of Zeolone P4A type synthesized zeolite***

During the thermoanalytical analysis with a derivatograph, the physical and chemical changes in the material under the influence of heat during the heating of the sample can be examined. The change in enthalpy (TA; DTA) or the change in weight (TG; DTG) can be measured in terms of the properties of the test substance that are affected by the change. Thermal testing is an indirect procedure, which should be supplemented with a direct procedure, e.g. XRD method. The Q-1500 D MOM system derivatograph was performed at the *Institute of Materials Engineering of the University of Pannonia*.

The thermal stability of copper tetramine sulfate and copper tetramine ion-exchanged zeolite was examined by derivatography.

We considered it necessary to investigate whether the structure of the zeolite changes due to the ion exchange of the copper-tetramine cation. In order to monitor it, it is necessary to compare it with the derivatogram of the synthesized zeolite used for ion exchange. The negative sites of the tested Zeolon P4A type zeolite are bound by  $\text{Na}^+$  cations. The changes of Zeolon P4A type zeolite with increasing temperature are shown by the TG, DTG, and DTA curves.

**Energy-dispersive X-ray analysis (EDX) and X-ray diffraction (XRD) studies*****EDX study of copper ion-exchanged synthesized zeolite***

Based on the EDX recording, we get a reliable picture of the process and extent of ion exchange. It can be used to read the ratio of Al and Si forming the crystal structure, from which we can deduce the possible structural change.

Both EDX and XRD studies were performed at the Institute of Materials Science of the University of Pannonia.

***X-ray diffraction study***

Qualitative phase analytical studies were performed on Cu-tetramine, zeolite, and Cu-zeolite samples. The three different XRD recordings can be displayed in one figure. Thus, a comparative study can take place. The obtained result can be used to determine whether Cu is incorporated into the crystal lattice of the zeolite.

**Scanning electron microscope energy dispersive X-ray analyzer (SEM-EDX) recording, analysis****SEM (Scanning Electron Microscope)**

The surface of the substance to be examined is examined with a scanning electron microscope. During SEM testing, secondary electrons are recorded and evaluated from the sample. The sensed signals provide information on the surface properties, morphology, chemical composition, and crystal structure of the sample materials.

The zeolite and the copper amine-ion-exchanged synthesized zeolite were examined with a PHILIPS XL 30 ESEM scanning electron microscope. The morphological analysis was performed in a vacuum, based on the detection of secondary electrons and backscattered electrons at the Institute of Materials Science of the University of Pannonia.

**RESULTS AND EVALUATIONS*****Sedimentation test***

The settling rate of the aqueous suspension of synthesized zeolite and copper-ion-exchanged synthesized zeolite was investigated (Figure 6). It can be clearly seen from the

figure that for both zeolite and copper ion-exchanged zeolite, the settling rate of the suspension is low. In both cases, the rate of separation and settling was examined for a 10 m% solution of the suspension. It can be applied to the surface of the plant with the sprayers in use. Application is recommended using a circulating pump sprayer.

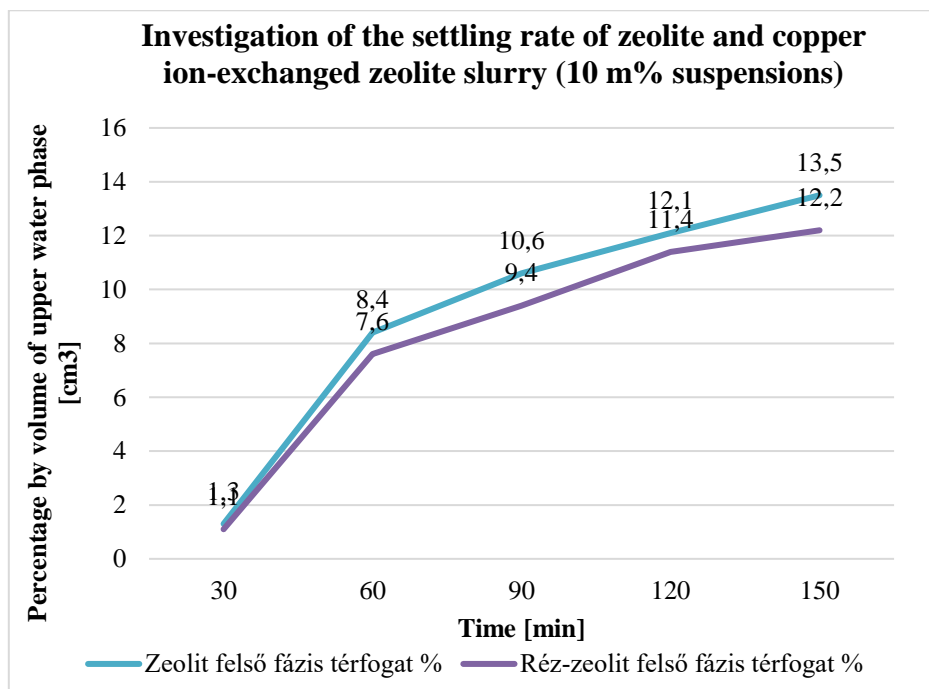


Figure 6: Investigation of the deposition rate of zeolite and copper ion-exchanged synthesized zeolite. (Blue line: zeolite, upper phase volume % and purple line: copper zeolite upper phase volume %)

### *Derivatographic studies*

Based on the TG curve, the water present in the various bonds is present in the channels of the zeolite as well as on the surface with high adsorption capacity: The release of water cannot be linked to a specific temperature, but takes place in a temperature range of up to approximately 400 °C, the measured amount of which was 20.3 m%. The maximum of the endothermic, prolonged water release was 218.3 °C according to the DTA curve and 197.2 °C based on the DTG curve. Upon further heating, the DTA curve shows an exothermic reaction at 858.8 °C, which means a weight loss of 2.3 m% based on the DTG

curve (it can be assumed that it can be related to the excess sodium ions remaining in the channels).

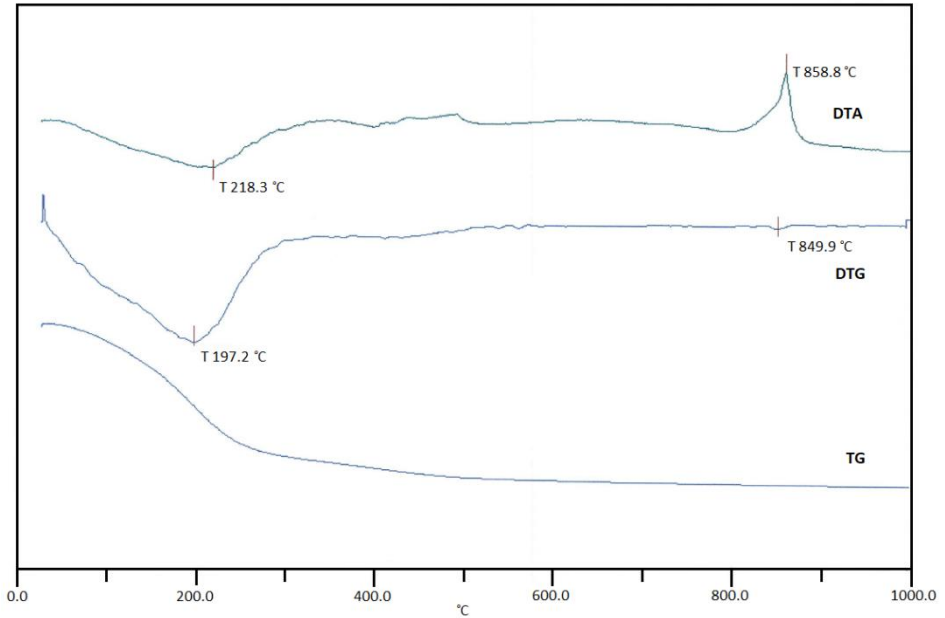


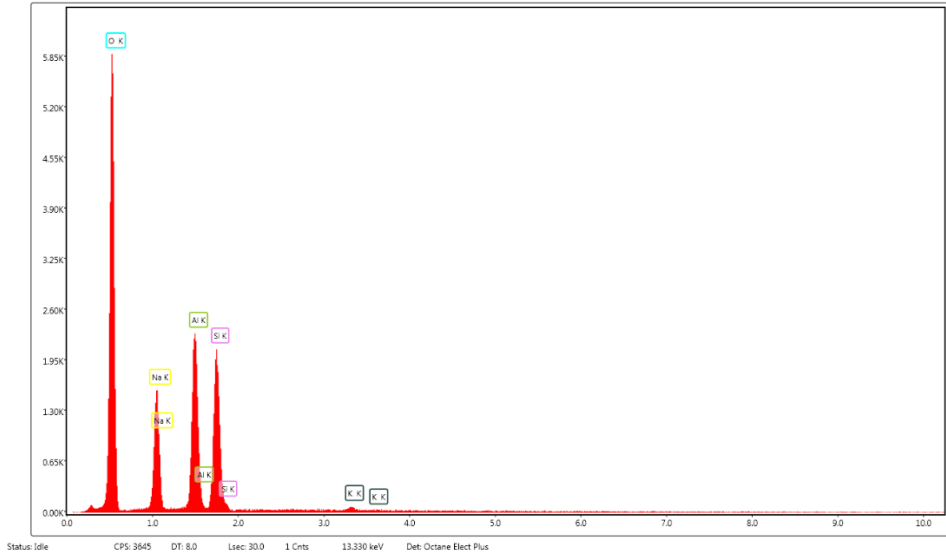
Figure 7: Derivatogram of Zeolone P4A type synthesized zeolite Szakál et al. (2021)

*Summary: The water bound in the synthesized zeolite in various forms is gradually released up to 400 °C, most of the water is reversibly bound.*

***EDX analysis of copper ion-exchanged synthesized zeolite***

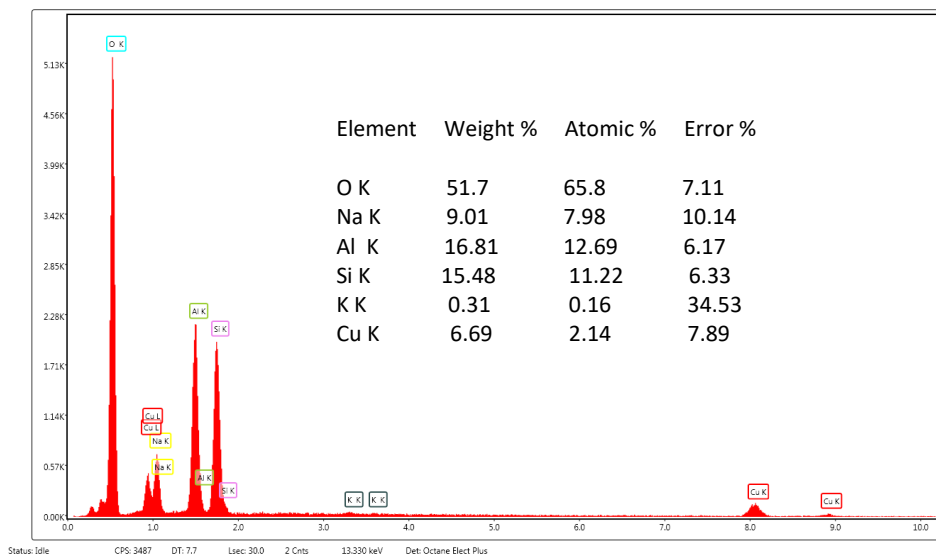
Based on the EDX recording, we get a reliable picture of the process and extent of ion exchange.





*Figure 8:* EDX spectrum of Zeolone P4A synthesized zeolite

The EDX spectrum of Zeolone type P4A synthesized zeolite is shown in *Figure 8*. It can be clearly seen from the EDX recording that the Si:Al ratio in the zeolite is close to 1:1 (Si atom% = 10.16 and Al atom% = 11.81). Sodium at anionic sites (which is interchangeable) gives 16.52 m% and 14.05 percent of the atoms involved in the zeolite.

***EDX study of copper ion-exchanged synthesized zeolite***

**Figure 9:** EDX spectrum of zeolite exchanged with copper tetramine sulfate

*Based on the recording, the EDX spectrum of the ion-exchanged zeolite shows that the ratio of Si:Al in the zeolite is approximately one, i.e. it is probable that no change in the lattice structure occurred due to ion exchange. This assumption is supported by X-ray diffraction phase analysis.*

***Scanning electron microscope energy dispersive X-ray analyser (SEM-EDX) recording, analysis***

SEM analysis (*Figure 10*) showed that the Cu distribution in the zeolite was completely homogeneous. There are no local enrichments in the zeolite, copper is not located in the zeolite channels. There is no apparent difference in the morphology of the individual particles, which also suggests that Cu is not incorporated into the lattice structure of the zeolite. It can be clearly seen from the images that the particle size of the zeolites is below 5  $\mu\text{m}$ , which well shows that there was no change in size or shape due to ion exchange.

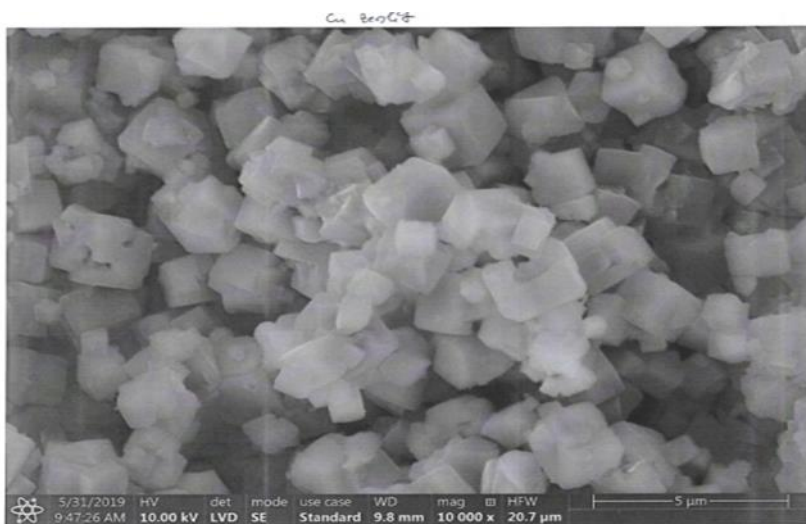


Figure 10: Shape and size of the synthesized zeolite Szakál et al. (2021)

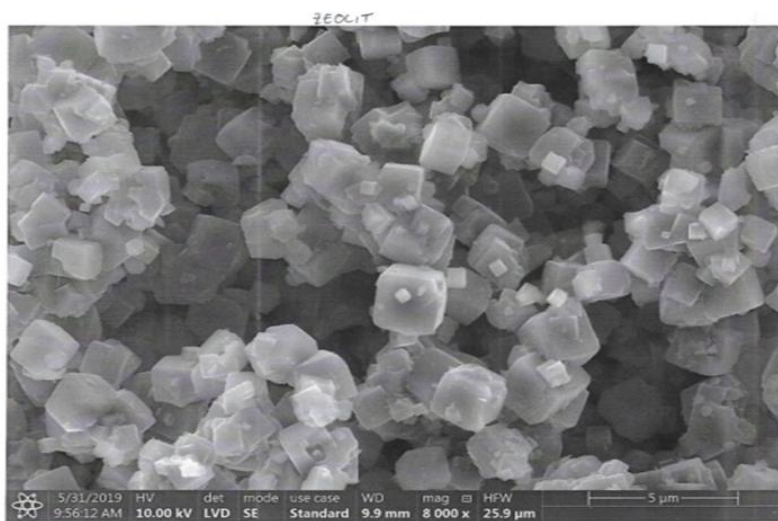


Figure 11: Shape and size of copper-tetramine-ion-exchanged zeolite particles Szakál et al. (2021)

---

## RÉZ-TETRAMIN IONNAL IONCSERÉLT SZINTETIKUS ZEOLIT VIZSGÁLATA

SZAKÁL TAMÁS<sup>1</sup> - KALOCSAI RENÁTÓ<sup>1</sup> - GICZI ZSOLT<sup>1</sup> - SCHMIDT REZSŐ<sup>1</sup> -  
VASAS DÁVID<sup>1</sup> - KUKUROVÁ KRISTÍNA<sup>2</sup> - SVĚTLÍKOVÁ ANGELA<sup>2</sup> -  
POLOVKA MARTIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság -és Élelmiszer-tudományi Kar,  
Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup> National Agricultural and Food Centre, Food Research Institute, Bratislava

### ÖSSZEFOGLALÁS

A zeolit az egyik legsokoldalúbban felhasználható ásvány bolygónkon. Megtalálható környezetünkben természetes formában, de már mesterségesen is elő tudják állítani, ezzel is növelve felhasználhatóságának sokoldalúságát. A természetes és mesterséges zeolitokat az iparban és a mezőgazdaságban széleskörűen használják. A mezőgazdaságban nagy mennyiségben használják, így talajjavításra, tápanyag bevitelre, takarmányozásra, szagtalanításra. A jelentős mértékű ioncsere kapacitása a felhasználási területét tovább bővíti. Természetes formában is sok mindenre felhasználható, de igazi ipari értékét a mesterséges formája adja, mert szabályos alakjával, különböző pórusméretű alakjával a különféle célra a legkedvezőbb formájú, pórusméretű változat előállításával a célnak legmegfelelőbb típust lehet gyártani. A zeolit vizsgálatára derivatográfot, röntgendiffrakciós vizsgálatot és elektronmikroszkópot használtam. Megvizsgáltuk a szintetizált zeolit és a rézzel-ioncsereált szintetizált zeolit vizes szuszpenziójának ülepedési sebességét, megállapítottam, hogy mind a zeolit és a réz-ioncsereált zeolit estében a szuszpenzió ülepedési sebessége kicsi. A zeolon P4A típusú szintetizált zeolit EDX felvétele alapján jól látható, hogy a zeolitban a Si : Al aránya közel 1:1 (Si atom %= 10,16 az Al atom%= 11,81). Az ioncsereált zeolit EDX spektruma segítségével megállapítható, hogy a zeolitban lévő Si:Al aránya megközelítően egy, vagyis valószínűsíthető, hogy az ioncsere folytán a rácsszerkezetben nem történt változás. A röntgendiffrakciós vizsgálat alapján egyértelmű, hogy a Cu nem épült be a zeolit kristályrácsába. a pásztázó elektronmikroszkóp felvételén jól látszik, hogy a zeolit tekintetében az ioncsere folytán sem a méretben, sem az alakban nem történt változás.

**Kulcsszavak:** zeolit, ioncsere, derivatogram, röntgendiffrakció

## ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by the Interreg V-A, SKHU/1802/3.1/023 Co-Innovation Program.

## REFERENCES

- Breck, D. W.* (1974) Zeolite molecular sieves, John Wiley, London.
- Flanigen, E. M. - Robert W. - Broach, R. W. - Wilson, S. T.* (2010): Zeolites in Industrial Separation and Catalysis. Edited by Santi Kulprathipanja Copyright WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 978-3-527-32505-4
- Giczi, Zs. - Kalocsai, R. - Vona, V. - Szakál, T. - Teschner, G. ; Lakatos, E.* (2020): Részkezelések hatása őszi búza (*Triticum aestivum L.*) hozamára és nyersfehérje tartalmára. *Acta Agronomica Óváriensis* 61 : 1 pp. 23-32.
- Hannus, I.* (2012): Zeolitok, mint adszorbensek és szárító anyagok, Szegedi Tudományegyetem
- Kádár, I.* (2015): Összefüggések a talaj termékenysége és a tápanyag-ellátottsága között, MTA TAKI.
- Kollár, M.* (2011): Hierarchikus pórusrendszerű MCM-22 zeolit katalizátorok előállítás, fizikai-kémiai és katalitikus tulajdonságai, PhD értekezés. Szeged.
- Meyer, W. M. - Olson, D. H.* (1996): Atlas of Zeolite Structure, Types. Structure Commission of the International Zeolite Association, 4th revised edition, Elsevier, London, 1996. p 5-14
- Moshoeshoe, M. – Nadiye -Tabbiruka, M. S. - Obuseng, V.* (2017): A Review of the Chemistry, Structure, Properties and Applications of Zeolites, *American Journal of Materials Science*. 7(5): 196-221.
- Nagy, J. – Bodart, P. – Hannus I. – Kiricsi I.* (1998): Synthesis, Characterization and Use of Zeolitic Microporous Materials. DecaGen Ltd., Szeged, Hungary
- Ramsay J. D. F.- Kallus, S.* (2000): Recent Advances in Gas Separation by Microporous Ceramic Membranes, in *Membrane Science and Technology*

*Schwanke, A. J.- Balzer, R. - Pergher, S. (2018): Degradation of Volatile Organic Compounds with Catalysts-Containing Zeolite and Ordered Mesoporous Silica, Springer International Publishing A G L.M.T. Martínez et al. (eds.), Handbook of Ecomaterials, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1\\_71-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_71-1).*

*Szakál, T. (2018): Réz-tartalmú mikroelektronikai hulladékból előállított réz-ioncserélt zeolit mezőgazdasági felhasználása. In: Szalka, Éva (szerk.) XXXVII. Óvári Tudományos Napok, 2018. november 9-10.: Fenntartható agrárium és környezet, az Óvári Akadémia 200 éve - múlt, jelen, jövő. Mosonmagyaróvár, Magyarország: VEAB Agrártudományi Szakbizottság, Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar 482 p. pp. 448-454.*

*Szakál, T. - Szüle, B. - Kalocsai, R. – Korim, T. - Szalka, É. - Tóth, E. - Szakál, P. (2021): Ion exchange with copper-tetraamine on NaA (LTA) type synthesised zeolite, Nova Biotechnologica et Chimica 20: 1 Paper: 886, 10 p.*

*A szerzők levélcíme – Adress of the authors:*

Szakál Tamás

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: thomas.szakal@gmail.com, kalocsai.renato@sze.hu, giczi.zsolt@sze.hu,  
schmidt.rezso@sze.hu, vasas.david@sze.hu

Kalocsai Renátó

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: kalocsai.renato@sze.hu

Giczi Zsolt

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: giczi.zsolt@sze.hu

Schmidt Rezső

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: schmidt.rezso@sze.hu

Vasas Dávid

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: vasas.david@sze.hu

Kristína Kukurová

National Agricultural and Food Centre, Food Research Institute, Department of  
Chemistry and Food Analysis, Bratislava

e-mail: kristina.kukurova@nppc.sk

Světlíková Angela

National Agricultural and Food Centre, Food Research Institute, Department of  
Chemistry and Food Analysis, Bratislava

e-mail: angela.svetlikova@nppc.sk

Martin Polovka

National Agricultural and Food Centre, Food Research Institute, Bratislava

e-mail: martin.polovka@nppc.sk



## EFFECT OF THE COPPER-SUCROSE COMPLEX FROM COPPER-CONTAINING WASTE ON YIELD AND QUALITY OF WINTER WHEAT

TAMÁS SZAKÁL<sup>1</sup> - ÉVA SZALKA<sup>1</sup> - ZSOLT GICZI<sup>1</sup> - DÁVID VASAS<sup>1</sup> -  
ANGELA SVĚTLÍKOVÁ<sup>2</sup> - KRISTÍNA KUKUROVÁ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Széchenyi István University, Agricultural and Food Sciences, Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup>National Agricultural and Food Centre, Food Research Institute, Bratislava

### SUMMARY

Copper microelements, copper-containing enzymes, play a very important role in plant biochemical processes. Some of the soils in Hungary are deficient in copper. Wheat is sensitive to copper deficiency, so an adequate supply of copper to the wheat plant must be ensured to ensure yield and quality. A copper-sucrose complex was prepared from copper-containing waste with acidic pH. We performed foliar fertilization experiments with the prepared copper-sucrose complex compound on winter wheat in the area of Komáromi Solum Zrt. In small plot experiments, the copper complex was used in bush and flowering treatments. The doses used were 0.1; 0.3; 0.5; 1.0; and 2.0 kg/ha. As a result of the copper-complex treatments, an increase in yield, crude protein, and gluten content was achieved.

**Keywords:** copper, winter wheat, yield, crude protein, gluten

### INTRODUCTION AND LITERATURE REVIEW

The population of the land will continue to grow in the 21st century, reaching 9.8 billion by 2050, according to CSO data. The quantitative and qualitative food supply of a growing population poses increasing challenges to global agricultural production. The problem of quantitative and qualitative food production is exacerbated by the decline of arable land (growing industrial and residential areas), the deterioration of arable land



(acidification of soils, reduction of humus, macro and microelement content), and extreme weather conditions (drought damage).

In the course of agricultural production, there has been a need to produce ever-larger quantities and qualitatively better products from a given area in an environmentally friendly way. Achieving these goals can be achieved primarily by increasing soil fertility and ensuring an adequate supply of nutrients to the cultivated plant *Szakal (2003), Szakal (2018)*. Our knowledge is not yet sufficient to ensure the optimal supply of nutrients to plants. Based on our current knowledge, we cannot determine the specific nutrient uptake of each plant species, as well as the ability of the changing soil types to provide nutrients, so it still seems an illusion to purposefully replenish nutrients. In addition to unilateral N, P, K fertilization, we have recently begun to pay more attention to essential microelements, which play a very important role in plant nutrition.

Due to the intensive crop production, large-scale animal husbandry, the modern processing industry, and the urbanization affecting an increasing area, most of the microelements extracted from the soils cannot be recovered. The micronutrient content of the soils shows a further decrease with leaching (irrigation, acid rain). Copper deficiency is evident in a significant area of Hungary's soils. The lack of copper causes a decrease in quantitative and qualitative parameters of one of the most important crops in Hungary, winter wheat. For the reasons described, we need to pay special attention to the replacement of the microelements. The plant absorbs the most nutrients from the soil through the root and then transports them from there to parts of the plant while providing the conditions necessary for its development. Another way to absorb nutrients is to deliver the nutrients needed by the plant through the foliage *Szakal (2007)*.

Replenishment through the soil is hampered by the fact that it requires the application of larger quantities. The high price of our dwindling mineral resources further hampers the possibility of replenishment. An additional problem is that different plant crops have different optimal nutrient requirements. Based on the results of soil testing, the replacement of microelements through the soil can be attempted, but the changing needs of plants can be significantly improved by the replenishment of nutrients through the foliage. It is important not to make the nutrient replenishment based on the soil composition measured in the top layer of the soil, but on the soil composition examined at the appropriate depth of the root zone. Various salts of metals are mainly used to replace micronutrients through the soil. Metal salts or complex compounds of metals can be used

to replenish plants through the foliage. The metal salts that can be used, especially sulfates, nitrates, and chlorides, can only be used in small amounts and few crops due to their strong scorching effect. Various complexes of metals are used to eliminate this adverse effect and to ensure better nutrient uptake. (*Szakál et al.* 2021) Nutrient uptake is determined by the stability of the complex compound (low stability can disintegrate quickly, high stability cannot release the microelement), ligand, size, and thermal stability. Another important criterion for compounds used as foliar fertilizers is good adhesion and retardation.

Winter wheat (*Triticum aestivum L.*) In Hungary, maize is the largest crop grown in the area. It is also of great importance in terms of food and nutrition in the world. We also need to pay more and more attention to their quality parameters so we can maintain our ability to export. In recent years, they have been gradually looking for higher-quality wheat. The most significant cause of the deterioration of quality parameters is the deficient supply of nutrients, so there may be a lack of microelements.

Béla Keresztyén, a former lecturer at the Faculty of Mosonmagyaróvár, carried out nationally decisive and pioneering work in recognizing and researching the important role of microelements in plant production. Micronutrient research at the faculty has been conducted ever since. During the research carried out in the department, various compounds and complexes of copper are produced and their effects are investigated in different crops, with the development of a circular economy, which is also emphasized by the EU. There are several compounds prepared in the department that have not been used in agriculture so far *Szakál* (2021), *Szakál* (2012).

## **ESSENTIAL ELEMENT**

The existence of life on Earth can be estimated at some 3.5 billion years. The result of the living and inanimate interaction is the creation of the biosphere. In plants, almost all of the chemical elements in the earth's crust are found, not all of which are essential for plant development. The criterion of essentiality was first formulated by *Arnon and Stot* (1939):

- they cannot be replaced by other elements
- in their absence, the life process of the plant is impeded
- upon administration, the deficiency symptom disappears

- they play a special role in a physiological, biochemical process

17 elements have been proven to be essential in nature. Of these, 8 elements are considered to be microelements, which occur in less than 100 mg/kg in the plant, while the amount of macroelements is greater than 1000 mg/kg (Ördög-Molnár, 2011). The essential plant nutrients and their discovery are shown in *Table 1*:

Table 1: Essential elements (Glass, 1989; Marschner, 1995; Taiz-Ziegler, 2002; Kádár, 2007)

*Table 1: Essential elements (Glass, 1989; Marschner, 1995; Taiz-Ziegler, 2002; Kádár, 2007)*

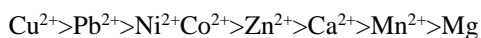
Element	Discoverer	Year of discovery	Proof of essentiality	Year of proof
C	Known since ancient times	?	De Saussure	1804
H	Cavendish	1766	De Saussure	1804
O	Priestley	1774	De Saussure	1804
N	Scheele and Rutherford	1772	De Saussure	1804
P	Brand	1669	Ville	1860
S	Known since ancient times	?	von Sachs, Knop	1860
K	Davy	1807	Lucanus	1865
Ca	Davy	1808	F. Salm Horstmar	1856
Mg	Davy	1808	Wilstatter	1906
Fe	Known since ancient times	?	von Sachs, Knop	1860
Mn	Scheele	1774	Mc Hargue	1922
C	Known since ancient times	?	Sommer (Lipman-McKinnon)	1931
Zn	Known since ancient times	?	Sommer and Lipman	1926
Mo	Hzeltm	1782	Arnon and Stout	1939
B	Gay-Lussac, Thernard	1808	K. Warington	1933
Ni	Known since ancient times, <u>Axel Fredrik Cronstedt</u>	1751	P. H. Brown et al.	1987
Cl	Scheeche	1774	Arnon and Whatley	1949

## COPPER IN THE SOIL

During the weathering of the rocks that make up the soil, the released copper provides the uptake of copper to the plants. In addition to the soil-forming rock, the available

copper content of the soils is also largely determined by the organic matter content and composition of the soil. The average copper content of the earth's crust is approx. 55 mg/kg (*Mortwedt et al.*, 1972). The total copper content of soils varies widely. If the amount of organic matter exceeds 5-10%, this will lead to a reduction in microelements. The lack of copper as a trace element that can be taken up by peat can be partly explained by this (*Kádár*, 2007). According to *Owen* (1985), the copper content of soils is between 2 and 660 mg kg<sup>-1</sup>. Based on the average of data collected worldwide, *Kabata-Pendias* (2001) gave a copper content of 14mg kg<sup>-1</sup>. The copper content of agricultural soils is between 1-150 mg kg<sup>-1</sup>, of which 0.1-10 mg kg<sup>-1</sup> can be easily absorbed by the plant (*Adriano*, 1986; *Kádár*, 2007). Based on the data reported by *Stefanovits and his associates* (1999), the copper content of Hungarian soils is 1-191mg kg<sup>-1</sup>, of which the mobile form is 1-2%. The upper ploughed layer of soils contains 12-102 kg of copper per hectare (*Győri*, 1987; *Baranyai et al.*, 1987).

Most of the copper is found in the form of bivalent ions, bound to an inorganic or organic adsorption surface, or in a complex form in the soil. The copper content of the soil solution is small, only 0.01 mg kg<sup>-1</sup>. The adsorption energy of the microelements bound on the clay mineral determines the uptake of the microelement. The adsorption energy of cations bound to soil colloids decreases as follows:



$\text{Cu}^{2+}$  binds most strongly, with low mobility in soil, so it is understandable that uptake by plants from soil is unfavourable (*Mitchel*, 1955; *Szakál*, 1993; *Kirkby* 2005). According to *Marschner* (1995), the presence of copper deficiency should be taken into account in soils with high pH, high clay content, high lime content, and low temperature. Copper content generally decreases going down from the surface of the soil (*Giczi et al.*, 2020). The ionic copper applied to the soil is already bound in the upper layers in the clay fractions.

The adsorption of the copper cation on the surface of soil colloids depends on the density of the negative charges. Negative charges can be constant (permanent, non-pH dependent) and variable (pH-dependent) (*Ioannou et al.*, 2005). Almost 25% of the soils of Hungary (2.2 million hectares) are acidic, where copper deficiency does not occur in all cases (due to acidic conditions, the dissolution or leaching of most microelements is more significant), but the mobility and uptake of copper microelements are significant due to liming, which may have an adverse effect on plant nutrition (*Marschner*, 1995).

Of all the divalent ions, the divalent copper ion binds most strongly to the soil organic matter. It binds ligands in copper complexes in the order  $S > N > O$ . Because soils contain nitrogen in the highest amount of these three elements, nitrogen is the major participant in chelation (Mengel *et al.*, 2001). In soils with a low supply of copper, the copper content of the plants decreases as a result of increasing nitrogen fertilization, and there is an apparent  $N \times Cu$  antagonism. In the absence of copper, nitrogen uptake can also be inhibited. The crop will be copper-deficient, which can result in deterioration in quantity and quality. In well-supplied soils made of copper, or as a result of copper treatment with nitrogen uptake, copper uptake will also increase ( $N \times Cu$  synergism). According to Benton Jones's studies, soils with high pH and high organic matter content are more prone to copper deficiency in plants (Benton, 2012).

Soils in Hungary are characterized by annual copper loss. The amount of extracted copper increases every year due to intensive crop production, urbanization, large-scale processing, soil acidification, etc. The source of intake can be from the lithosphere and hydrosphere, plant nutrition, plant protection (Bowen, 1985; Kádár, 2007; Kabata-Pendiás, 2011). According to FAO studies covering 30 countries, the mobile copper content of Hungarian soils is low in comparison with other countries (Sillanpää, 1982). Copper deficiency can be detected in 10-13% of our soils. It is the soils with good fertility that are more characterized by the lack of agile, absorbable copper. Copper deficiency can be detected in 23% of Békés counties, 17% in Szabolcs-Szatmár county, 10-13% in Fejér, Győr-Moson-Sopron and Tolna counties (Fekete-Patócs, 1986). Recognizing the importance of filling in the gaps, fertilizer companies are increasingly distributing copper-containing fertilizers. According to the Cu fertilization guidelines formulated by Kádár (2005), the P-supply, pH, soil binding, and humus content of the soil are decisive on Hungary.

## THE ROLE OF COPPER IN ENZYME ACTIVITY

In the early 1800s, the copper element was detected in the ashes of plants and was thought to play a role in living organisms. Then, in 1847 Harless showed that it was bound to copper protein in the blood of snails. Keilin-Hartree (1938) demonstrated in their studies that cytochrome oxidase consists of protein-bound copper (Lass, 1950; Weser,

1973). In living organisms, copper occurs mainly in the form of copper protein. The study of the biological effects of copper has accelerated since the 1950s.

We know several metal ions that undergo significant biochemical processes in living cells. The role of metal ions is that their positive charge can contact negative or electron-rich portions of protein molecules in a living organism. According to *Yamashita* (1990), metal ions readily contact hydrophilic groups (oxygen, nitrogen, sulfur).

Protein-bound metal ions and metalloenzymes act as biological catalysts. Of the more than 2,000 enzymes known to date, more than 500 contain metal ions that can bind to proteins as follows (*Szakál*, 1993; *Szilágyi*, 2006):

- metalloenzymes: metal ions are strongly attached to the side chains of amino acids, thus becoming structural
- enzyme activator: the metal ion is not structural, but its presence is necessary for the formation of enzyme activity

Copper is the most studied essential element after iron. Based on their physicochemical behavior, active copper proteins were classified into three main types.

Copper ions react more actively with amino acids and proteins than other metal ions to form a more stable complex. Copper-containing metalloenzymes catalyse important reactions in biochemical processes. Known enzymes catalyse more than 5,000 biochemical processes.

## **MATERIALS AND METHODS**

To implement circular agriculture, our research aimed to produce a complex compound from copper-containing wastes that can be used as a foliar fertilizer to meet the copper needs of the plants.

A copper-sucrose complex was used in our winter wheat leaf treatment experiments. The copper-sucrose complex was prepared from potassium hydroxide, sucrose, urea, and ammonium hydroxide from acidic pH copper sulfate generated during industrial activities.

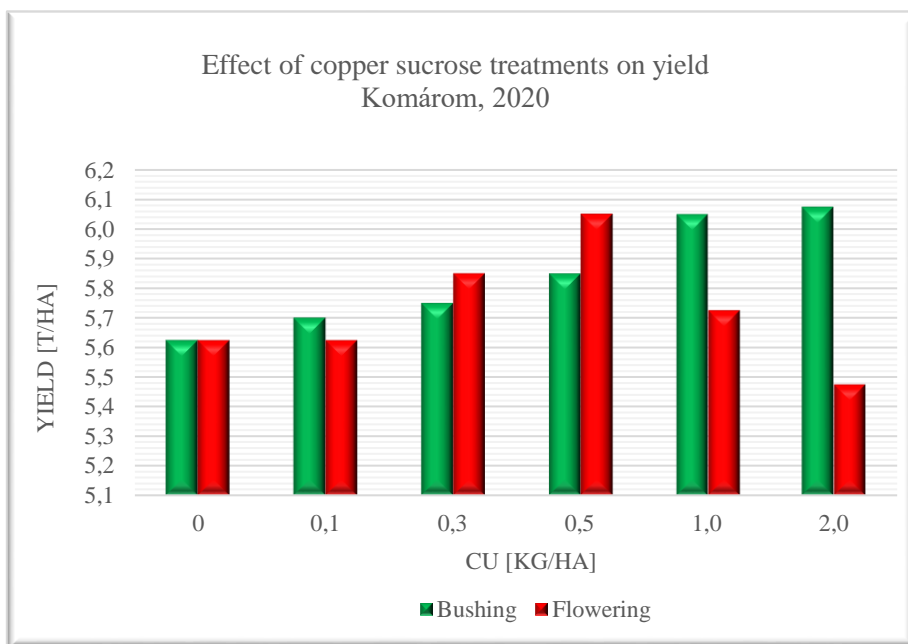
The small plot experiments for winter wheat were set up in Komárom on the territory of Solum Zrt. in 2020. The experiments were performed in four replicates in a randomized block arrangement. The treatments were carried out in the phenological phase during bushing and flowering with copper doses of 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, and 2.0 kg/ha. At harvest,

we measured the yield of the plots and the crude protein and gluten content of the harvested samples.

## RESULTS AND THEIR EVALUATION

### *Yield analysis:*

The harvested quantities of bush and flowering treatments are shown in *Figure 1*. The most significant increase in yield was due to bush treatment. As a result of the treatments, a gradual increase in yields was detected. The most significant increase was obtained at the 2.0 kg/ha copper dose. The increase in yield was also observed in the flowering treatment, but at doses higher than 0.5 kg/ha the yields decreased, and the phytotoxic effect of copper was noticeable. Treatments during bushing and flowering were not significant.



*Figure 1:* Effect of copper-sucrose complex treatments on autumn wheat yield, Komárom 2020

### Crude protein test

As a result of the copper treatments during bushing, the crude protein content increased significantly with the copper dose higher than 0.3 kg/ha, the largest increase was obtained at the copper content of 1.0 kg/ha (Figure 2). At the 2.0 kg/ha copper dose, a decrease was already observed. As a result of flowering treatments, a significant increase in crude protein content was detected compared to the control. The maximum crude protein content was obtained at a copper dose of 1.0 kg/ha. Flowering treatments significantly increased crude protein content than bush treatments. A significant difference compared to control was found at 5%,  $SzD5\% = 0.4982$ .

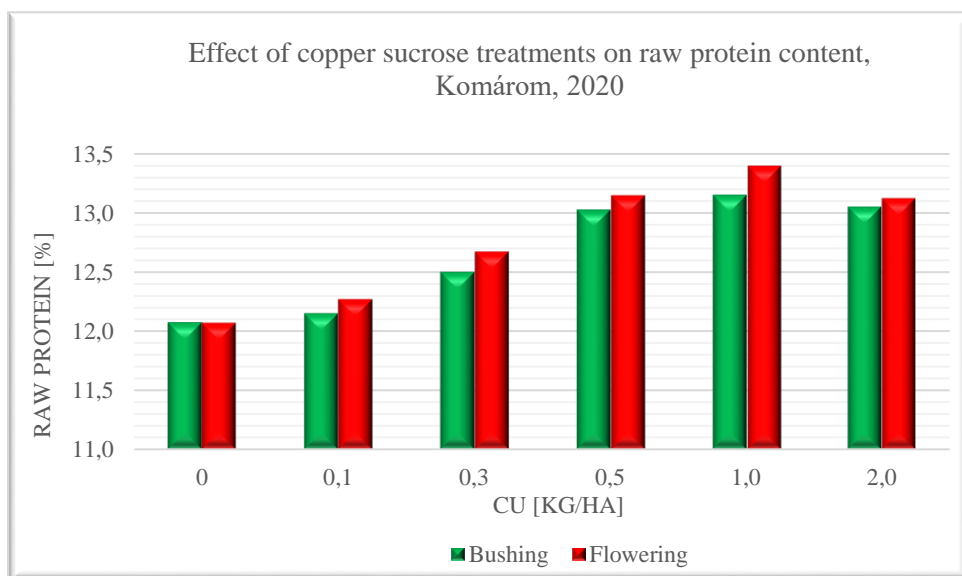


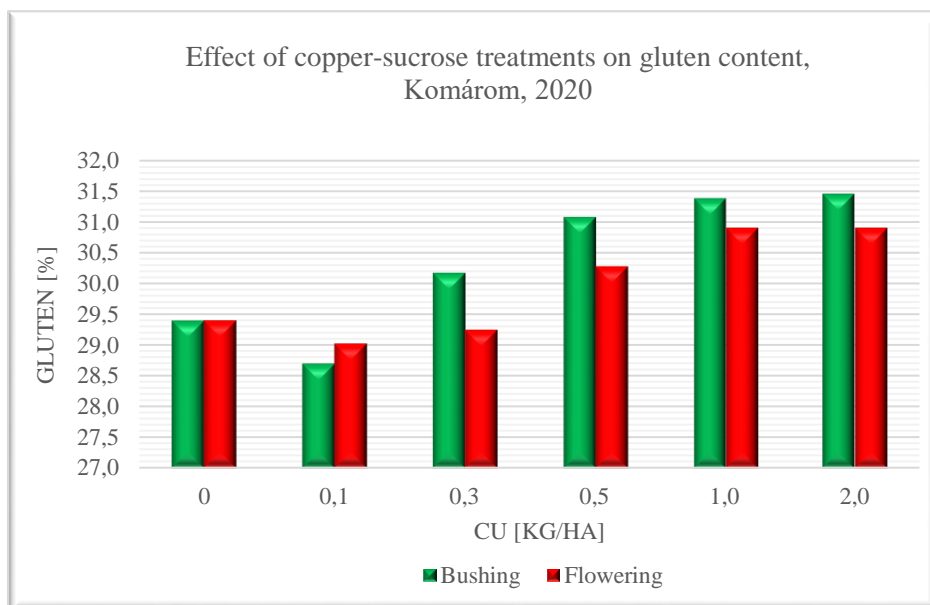
Figure 2: Effect of copper-sucrose complex treatments on the crude protein content of autumn wheat, Komárom 2020

The crude protein content is maximal as a result of the 1.0 kg/ha treatment at the time of flowering, between the individual treatments and the significance relative to control is shown below, the significant difference was found at 5%.



### Success content

The most significant increase in gluten content was obtained in the bush treatment *Figure 3*. A significant increase of 0.5, 1.0, and 2.0 kg/ha of copper. As a result of the treatments at flowering, the gluten contents increased to a lesser degree. A significant increase of 1.0, 2.0 was obtained at a copper dose. A significant difference compared to the control was found at 5%,  $SzD5\% = 0.1263$ .



*Figure 3:* Effect of copper-sucrose complex treatments on gluten content

The 1.0 kg/ha treatment had the highest gluten content between the treatments respectively: the significance compared to the control is shown below, the significant difference was set at 5%.

### CONCLUSIONS

If the goal is to increase the yield, bush treatment is recommended, but taking into account the cost savings and the amount of copper dose to be applied, we recommend flowering treatment with a copper dose of 0.5 kg/ha. If the goal is to increase the crude

protein content, flowering treatment is recommended using the recommended copper dose of 1.0 kg/ha. Gluten content is most significantly ensured by bush treatment. The highest gluten content is 1.0 and 2.0 kg/ha at a copper dose. If, in addition to yield, the goal is to improve quality, then the bushing is 1.0 kg/ha copper dose treatment is recommended.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by the Interreg VA, SKHU / 1802 / 3.1 / 023 Co-Innovation Program.

## A RÉZ-TARTALMÚ HULLADÉKBÓL ELŐÁLLÍTOTT RÉZ-SZACHARÓZ KOMPLEX HATÁSA AZ ŐSZI BÚZA HOZAMÁRA ÉS MINŐSÉGÉRE

SZAKÁL TAMÁS<sup>1</sup> - SZALKA ÉVA<sup>1</sup> - GICZI ZSOLT<sup>1</sup> - VASAS DÁVID<sup>1</sup> -  
SVĚTLÍKOVÁ ANGELA<sup>2</sup> - KUKUROVÁ KRISTÍNA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság -és Élelmiszer-tudományi Kar,  
Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup> Nemzeti Mezőgazdasági és Élelmiszerkutató Intézet, Pozsony

## ÖSSZEFOGLALÁS

A réz mikroelemnek, a réz tartalmú enzimeknek nagyon fontos szerepe van a növényi biokémiai folyamatokban. A magyarországi talajok egy része rézből hiányos. A búza érzékenyen reagál a réz hiányra ezért a hozam és a minőség biztosítása érdekében biztosítani kell a búza növény megfelelő réz ellátottságát. Savas pH-jú réz-tartalmú hulladékból réz-szacharóz komplex vegyületet állítottunk be. Az előállított réz-szacharóz komplex vegyülettel végeztünk lombtrágyázási kísérleteket őszi búzánál a Komáromi Solum Zrt. területén. Kísérleteknél bokrosodáskori és virágzáskori kezelésekben használtuk fel a réz-komplexet. Az alkalmazott dózisok 0,1; 0,3; 0,5; 1,0; és 2,0 kg/ha volt. A réz-komplex kezelések hatására a hozam, nyers fehérje és a sikértartalom növekedését értük el.

**Kulcsszavak:** réz, őszi búza, hozam, nyers fehérje, siker

## REFERENCES

- Adriano, C.D.* (1986): Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag, New York, Berlin.
- Arnon, D.I.-Stout, P.R.* (1939): The essentiality of certain elements in minute quality for plant with special reference to copper. *Plant Physiology*, 14, 371-375. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.14.2.371>
- Baranyai, F. – Fekete, A. – Kovács, J.* (1987): A magyarországi tápanyag-vizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest..
- Benton, J. J.* (2012): *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual*, 2nd edition. CRC Press, Boca Raton
- Bowen, H.J.M.* (1985): *Environmental chemistry*. Vol. 2. The Royal Society of Chemistry, Burlington House, London.
- Fekete, A. – Patócs, I.* (1986): Az őszi búza fejtrágyázása. *Magyar Mezőgazda*, 12, 7.
- Giczi, Zs. - Kalocsai, R. - Vona, V. - Szakál, T. - Teschner, G. - Lakatos, E.* (2020): Réz kezelések hatása őszi búza (*Triticum aestivum L.*) hozamára és nyersfehérje tartalmára *Acta Agronomica Óváriensis* 61. : 1 pp. 23 - 32., 10 p.
- Glass, A. D . M.* (1989 ): *Plant nutrition. An intruduction to current concept*. Jones and Bartlett Publishers. Boston
- Győri D. - Regiusné M. Á. - Szabó S. - Szentmihályi S.* (1987): *Mikroelemek a mezőgazdaságban I. (esszenciális mikroelemek)*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Ioannou, A. -Tolner, L. - Dimirkou, A. - Füleky, Gy.* (2005): Copper adsorption on bentonite and soil as affected by pH. *Bulletin of the Szent István University*, p.73-84.
- Kádár, I.* (2007): *Felmérések, kimutatások, adatbázisok, kutatások Magyarország Cu és Zn ellátottságáról a hazai talaj- és növényvizsgálatok, ill. kísérletek alapján*. MTA TAKI. Budapest.
- Kádár, I.* (2008/a): A levéltrágyázás jelentősége és szerepe a növénytáplálásban. *Acta Agronomica Óváriensis*. 50, 19-27.
- Kabata-Pendias, A. - Pendias, H.* (2001): *Trace elements in soils and plants*. 3-rd. ed. CRC Press LLC
- Kirkby, E. A.* (2005): *Essential elements*. *Encyclopedia of soils int he environmental*. 1-st, Eddition, Elsevier.

- Marschner, H.* (1995 ): Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press. New York
- Mengel, K. - Kirkby, E. A. - Kosegarten, H. - Appel, T.* (2001): Principles of plant nutrition. Kluwer Akad. Publ. Dodrecht, Boston, London.
- Mitchel, R. L.* (1955): Trace element chemistry of the soil. New York.
- Mortwedt, I. I. – Giordano, P. M. – Lindsay, N. L.* (1972): Micronutrients in agriculture. Soil. Soc. Am. Madison. Wisconsin. 26, 36-43.
- Ördög, V. – Molnár, Z.* (2011): növényélettan. TÁMOP 4.1.2. Agrármérnök MSc, elektronikus tananyag, Debreceni Egyetem, pp. 1-123.
- Sillanpää, M.* (1982): Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. FAO Soils Bulletin 48. Food and Agricultural Organisation, Róma.
- Stefanovits, P. - Filep Gy. - Füleky Gy.* (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó
- Szakál P.* (1993): Környezetre ártalmasréz- és cink tartalmú hulladékból előállított réz- és cink-komplexek mezőgazdasági hasznosítása, Kandidátusi értekezés.
- Szakál, P. – Schmidt, R. – Barkóczi, M. – Szakál, T. – Schmidt, P.* (2012): Effect of copper containing ion- exchanged synthesised zeolite on the yield and quality parameters of winter wheat, *Növénytermelés* 61, 157-160.
- Szakál, P. - Schmidt, R. - Kalocsai, R.* (2003): The effect of N solution and copper and zinc treatments on the yield and quality of winter wheat. In: Gyuricza, Cs (szerk.) Proceedings of the II. Alps-Adria Scientific Workshop, Budapest, Magyarország : Akadémiai Kiadó (2003) 236 p. pp. 164-168.
- Szakál, P. - Schmidt, R. - Lesny, J. - Kalocsai, R. - Barkóczi, M.* (2007): Quality parameters of wheat. Bio ethanol versus bread?: VI. Alps-Adria Scientific Workshop. Oberfellach, Austria, 2007. Apr 30 - May 5. *Cereal Research Communications* 35 : 2 part II pp. 1137-1140.
- Szakál, T.* (2018): Réz-tartalmú mikroelektronikai hulladékból előállított réz-ioncserélt zeolit mezőgazdasági felhasználása. In: Szalka, Éva (szerk.) XXXVII. Óvári Tudományos Napok, 2018. november 9-10.: Fenntartható agrárium és környezet, az Óvári Akadémia 200 éve - múlt, jelen, jövő. Mosonmagyaróvár, Magyarország: VEAB Agrártudományi Szakbizottság, Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar. 482, 448-454.
- Szakál, T. - Szüle B. - Kalocsai, R. - Korim, T. - Szalka, É. - Tóth, E. - Szakál, Pál* (2021): Ion exchange with copper-tetraamine on NaA (LTA) type synthesised zeolite

Nova biotechnologica et chimica 20:1 Paper: 886, 10 p.

*Szilágyi, I.* (2006): Metalloenzimek szerkezeti és funkcionális modellezése, PhD értekezés, Szeged.

*Weser, U.* (1973): Structural aspects and biochemical function Erythrocyte. In Structure and Bonding. Vol 17. Springer Verlag. Berlin.1-65. .

*Yamashita, M.M. -Wesson, L.-Eisenman, G.-Eisenberg, D.* (1990): Where metal ions bind in proteins. Biophysics Vol. 87, pp. 5648-5652.

*A szerzők levélcíme – Adress of the authors:*

Szakál Tamás

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: thomas.szakal@gmail.com

Szalka Éva

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: szalka.eva@sze.hu

Giczi Zsolt

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: giczi.zsolt@sze.hu

Vasas Dávid

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: vasas.david@sze.hu

Světlíková Angela - Kukurová Kristína

Nemzeti Mezőgazdasági és Élelmiszerkutató Intézet, Pozsony

e-mail: angela.svetlikova@nppc.sk, kristina.kukurova@nppc.sk



**THE ROLE OF HEALTHY EATING AND FUNCTIONAL FOODS IN THE  
PROTECTION OF THE IMMUNE SYSTEM, ESPECIALLY THE  
CONSUMPTION OF VEGETABLES AND FRUITS: LIFESTYLE SURVEY  
AMONG ADULT POPULATION**

JUDIT MOLNÁR<sup>1</sup> - RENÁTÓ KALOCSAI<sup>1</sup> - ÉVA SZALKA<sup>1</sup> - TAMÁS SZAKÁL<sup>1</sup> -  
ANGELA SVĚTLÍKOVÁ<sup>2</sup> - DÁVID VASAS<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István University, Faculty of Agriculture and Food Sciences

<sup>2</sup> National Agricultural and Food Centre, Food Research Institute, Bratislava

**SUMMARY**

Our manuscript focuses on vegetables and fruits as functional foods. Our questionnaire survey was conducted at the end of the third wave of the pandemic, however, we also paid increased attention to lifestyle, mostly dietary, changes in the active stages of the coronavirus pandemic, especially vegetable and fruit consumption patterns. Our quantitative analysis was carried out with the help of 9 questionnaires, including 4 cumulative closed-ended questionnaires, which were divided into four main groups of statistical activities. We first analysed demographic data and then focused on health status, knowledge of concepts, and assessment of consumer needs. For the statistical evaluation of our survey, we performed a descriptive statistical analysis, including a distribution analysis of demography and related issues. Next, we calculated the appropriate type of correlation between the questions, which was evaluated in Microsoft Excel and IBM SPSS Statistics 26. The number of respondents was  $n = 109$ , of which 37% were male and 63% female. Before evaluating our results, we also asked a research question: To what extent did the attitudes related to regular exercise, healthy eating and the importance of health change during the active stages of the pandemic? Based on our empirical analyses, an increase in extremes can be observed with regular exercise. In terms of general health, there was an increase in the "extremely important" category. In

the active phase of the pandemic, the number of vegetable consumers was lower, and among the proponents of a healthy diet, the consumption of fruit foods was not significantly higher. Based on our conclusions, this is due on the one hand to the restrictions during the pandemic and on the other hand to the endowment of fruit-containing foods with negative properties (e.g. made with the addition of sugar).

**Keywords:** coronavirus, vegetables, fruits, functional food, healthy eating, disease prevention

## INTRODUCTION

Nowadays, we pay more and more attention to health and healthy lifestyle. In order to increase vitality, the acquisition of appropriate nutritional habits also plays a key role (Bencsik & Labáth, 2000; Rodler, 2005; Naicker *et al.*, 2021). Among the main elements of the practice of good nutrition is the knowledge of functional foods (Csapó & Albert, 2018; Nagy *et al.*, 2008; Choudhary & Tandon, 2009), the beneficial effects and useful content values of which are addressed in many countries. That is why several wordings have come to light in connection with these foods. Their positives include a beneficial physiological effect on the body, an improvement in physical and mental performance, and evidence of research and development results. Nutritionists recommend SMART PLATE (URL: <http://www.okostanyer.hu/>) for the practical application of the quantitative and qualitative requirements of functional foods in a healthy diet. The divided plate also helps everyone to consume cereals, meats and meat products, fish, milk and dairy products, vegetables and fruits. At the same time, it contributes to better energy levels and health. Supporting our immune system with the emergence of a coronavirus also requires increased attention (Dey *et al.*, 2020; Alsenani, 2021). Among foods that support the functioning of the immune system, vegetables and fruits play a prominent role (Sutton *et al.*, 2019; Cömert *et al.*, 2020), mainly due to their fibre, vitamin, mineral and fluid content. That is why, in our manuscript, we aimed primarily to evaluate the fruit and vegetable consumption patterns during the active phase of the pandemic and during the lifting of restrictions. Doing this, we also performed a detailed analysis of the demographics, health status and conceptual knowledge related to healthy eating of the respondents. We hope that with our manuscript we can contribute to the work of food, marketing and nutrition scientists alike.

## **MATERIALS AND METHODS**

In our survey, we conducted quantitative research on a sample taken from a multi-element population. Our 9 online questionnaires, including 4 cumulative closed-ended questions, were filled in by people living in the towns and villages of Győr-Moson-Sopron County, during the lifting of the restrictions implemented because of the coronavirus. We considered it an important aspect that all of the respondents should be regular consumers of vegetables and fruits. No other conditions were set for completing the questionnaire. In the quantitative study, we focused on 4 groups of statistical activities, which were demographic data, health status, knowledge of concepts, and consumer demand survey. Before evaluating our results, we also formulated a research question, to which we sought the answer with the help of our empirical analyses. The obtained data were evaluated in Microsoft Excel and IBM SPSS Statistics 26, during which descriptive statistical analysis, demographic distribution and correlation analysis were performed.

Our sample cannot be considered representative, but it examines the correlations between vegetable and fruit consumption under hitherto uncharacteristic conditions, so it can be a starting point for exploratory and further studies.

## **RESULTS AND EVALUATION**

### ***Findings for the whole sample***

In evaluating our results, we first performed demographic analyses, where we sought answers to the gender distribution, place of residence, marital status, income, and age of the respondents. 63% of the respondents are women, while 37% are men, most of whom (58%) live in big cities. Furthermore, the majority of respondents to the questionnaire (36%) are married. The exact distribution of residence and marital status data is shown in *Figures 1* and *2*.



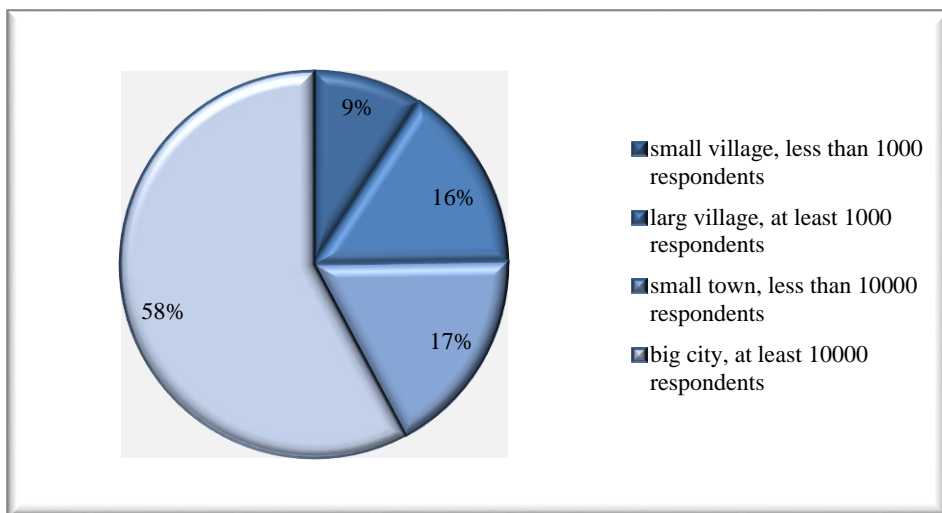


Figure 1: Residents' place of residence in % distribution

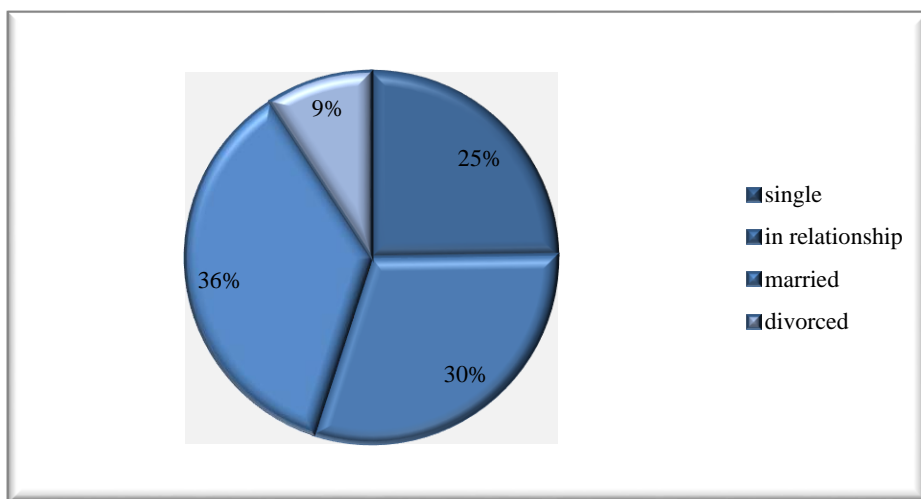


Figure 2: Family status of respondents in % distribution

Based on the % distribution of net family income per capita, most (26%) indicated the income category below HUF 150,000. The exact evaluation of these data is summarized in *Figure 3*.

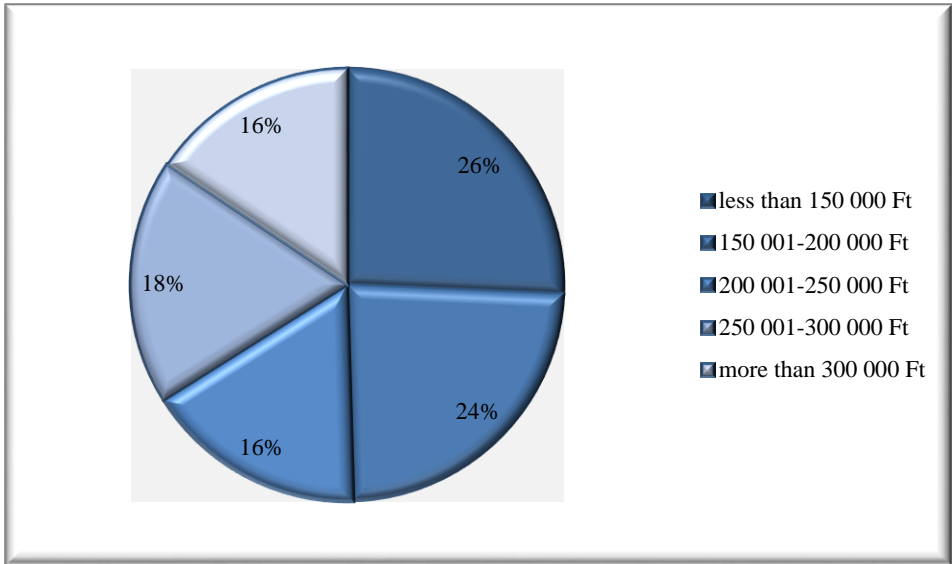


Figure 3: Percentage distribution of respondents by income

Finally, we also examined the age distribution among the adult population, according to which those aged 30-39 were the most active participants in the survey (n = 29 people). The inter-class distribution of age is shown in Figure 4. Our oldest respondent was 93 years old, which proves that the topic of vegetable and fruit consumption can be an interesting factor determining the quality of life even for the eldest ones.

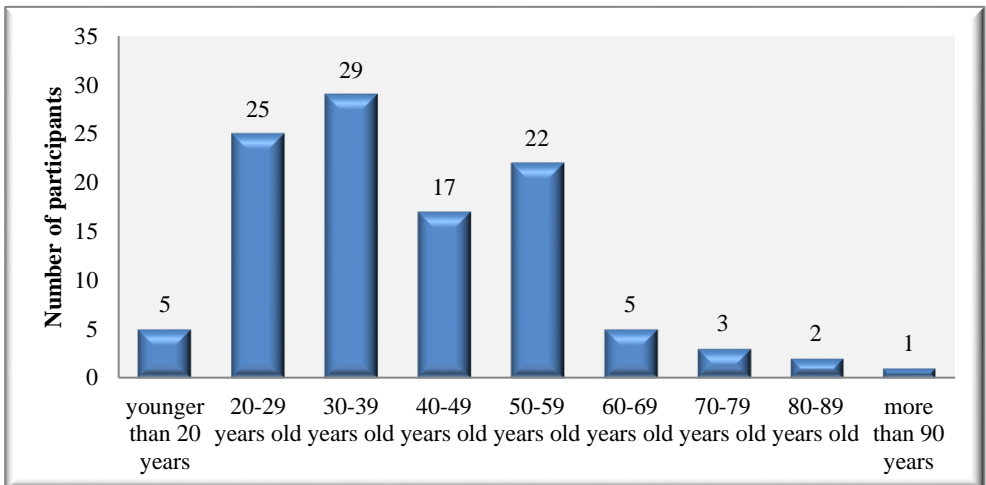
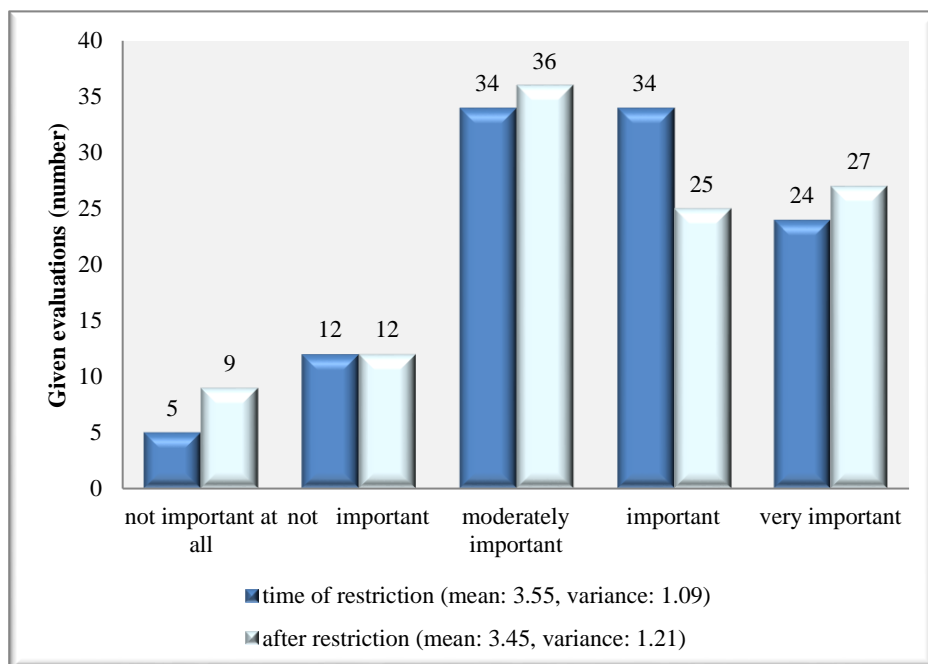


Figure 4: Age categories of respondents

An important part of our manuscript is to assess the health status of the respondents and their relationship to a healthy lifestyle during the active waves of the pandemic and during the lifting of restrictions. In addition, averages were calculated from the scores assigned to the responses (1; 2; 3; 4; 5). Our results are shown in *Figure 5.-7. illustrated by figures.*

*Figure 5* shows a trend that, although the mean score did not change significantly, the variance increased and the number of those for whom exercise was not important or extremely important increased. This time, due to the low number of groups, we did not conduct a significance study, but it would be worthwhile to examine the increase in extremes and their causes. When the restrictions were lifted, many people might have mistakenly thought that going to work already means enough movement, and the supporters of the other side became more active when the sports opportunity was available again. No change can be detected in the assessment of healthy eating. There is no average change in the importance of good health, but there are several respondents for whom this factor has become extremely important. The reasons are researchable, one of which may be the response to perceived negative changes, lower performance.



*Figure 5: The importance of regular exercise in the active phase of the coronavirus and the lifting of restrictions*

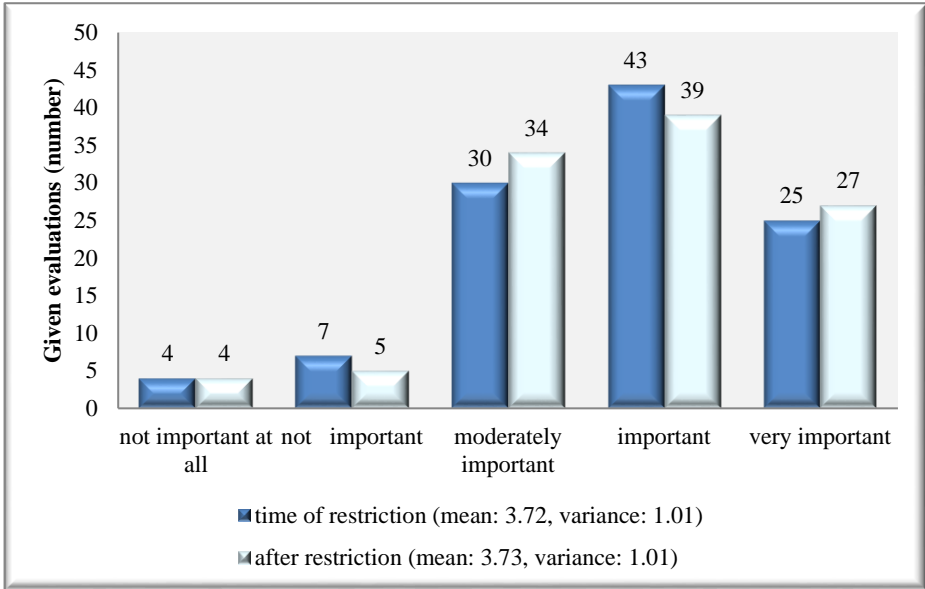


Figure 6: The significance of a healthy diet in the active phase of the coronavirus and the lifting of restrictions

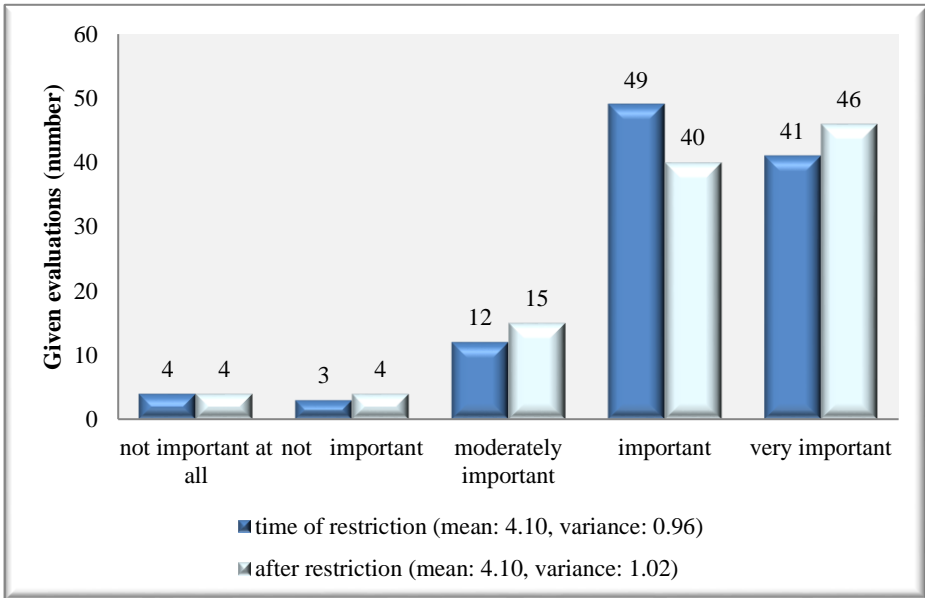


Figure 7: The significance of favourable health status in the active phase of the coronavirus and the lifting of restrictions

In further evaluating our data, we were also interested in understanding the concepts related to functional foods and healthy eating (*Table 1*), and then we also surveyed the frequency of consumption of vegetables and fruits (*Table 2*).

Our respondents are confident in their ability to recognize foods that belong to a healthy diet (average: 3.77, standard deviation: 0.87), so for this question, the majority marked the “reached” category. For the other questions, the level of self-declaration knowledge in most cases is incomplete. Mineral content is less known than vitamin content, and the most uncertain were the respondents on what constitutes a functional food.

Comparing the data in the table analysing the frequency of consumption of vegetables and fruits, we see that at the time of the restrictions, the subjects consumed less raw vegetables, raw fruits, and vegetable foods. We did not perform a significance test now, we only present the presumed trends. Consumption of less raw vegetables and fruits may be due to the fact that staying at home is more conducive to consuming more calorie-rich foods, or because there are fewer vegetables and fruits available in the spring, or more difficult to procure due to store closures and other restrictions.

*Table 1:* Self-reported knowledge of the concepts of healthy eating and functional foods

Question Categories	not at all (%)	not reached (%)	incomplete knowledge (%)	expert in this (%)	perfectly reached (%)	average level of perceived knowledge	dispersion of perceived level of knowledge
Self-reported knowledge of the vitamin content of foods	5.5%	10.1%	40.4%	33.9%	10.1%	3.33	0.98
Self-reported knowledge of the mineral content of foods	5.5%	11.0%	49.5%	23.9%	10.1%	3.22	0.97
Self-declaration of belonging to functional foods	9.2%	20.2%	37.6%	22.9%	10.1%	3.05	1.10
Self-declaration of belonging to a healthy diet	1.8%	5.5%	23.9%	51.4%	17.4%	3.77	0.87

Table 2: Survey of fruit and vegetable consumption based on self-declaration

Question Categories	less than weekly (%)	weekly (%)	Several times a week (%)	daily (%)	several times a day (%)	Trained average of the frequency	trained standard deviation of frequency
Raw vegetables, by lifting frequency restrictions	13.8%	15.6%	36.7%	22.0%	11.9%	3.03	1.19
Raw vegetables, frequency of consumption during restrictions	18.3%	13.8%	37.6%	17.4%	12.8%	2.93	1.25
Raw fruit, by lifting frequency restrictions	5.5%	12.8%	30.3%	37.6%	13.8%	3.41	1.06
Raw fruit, frequency of consumption during restrictions	9.2%	12.8%	32.1%	31.2%	14.7%	3.29	1.15
Vegetable food, by lifting frequency restrictions	5.5%	19.3%	42.2%	23.9%	9.2%	3.12	1.01
Raw vegetables, frequency of consumption during restrictions	18.3%	13.8%	37.6%	17.4%	12.8%	2.93	1.25
Fruity food, by lifting frequency restrictions	17.4%	25.7%	34.9%	13.8%	7.3%	2.68	1.14
Fruity food, frequency of consumption during restrictions	<b>19.3%</b>	<b>20.2%</b>	<b>32.1%</b>	<b>20.2%</b>	<b>8.3 %</b>	2.78	<b>1.21</b>

The characteristic presented with the following distributions is why the surveyed consumers value vegetables and fruits. Based on the data presented, the mineral content was rated higher than the vitamin content. This was followed by fibre content and water content, while low calorie content was pushed to the last place (*Table 3*). Members of the study sample seem to recognize the needs of the organization and consider them more important than appearance.

*Table 3: Correlations between fruit and vegetable consumption in the active stages of the coronavirus and the lifting of restrictions*

Question Categories	extremely important (%)	important (%)	moderately important (%)	unimportant (%)	not important at all (%)	The average of the judgment	Dispersed judgment
the role of high fibre content in the healthy category	3.7%	5.5%	19.3%	44.0%	27.5%	3.86	1.00
the role of high water content in the healthy category	4.6 %	11.0%	31.2%	33.9%	19.3%	3.52	1.07
the role of high mineral content in the healthy category	2.8%	0.0%	11.0%	34.9%	51.4%	4.32	0.88
the role of high vitamin content in the healthy category	2.8%	4.6 %	9.2%	39.4%	44.0%	4.17	0.97
the role of low calorie content in the healthy category	8.3 %	17.4%	27.5%	27.5%	19.3%	3.32	1.21

### THE RESULT OF THE CORRELATION TEST

Following our empirical study, we performed a correlation analysis, in which we mainly examined the correlations between vegetable and fruit consumption. First, we present age-related relationships. We outline possible causes, but their precise examination deserves separate analysis. In the case of the responses, income has a significant impact, as expected. Therefore, the significant correlations are as follows:

- There is a negative correlation between age and the perceived importance of a healthy diet ( $r = -0.265$ ,  $p < 0.01$ ), which can be attributed partly to the adherence to traditional foods and partly to the financial status.
- There is another negative correlation with age ( $r = -0.274$ ,  $p < 0.01$ ). The older the person, the more they think they do not know what belongs to healthy eating, presumably because of the tradition mentioned earlier, the nutrition theories of the past, and the information coming from the media. Furthermore, even with

our overburdened health care system, more attention should be given to nutrition advice for the elderly, including diseases.

- The higher the income per capita, the more important regular exercise ( $r = 0.302$ ,  $p < 0.01$ ).
- The higher the income per capita, the more confident the respondent is able to recognize what belongs to a healthy diet ( $r = 0.250$ ,  $p < 0.01$ ). People with higher income can afford to consult a nutritionist or buy scientific works.
- The higher the income per capita of the respondents, the more important the vitamin and mineral content they consider for vegetables and fruits ( $r = 0.209$ ,  $p < 0.05$  and  $r = 0.226$ ,  $p < 0.05$ ).

Issues related to exercise, healthy eating, and general health are, of course, associated with higher fruit and vegetable consumption. Here, rather, we need to draw attention to the lack of significant correlations. Our respondents who value sports, healthy eating and general health do not consume significantly more fruit foods. Based on this, more people think of high-sugar cakes, creams, sauces as healthy salads or smoothies as fruit-containing ready meals. Promoting these would be important in the form of publications with appropriate recipes.

## CONCLUSION

Our research was conducted during the period free of pandemic restrictions, however, we also paid close attention to the changes in lifestyle and eating habits during the active phase of the coronavirus, especially with regard to vegetable and fruit consumption. Therefore, during the evaluation of our results, we obtained an overview (involving  $n = 109$  people) of the distribution of the demographic sample of the participants, their health status, their knowledge of concepts and the distribution of the demand for fruit and vegetables. Furthermore, the empirical answers to our previously researched question (To what extent did attitudes related to regular exercise, healthy eating, the importance of health?) during the pandemic confirm the importance of a healthy lifestyle and favorable general health. In addition to these results, we considered correlation studies for deeper evaluation important. While the consumption of raw vegetables and fruits and vegetable foods was significantly higher in the case of people living a healthy lifestyle, we did not find a similar correlation in the case of fruit foods. That is why we recommend



highlighting the beneficial properties of vegetables and fruits and mastering the right cooking procedures.

## **AZ EGÉSZSÉGES TÁPLÁLKOZÁS ÉS FUNKCIONÁLIS ÉLELMISZEREK SZEREPE AZ IMMUNRENDSZER VÉDELMEBEN, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A ZÖLDSÉGEK ÉS GYÜMÖLCSÖK FOGYASZTÁSÁRA: ÉLETMÓD-FELMÉRÉS FELNŐTT LAKOSSÁG KÖRÉBEN**

MOLNÁR JUDIT<sup>1</sup> – KALOCSAI RENÁTÓ<sup>1</sup> – SZALKA ÉVA<sup>1</sup> - SZAKÁL TAMÁS  
<sup>1</sup> – SVĚTLÍKOVÁ ANGELA<sup>2</sup> – VASAS DÁVID<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,  
Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup> Nemzeti Mezőgazdasági és Élelmiszerkutató Intézet, Pozsony

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

Kéziratunk középpontjában a zöldségek és gyümölcsök, mint funkcionális élelmiszerek állnak. Kérdőíves felmérésünket a pandémia harmadik hullámának megszűnésével készítettük el, azonban fokozott figyelemmel kísértük a koronavírus-járvány aktív szakaszaiban bekövetkező megváltozott élethelyzet okozta életmódbeli, leginkább táplálkozási változásokat is, különös tekintettel a zöldség és gyümölcsfogyasztási szokásokra. Kvantitatív vizsgálatunkat 9 db, ebből 4 db halmozott zárt kérdésből álló kérdőív segítségével végeztük el, amit négy fő statisztikai tevékenységcsoportra bontottunk. Elsőként a demográfiai adatokat elemeztük, ezt követően pedig az egészségi állapotra, fogalmak ismeretére és fogyasztói igények felmérésére fókuszáltunk. Felmérésünk statisztikai értékeléséhez leíró statisztikai elemzést, ezen belül pedig a demográfia és egyes témához kapcsolódó kérdések megoszlás-vizsgálatát végeztük el. Ezt követően, kiszámoltuk a kérdések közötti megfelelő típusú korrelációt, amit Microsoft Excel és IBM SPSS Statistics 26 programban értékeltünk ki. A kérdőívet kitöltők száma n=109 fő, amelyből 37 % férfi és 63 % nő. Eredményeink értékelése előtt, egy kutatási kérdés is megfogalmazódott bennünk: A pandémia aktív szakaszaiban milyen mértékben változtak meg a rendszeres testmozgással, egészséges táplálkozással, egészségi állapot fontosságával kapcsolatos attitűdök? Empirikus elemzéseink alapján a

rendszeres testmozgásnál a szélsőségek növekedése figyelhető meg. Az általános egészségi állapottal kapcsolatosan pedig a "rendkívül fontos" kategória növekedése volt jellemző. A pandémia aktív szakaszában alacsonyabb volt a zöldségfogyasztók száma, az egészséges táplálkozás hívei között pedig nem nagyobb szignifikánsan a gyümölcsös ételek fogyasztása. Következtetéseink alapján, ennek oka egyrészt a pandémia alatti korlátozások, másrészt pedig a gyümölcs-tartalmú ételek negatív tulajdonságokkal (pl.: cukor hozzáadásával készült) történő felruházása.

**Kulcsszavak:** koronavírus-járvány, zöldségek, gyümölcsök, funkcionális élelmiszer, egészséges táplálkozás, betegség-prevenció

#### ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by the Interreg V-A, SKHU/1802/3.1/023 Co-Innovation Program.

#### REFERENCES

- Alsenani, F.* (2021): Potential natural candidates in the treatment of coronavirus infections. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 1-10.
- Bencsik, K. & Labáth, K.* (2000): Szakácskönyv az egészségért (Cookbook for health). Rittler-Jajczay Bt., Budapest.1-618.
- Choudhary, R. & Tandon, R. V.* (2009): Consumption of functional food and our health concerns. *Pakistan Journal of Physiology*. 5, 76-83.
- Cömert, E. D. - Mogol, B. A. - Gökmen, V.* (2020): Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. *Current Research in Food Science*. 2, 1-10.
- Csapó, J. & Albert, Cs.* (2018): Funkcionális élelmiszerek (Functional foods) (e-book). Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Élelmiszertechnológiai Intézet. Debrecen.1-284.
- Dey, A. - Das, R. - Misra H. S. - Uppal S.* (2020): Coronavirus disease 2019: scientific overview of the global pandemic. *New Microbes and New Infections*. 38, 1-7.
- Nagy, J. - Schmidt, J. & Jávör, A.* (2008): A Jövő Élelmiszerei és az Egészség (Food of the Future and Health). Debreceni Egyetem. Debrecen.1-197.

Naicker, A. - Shrestha, A. - Joshi, C. - Willett W. - Spiegelman D. (2021): Workplace cafeteria and other multicomponent interventions to promote healthy eating among adults: A systematic review: Preventive Medicine Reports. 22, 1-29.

Rodler, I. (2005): Új tápanyagtáblázat (New nutrient table). Medicina könyvkiadó Rt. Budapest.1-765.

Sutton, K. - Caldwell, J. - Yoshida S. - Thompson J. - Kuo, T. (2019): Healthy food marketing and purchases of fruits and vegetables in large grocery stores. Preventive Medicine Reports. 14:1-6.

#### **ONLINE RECOMMENDATION**

URL<sub>1</sub>: <http://www.okostanyer.hu/>

*A szerzők levélcíme – Address of the authors*

Molnár Judit

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar  
Víz- és Környezettudományi Tanszék  
9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony utca 15-17.  
e-mail: jmolnar1222@gmail.com

Kalocsai Renátó

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar  
Víz- és Környezettudományi Tanszék  
9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony utca 15-17.  
e-mail: kalocsai.renato@sze.hu

Szalka Éva

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar  
Agrárökonómiai és Vidékfejlesztési Tanszék  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár épület I. emelet  
e-mail: szalka.eva@sze.hu

Szakál Tamás

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar

Víz- és Környezettudományi Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony utca 15-17.

e-mail: thomas.szakal@gmail.com

Vasas Dávid

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar

Víz- és Környezettudományi Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony utca 15-17.

e-mail: vasas.david@sze.hu

Světlíková Angela

Nemzeti Mezőgazdasági és Élelmiszerkutató Intézet, Pozsony

e-mail: angela.svetlikova@nppc.sk, kristina.kukurova@nppc.sk



## THE PRINCIPLES OF SUSTAINABLE AGRICULTURAL CULTIVATION AND THE SUPPLY OF NUTRIENTS TO OUR CULTIVATED PLANTS

RENÁTÓ KALOCSAI<sup>1</sup> - ÉVA SZALKA<sup>1</sup> - ANGELA SVĚTLÍKOVÁ<sup>2</sup> - KRISTÍNA  
KUKUROVÁ<sup>2</sup> - TAMÁS SZAKÁL<sup>1</sup> - ZSOLT GICZI<sup>1</sup> - VIKTÓRIA VONA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István University, Agricultural and Food Sciences, Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup> National Agricultural and Food Centre, Food Research Institute, Bratislava

### SUMMARY

Hungary's edaphic and climatic conditions are excellent for agricultural production, including crop production. Year after year, farmers can boast higher and higher yield averages and, in many cases, better technological quality, which is a fundamental custodian of agriculture's income-generating capacity. However, intensive farming in almost all agricultural areas has led to a physical and chemical deterioration of the soil, which in the long run endangers the structure of soils, the operation of its 3-phase system, the nutrient supply of our cultivated plants, and ultimately successful farming.

**Keywords:** soil, sustainability, nutrient supply, soil testing

### INTRODUCTION AND LITERATURE REVIEW

Hungary's edaphic and climatic conditions are excellent for agricultural production, including crop production. Year after year, farmers can boast higher and higher yield averages and, in many cases, better technological quality, which is a fundamental custodian of agriculture's income-generating capacity. Although modern machines, machine connections, and cultivation technological developments would be able to meet the sustainability needs of tillage and nutrient supply that are maximally adapted to the soil properties, only a few of our farmers use their opportunities. Most people engage in intensive farming that treats the soil and treats the soil as a growing medium. Although

this shows a favorable return in the short term, in the medium and long term we have to reckon with the deterioration of soil fertility over millions of years. Intensive farming, therefore, has a serious price:

- the stock of organic matter in our soils and its quality is constantly decreasing as a result of industrial farming,
- their structure, which is the custodian of water, heat and air management, and biological activity of our soils, is deteriorating year by year,
- their ability to extract and supply nutrients, their ability to renew themselves, is weakening.

The deterioration of the renewable capacity of soils, and ultimately their “health”, which manifests itself in a decrease in their productivity over time, can now be observed in some form in almost all agricultural areas. Due to the deteriorating structure and the weakening stability of the structural elements of the soil, our soils are less and less able to mitigate the drought periods that occur during climate change. However, due to the reduced stability of the structural elements of the soil, in case of intense rainfall, we have to reckon with water levels and inland water on more and more agricultural plots, which greatly hinders the living conditions of our cultivated plants and can lead to further destruction of our soils (*Kalocsai and Schmidt, 2003*).

We need to recognize that intensive, large-scale farming, as has been the case in the past 60 years or so, cannot be maintained in its current form in the future. We need to understand how our soils work, better understand the biological and ecological interrelationships, and accept that in the long run, we will only be able to meet the food needs of our growing society in harmony with nature.

We need to stop with the “blackmail” farming, which ignores soil properties and ecological contexts and has no scientific physiological basis, and is often based on “habit”, the most critical disadvantages of which can be summarized as follows:

- We have virtually no organic matter management,
- Liming is an unknown concept to most of our farmers, although some of our soils would require it
- In most cases, we cannot talk about a harmonious nutrient supply based on soil test results

- In many cases, our supply of nutrients is limited to macroelements (N, P, K), the replacement of microelements takes place “possibly” in plantations,
- We follow the “usual” soil-destroying practice
- The main objective is not the soil health but the performance
- Our farming is characterized by an excessive number of turns, trampling damage, compaction, and cultivation errors
- As a result of improper cultivation, the physical-biological, and chemical properties of the soil as a habitat are reduced, which results in a decrease in the fertility of our soils (*Birkás et al., 2002*).

No commonly used recipe can be given to make our farming sustainable, and we must be aware that, like all modifications, it takes time. Farmers need to understand that long-term profitable farming can only be done on healthy soils. This requires time, the formation of a professional-scientific approach, and, where appropriate, political recognition. We need to realize that the role of agriculture goes far beyond food production and income generation of the ‘agricultural industry’. The farming society has an ecological and nature conservation obligation through the most important and unique resource, the soil capable of continuous renewal because our future is at stake.

A sustainable management system is a complex and dynamic unit covering many sub-areas. An attitude to farming, nature, life that does not require special investment. In many cases, the available infrastructure is ample to “make” our management sustainable.

In general, it is characterized by:

- Energy- and water-saving
- Production structure adapted to local conditions and demand
- Tillage adapted to dry conditions
- An environmentally friendly and harmonious nutrient supply
- Integrated Crop Management
- Modern animal husbandry
- A trained professional who strives for sustainability
- A decision support system that recognizes and takes into account as many ecological contexts as possible

Proper organic matter management, the application of tillage methods aimed at preserving and, in any case, improving the structure of the soil, the supply of reasonably

chosen and scientifically based nutrients are all custodians of sustainability. Let us not forget, however, that all of this requires a team of professionals with excellent professional knowledge, who recognize the importance of soil protection, and who are committed and trained. And all of this is inconceivable without education, i.e. continuous professional development.

The determination of the fertilizer requirements of our cultivated plants is based on soil tests, the determination of the uptake (soluble) nutrient content of the soil, the interpretation of the soil test results, and the knowledge of the nutrient requirements of the plants. (Kalocsai et al., 2018)

Based on the results of the soil test, we can continue efficient and environmentally friendly nutrient management, the cost of which is recouped several times over.

## DESCRIPTION OF EXPERIMENTS

In this article, we want to help to understand and roughly interpret the “numbers” of soil test results so that the farmer can at least broadly determine the soil characteristics of his areas as well as his ability to provide nutrients by quickly reviewing the test results. At the same time, we draw your attention to the fact that the basis of a truly professional and effective nutrient supply is an accredited laboratory test based on representative soil sampling (MSZ-08-0202-1977) (Kalocsai, 2007/A).

In Hungarian soil testing and consulting practice, we generally use 14 test parameters to determine the most important soil characteristics. These are *acidity/basicity (pH)*, *Golden Binding Number (KA)*, *total water-soluble salts (%)*, *humus content (%)*, *carbonated lime content (%)*, *AL soluble P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, and Na content (mg/kg)*; the *contents of nKCl-soluble Mg, NO<sub>2</sub>-NO<sub>3</sub>-N, and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S (mg/kg)*, and the contents of *EDTA soluble Cu, Mn, and Zn (mg/kg)*. The method and specifications for the determination of the above parameters are described in MSZ-08-0206-2:1978; MSZ-08-0205:1978; Standards MSZ-08-0210-2:1977 and MSZ-20135:1999 are described in detail.

As a result of the laboratory examination of the samples, we receive the soil test result sheet, which therefore contains the following parameters (Kalocsai, 2007/B; Birkás, 2001).

The approximate value of the results is summarized based on István Buzás (1983), the creator of the Hungarian nutrient supply consulting system:



**pH<sub>(KCl)</sub> - the pH of the soil**

pH<sub>KCl</sub> shows the pH of the soil. Based on the pH<sub>KCl</sub> results, our soils can be classified into the following pH categories (*Table 1*).

*Table 1: Soil pH categories (pH<sub>KCl</sub>)*

pH <sub>KCl</sub>	Category
<4.5	strongly acidic
4.5-5.4	acidic
5.5-6.7	slightly acidic
6.8-7.1	neutral
7.2-7.9	weakly alkaline
8.0<	alkaline

The pH of soils, directly and indirectly, determines the growth and development of plants. Weakly acidic and near-neutral pH is the most optimal for nutrient uptake by plants. Alkaline pH is unfavourable for the uptake of trace elements, while excessively acidic conditions can lead to the dissolution and uptake of toxic amounts of macronutrients and other heavy metals.

***Golden Binding (KA) - physical soil type***

The Golden Binding is determined by adding distilled water to the air-dry soil with stirring and measuring how many millilitres of water per 100 g of soil is required for it to become a pulp of a defined consistency that gives the report test. The amount of water in ml required to make 100 g of soil that is not yet flowing is equal to the binding number. The dimensionless binding number is most related to the clay content of the soil, so in the case of bound soils, a large number is obtained in the case of high clay content, and a small number in the case of loose sandy soils. *Table 2* shows the relationships between physical soil type, KA, clay content (A%), sludge + clay content (I+A%), 5<sup>h</sup> capillary water uplift, and hygroscopicity (hy%).

*Table 2: Relationship between physical soil type and soil A%, (I+A)%, KA, 5<sup>h</sup> water uplift and hy*

Soil tissue, physical soil type	A %	(I+A) %	KA	5 <sup>h</sup> mm	hy %
Coarse sand (dh)	<5	<10	<25	350<	0-0.5
Sand (h)	5-15	10-25	25-30	350-300	0,5-1
Sandy loam (hv)	15-20	25-30	30-37	250-300	1.2
Adobe (v)	20-30	30-60	37-42	150-250	2-3.5
Clay loam (av)	30-40	60-70	42-50	75-150	3.5-5
Clay (a)	40-45	70-80	50-60	40-75	5-6
Heavy clay (na)	45<	80<	60<	40>	6<

% of total salt

The sum of the water-soluble salts in the soil is called the total salt content of the soil. This measurement does not provide information on what salts are present in the soil. It's important to know that, especially in saline soils, because too much salt is one of the causes of poor fertility. The soil is said to be low in salinity if the amount of salts is less than 0.05%, weakly salinic 0.05-0.15%, and salinic 0.15-0.4%. Above 0.4% the soil is heavily salinic.

#### ***Percentage of humus is the humus content***

The humus content is used to characterize the organic matter content of the soils. Its definition is based on the oxidizability (caramelisation) of organic matter.

The humus content of domestic soils is most often between 0.5 and 6%. However, humus supply should never be judged independently of the physical composition or genetic type of the soil. For sandy soil, 2% is generally considered a good value, but for bound meadow soil, it equals very lean soil. Based on the humus content, the long-term nitrogen supply capacity of the soils is determined. The limits for the humus content are given in *Table 3*.

Table 3: Limits for soil humus content for the assessment of nitrogen supply (*MÉM-NAK*)

Field production area	$K_A$	humus %				
		Very poor	Poor	Satisfactory	Good	Really good
<b>I. Chernozem soils</b>	>42	<2.00	2.01-2.40	2.41-3.00	3.01-4.00	4.00<
	<42	<1.50	1.51-1.90	1.91-2.50	2.51-3.50	3.50<
<b>II. Brown forest soils</b>	>38	<1.50	1.51-1.90	1.91-2.50	2.51-3.50	3.50<
	<38	<1.20	1.21-1.50	1.51-2.00	2.01-3.00	3.00<
<b>III. Bound meadow and gloomy forest soils</b>	>50	<2.00	2.01-2.50	2.51-3.30	3.31-4.50	4.50<
	<50	<1.60	1.61-2.00	2.01-2.80	2.81-4.00	4.00<
<b>IV. Sandy and loose soils</b>	30-38	<0.70	0.71-1.00	1.01-1.50	1.51-2.50	2.50<
	<30	<0.40	0.41-0.70	0.71-1.20	1.21-2.00	2.00<
<b>V. Saline soils</b>	>50	<1.80	1.81-2.30	2.31-3.10	3.11-4.00	4.00<
	<50	<1.40	1.41-1.80	1.81-2.60	2.61-3.50	3.50<
<b>VI. Shallow topsoil or heavily eroded sloping soils</b>	>42	<1.30	1.31-1.70	1.71-2.40	2.41-3.30	3.30<
	<42	<0.80	0.81-1.21	1.21-1.90	1.91-2.80	2.80<

CaCO<sub>3</sub>% - the carbonated lime content

Characteristic of the lime content of the soil. Hydrochloric acid was determined by adding hydrochloric acid to the soil and measuring the amount of CO<sub>2</sub> formed with all the carbonates in the soil using a gas burette (Scheibler's calcimeter). From this, we determine by counting how much CaCO<sub>3</sub> is equivalent. Based on the carbonated lime content of the soil, the following categories are distinguished (Table 4):

Table 4: Limits for carbonated lime content of the soil

CaCO <sub>3</sub> %	Category
0	Lime deficient
0.1-4.9	Weakly calcareous
5.0-19.9	Moderately calcareous
20-	Strongly (excessively) calcareous

In addition to the physiological aspects of the plant, lime favorably modifies the structure of the soils, and the stability of the structural elements of the soil. Through the

structure of the soil, the appropriate state of lime has a positive effect on the water, heat, and air management of the soils, as well as to the microbiological processes that are essential for the exploration of nutrients. The carbonated lime content of the soils fundamentally affects their pH, and thus the uptake of various nutrients.

***AL-soluble P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O mg/kg - the soluble phosphorus and potassium content***

Indicates the amount of different phosphorus and potassium compounds that can be extracted from the soil with AL (Ammonium Lactate) solution, expressed as P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O respectively.

Of the total phosphorus and potassium content of our soils, plants are only able to utilize the phosphorus and potassium they can easily access and absorb. We have been using the AL (Ammonium Lactate) method to estimate this content available to plants in Hungary since the 1960s. During the planning of the nutrient supply, the phosphorus and potassium contents of the soil determined according to this method are compared with the specific P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O requirements of the plant to be grown and the specific fertilizer requirement of the plant is determined. Limits for AL-soluble phosphorus and potassium in soils are shown in *Tables 5 and 6*.

Table 5: Limits of soil AL-soluble phosphorus content for the assessment of phosphorus supply (MÉM-NAK)

Field production area	Carbonation CaCO <sub>3</sub> %	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %				
		Very poor	Poor	Satisfactory	Good	Really good
<b>I. Chernozem soils</b>	>1	50	51-90	91-150	151-250	251-450
	<1	40	41-80	81-130	131-200	201-401
<b>II. Brown forest soils</b>	>1	40	41-70	71-120	121-200	201-400
	<1	30	31-60	61-100	101-160	161-360
<b>III. Bound meadow and gloomy forest soils</b>	>1	40	41-70	71-110	111-180	181-380
	<1	30	31-60	61-100	101-150	151-350
<b>IV. Sandy and loose soils</b>	>1	50	51-80	81-130	131-250	251-450
	<1	30	31-60	61-100	101-200	201-400
<b>V. Saline soils</b>	>1	40	41-70	71-120	121-180	181-380
	<1	30	31-60	61-100	101-140	141-340
<b>VI. Shallow topsoil or heavily eroded sloping soils</b>	>1	50	51-80	81-130	131-200	201-400
	<1	30	31-60	61-100	101-150	151-350

Table 6: Limits of soil AL-soluble phosphorus content for the assessment of phosphorus supply (*MÉM-NAK*)

Field production area	Gold Binding ( $K_A$ )	AL-K <sub>2</sub> O %				
		Very poor	Poor	Satisfactory	Good	Really good
I. Chernozem soils	>42	100	101-160	161-240	241-350	351-550
	<42	80	81-130	131-200	201-300	301-500
II. Brown forest soils	>38	90	91-140	141-210	211-300	301-500
	<38	60	61-100	101-160	161-250	251-450
III. Bound meadow and gloomy forest soils	>50	150	151-250	251-380	381-500	501-700
	<50	120	121-200	301-330	331-450	451-650
IV. Sandy and loose soils	30-38	90	91-120	121-160	161-220	221-420
	<30	50	51-88	81-120	121-180	181-380
V. Saline soils	>50	200	201-280	281-400	401-550	551-750
	<50	150	151-230	231-330	331-450	451-650
VI. Shallow topsoil or heavily eroded sloping soils	>42	120	121-160	161-220	221-300	301-500
	<42	80	81-120	121-180	181-250	251-450

It should be noted, however, that today's "long-term sustainable, environmentally friendly fertilization systems" (such as the 3RP System and MTA-TAKI – MTA-GKI) have lower soil nutrient limits. Overall, regardless of the cultivated plant and soil type, it can be stated that the AL-soluble K<sub>2</sub>O content of the soils is **180-200 mg/kg**, and the AL-soluble P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content of **150-160 mg/kg** can be considered good.

#### **AL-soluble Na mg/kg - the soluble Na content**

Indicates the amount of Na compounds that can be extracted from the soil with the AL solution in Na mg/kg. Excessive Na contents are unfavourable for our cultivated plants and indicate salinization processes. As a general guideline, an AL-Na content of up to 30 mg/kg is acceptable. Values between 40 and 60 mg/kg may indicate certain undesirable processes. In non-saline areas, it is advisable to reconsider and review our irrigation technology, test the irrigation water, and review our nutrient supply technology (e.g.,

many years of excessive vinasse application). AL-Na contents above 60 mg/kg already indicate unfavourable salinization and salinity.

***nKCl-soluble Mg mg/kg - the soluble Mg content***

Represents the amount of magnesium compounds that can be extracted with 1 M KCl in elemental magnesium. The assessment of the magnesium supply of the soils is shown in *Table 7*.

*Table 7: Assessment of Mg supply (Buzás, 1983)*

Restriction ( $K_A$ )	Mg mg/kg		
	Poor	Satisfactory	Good
<30 (sandy soils)	<40	40-60	60<
30-43 (sandy loam, loam soils)	<60	60-100	100<
>43 (clay loam, clay soils)	<100	100-200	200<

On soils with strong calcareous or high doses of liming, the appearance of possible magnesium deficiency must be taken into account. The deficiency is further exacerbated by high-dose nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization, so we supply nutrients with particular care in such areas! In our areas, strive to establish and maintain the Ca:Mg = 6 and K:Mg = 0.5 ion ratios.

***nKCl-soluble NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub> - N and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S mg/kg - soluble nitrite and nitrate nitrogen and sulfate sulfur***

In short, we simply call it nitrate content or sulfate content. It is equal to the amount of nitrogen in the form of NO<sub>3</sub> ion and the amount of sulfur in the form of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ion which can be extracted from the soil with a 1 M KCl solution.

Although this is the only series of soil studies to demonstrate the effect of N fertilization on soil N-supplying capacity, its role in expert advisory practice is debatable.

***EDTA-soluble Cu, Mn, Zn, (Fe) mg/kg - soluble Cu, Mn, and Zn content***

Trace elements, including copper, manganese, and zinc, are present in small amounts in the plant (0.01% to 0.00001%). Despite their small quantities, their role in plant life processes is essential. In their absence, the yield loss can exceed 40%.

Represents the amount that can be dissolved from the soil with a solution of EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) and 0.1 M KCl. The definition of iron usually does not make sense because its uptake depends on many factors, so the extractable Fe is not proportional to the amount of iron that the plant can utilize. This, as well as the uptake of Mo and B, is easier to infer from plant studies. The limit values for EDTA-Cu and EDTA-Zn in the soils are shown in Tables 8, 9, and 10.

Table 8: Estimation of soil EDTA-soluble Cu supply (mg/kg) (Buzás, 1983)

Restriction (K <sub>A</sub> )	Satisfactory Cu supply (mg/kg)		
	Humus %		
	<1	1-3	3<
<30	0.2 -	0.3 -	0.6 -
30-42	0.3 -	0.6 -	1.4 -
>42	0.6 -	1.2 -	3.2 -

Table 9: Estimation of soil EDTA-soluble Zn supply (mg/kg) (Buzás, 1983)

Restriction (K <sub>A</sub> )	Satisfactory Cu supply (mg/kg)		
	pH <sub>KCl</sub>		
	<6	6-8	8<
<37 (sand)	26 -	7 -	3 -
37-50 (adobe)	52 -	13 -	4 -
>50 (clay)	118 -	30 -	7 -



Table 10: Estimation of soil EDTA-soluble Zn supply (mg/kg) (Buzás, 1983)

Restriction (K <sub>A</sub> )	Zn (mg/kg)	
	poor	good
<38 (sand)	<1.0	1.0 <
38-50 (adobe)	<2.5	2.5 <
>50 (clay)	<3.5	3.5 <

## A FENNTARTHATÓ MEZŐGAZDASÁGI MŰVELÉS ALAPELVEI ÉS TERMESZTETT NÖVÉNYEINK TÁPELEMELLÁTÁSA

KALOCSAI RENÁTÓ<sup>1</sup> – SZALKA ÉVA<sup>1</sup> – SVĚTLÍKOVÁ ANGELA<sup>2</sup> -  
KUKUROVÁ KRISTÍNA<sup>2</sup> - SZAKÁL TAMÁS<sup>1</sup> – GICZI ZSOLT<sup>1</sup> – VONA  
VIKTÓRIA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság -és Élelmiszer-tudományi Kar,  
Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup> Nemzeti Mezőgazdasági és Élelmiszerkutató Intézet, Pozsony

### ÖSSZEFOGLALÁS

Magyarország edafikus és klimatikus adottságai kiválóak a mezőgazdasági termelés, ezen belül a növénytermesztés számára. A mezőgazdasági termelők évről évre egyre magasabb termésátlagokkal és számos esetben jobb technológiai minőséggel büszkélkedhetnek, ami alapvető letéteményese a mezőgazdaság jövedelemtermelő képességének. Az intenzív gazdálkodás azonban szinte minden mezőgazdasági területen a talaj fizikai és kémiai romlását vonta maga után, mely hosszú távon veszélyezteti a talajok szerkezetességét, 3 fázisú rendszerének működését, termesztett növényeink tápanyagellátását, végső soron az eredményes gazdálkodást.

**Kulcsszavak:** talaj, fenntarthatóság, tápanyagellátás, talajvizsgálat

### ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by the Interreg V-A, SKHU/1802/3.1/023 Co-Innovation Program.

**REFERENCES**

*Birkás, M. ed.* (2001): Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban. Akaprint Kft, 2001. ISBN 963 9256 307

*Birkás, M. – Gyuricza, Cs. – Percze, A. – Schmidt, R. – Kalocsai, R. – Ujj, A.* (2002): Szántóföldi talajhasználati praktikum (szerk. *Gyuricza Csaba*) Egyetemi jegyzet /ISBN 963 9483 00 1/ V. fejezet (*Schmidt Rezső - Kalocsai Renátó*) Tápanyag-gazdálkodás, termesztett növényeink trágyaigényének meghatározása pp. 159-174.

*Buzás, I.* (1983): A növénytáplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

*Kalocsai, R. – Schmidt, R.* (2003): Szervestrágyázási igények növénytermesztési szempontból. Tanulmány (ed). Birkás, M. – Gyuricza, Cs. SZIE. Gödöllő. p. 51.

*Kalocsai, R.* (2007/A): A talajvizsgálati eredmények értelmezése. Tápanyag-gazdálkodási szakmai nap, Kecskemét, 2007. 02. 15.

*Kalocsai, R.* (2007/B): A talajvizsgálati eredmények értelmezésének problematikája. Országos Talajvédelmi Konzultáció. Dunakiliti, 2007. 05.14-15.

*Kalocsai, R., - Giczi, Zs., - Vona, V.* (2018): Talajvizsgálatok jelentősége a talajok tápelemszolgáltató képességének megítélésében és a talajvizsgálati eredmények értelmezése – I. rész Agro Napló 2018. december, Talajgyetem a gyakorló gazdáknak XII. 39-42 p.

*A szerzők levélcíme – Adress of the authors:*

Kalocsai Renátó

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: kalocsai.renato@sze.hu

Szalka Éva

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: szalka.eva@sze.hu

Szakál Tamás

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: thomas.szakal@gmail.com

Giczi Zsolt

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: giczi.zsolt@sze.hu

Vona Viktória

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: vonaviki@gmail.com

Světlíková Angela - Kukurová Kristína

Nemzeti Mezőgazdasági és Élelmiszerkutató Intézet, Pozsony

e-mail: angela.svetlikova@nppc.sk, kristina.kukurova@nppc.sk



**DETERMINATION OF IRON AND SULFUR CONTENT OF CEREAL  
SAMPLES BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA ATOMIC EMISSION  
SPECTROMETRY**

ZSOLT GICZI<sup>1</sup> –RENÁTÓ KALOCSAI<sup>1</sup> –ANDRÁS VÉR<sup>2</sup> –VIKTÓRIA VONA<sup>1</sup>  
– ISTVÁN KULMÁNY<sup>3</sup> – RITA SZÉKELYHIDI<sup>2</sup>

Széchenyi István University, Agricultural and Food Sciences, Mosonmagyaróvár

<sup>1</sup>Department of Water and Environmental Sciences

<sup>2</sup>Department of Food Science, Mosonmagyaróvár

<sup>3</sup>Department of Biological Systems and Food Technology

**SUMMARY**

In this study, the mineral content of different cereal grains was analysed. During our work, the iron and sulfur content of winter wheat (n = 8), durum wheat (n = 2), winter rye (n = 1), autumn triticale (n = 2) and some traditional wheat varieties such as einkorn wheat (n = 1) and spelt wheat (n = 3), as well as emmer wheat (n = 1) were examined. In the case of iron, the results obtained range between 31.84 mg kg<sup>-1</sup> d.m. and 55.96 mg kg<sup>-1</sup> d.m. In the case of the studied cultivars the lowest iron content in the case of the two triticale cultivars was obtained, while the highest values were found in the case of the conventional wheat cultivars. In the case of sulfur, the measured values range between 1540 mg kg<sup>-1</sup> d.m. and 2013 mg kg<sup>-1</sup> d.m.

**Keywords:** wheat, einkorn, emmer, spelt, iron, sulfur

**INTRODUCTION AND LITERATURE REVIEW**

More than 40% of the world's population suffers from micronutrient deficiencies, also known as "hidden hunger". While about 800 million people worldwide are chronically hungry, which means they are malnourished in terms of calories, more than 2 billion

people are affected by micronutrient deficiencies. Latent starvation can result in many health problems learning difficulties for children, the economic costs borne by society as a whole (Murphy *et al.*, 2008; Gödecke *et al.*, 2018). Latent hunger is particularly risky for pregnant women and children due to rapid growth (Black *et al.*, 2013).

This study compares three common crops - wheat, rye, and triticale. Wheat (*Triticum aestivum*) is a widely grown cereal due to its grains, an indispensable food worldwide (Tóth *et al.*, 2018). It is one of the oldest grains people grow. Common wheat is the most widespread species globally and the second most widely grown crop. The main goal of modern wheat cultivation is to create higher-yielding varieties with excellent baking properties, good nutritional quality, and adequate resistance to disease. Its exceptional properties and beneficial chemical composition make wheat an essential bread grain in many countries (Biel *et al.*, 2020). Nowadays, ancient cereal varieties are experiencing a renaissance due to their advantageous properties, so some of these varieties in our study were included. Rye (*Secale cereale*) is grown as a cereal and fodder plant. Rye is traditionally used for baking in Eastern and Northern Europe. The structure and taste of rye bread are different from wheat bread. Rye is generally a good source of dietary fibre, phenolic compounds, vitamins, as well as trace elements and minerals (Poutanen *et al.*, 2014). Although rye (genus *Secale*) is closely related to wheat (genus *Triticeae*), it is known that the chemical composition of wheat and rye grains is different (Rodehutschord *et al.*, 2016). Triticale is a hybrid of wheat and rye that was first used in the late 19th century. It combines the yield potential and quality of wheat with the environmental tolerance of rye. It is used primarily as a fodder grain but can also be used as a bread grain.

In recent years, significant progress has been made in understanding the uptake processes and pathways of the various chemical elements found in plants. It has been shown that different genotypes may differ in their needs for minerals, nutrient uptake, transport, and utilization (Shtangeeva *et al.*, 2010). Our study aimed to compare the concentrations of two selected mineral nutrients, iron (Fe) and sulfur (S), in some ancient and modern wheat cultivars and some further cereals.

**MATERIALS AND METHODS**

In our study, several varieties of different cereals were examined, including winter wheat (n = 8), durum wheat (n = 2), winter rye (n = 1), autumn triticale (n = 2), and some conventional varieties, such as einkorn wheat (n = 1), spelt wheat (n = 3) and emmer wheat (n = 1). The varieties studied are listed in Table 1.

1. *Table: Cereals included in the study*

Cereals	Varieties studied
winter wheat	Mv. Ménrót, Mv. Nemere, Mv. Nádor, Balaton, Mv. Tallér, Astaro, Folklore, Genius
autumn triticale	Mv. Talentum, Szilaj
autumn durum wheat	Mv. Pelsodur, Auradur
rye	Dankowski Diament
einkorn wheat	Mv. Alkor
spelt wheat	Mv. Martongold, Lajta, Őko10
emmer wheat	Mv. Hegyes

The field experiment was designed in Mosoni plain near Jánossomorja. The soil of the experimental area is clayey loam soil (Arany's soil texture index 48) with a medium humus content (3.21 m/m%), the soil is weakly calcareous (carbonated lime content 3.97 m/m%) with a neutral pH value (pHKCl 7.14). The phosphorus and potassium content of the soil is excellent, while the magnesium content is satisfactory. The test results showed no accumulation of sodium in the studied soil layer. The supply of micronutrients to the soil was moderate.

A randomised block design was used as the design of the small-plot experiment. Each variety was sown in four replicates, with a net plot size of 10 square meters.

To examine the elemental composition, the grain yield was ground (Sencor, SCG 2050RD) and then prepared for the study by microwave-assisted acid digestion. A MARS 6 iWave (CEM Corporation, Matthews, NC, USA) was used for sample preparation.

Approximately 0.4 g of air-dried sample was weighed to the nearest 1 mg, 5 mL of concentrated nitric acid (65 w/w%, Selectipur grade, Lach-Ner, Neratovice, Czech Republic) and 1 ml of hydrogen peroxide (30 w/w%, analytical reagent grade, Molar

Chemicals, Halásztelek, Hungary) was added to each sample (minimum 6 mL of solution is required in the reaction vessels to measure the appropriate temperature). The reaction vessels were sealed and the prepared samples were digested. At first, 6-12 samples were prepared in parallel. The digestion was carried out at 210 °C for 15 minutes under continuous temperature control after 15 minutes of a heating phase. The reaction vessels were cooled and the resulting solutions were diluted to 25 mL with 0.1 mol L<sup>-1</sup> nitric acid. Reagent blank samples were prepared in parallel with the samples.

Prepared samples were analysed by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) with an Agilent 5110 Vertical Dual View (Agilent, Santa Clara, CA, USA). The digests were analysed directly, without further dilution. The dilution factor of the samples was 62.5 (V/m).

The dry matter content of the air-dried samples was also determined by drying at 105 °C for 4 hours. The results of the elemental analyses are given based on the dry matter content.

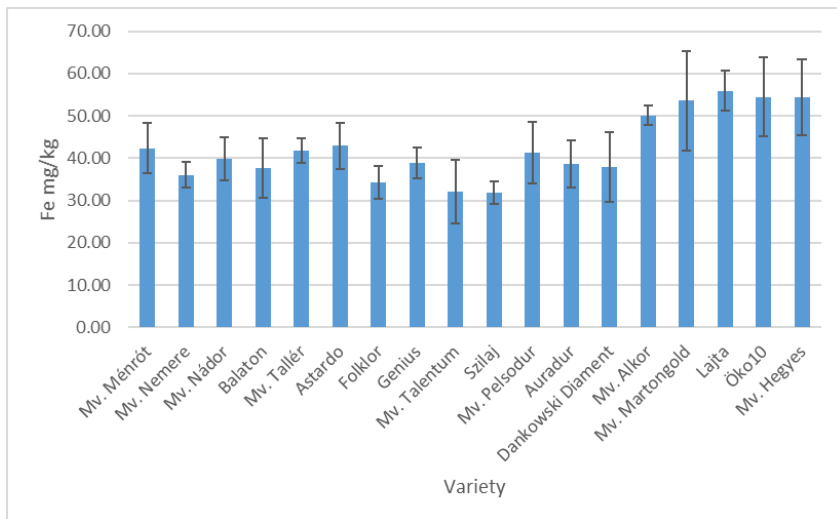
During the statistical analysis of the experimental data, after examining the homogeneity of the standard deviations (Bartlett test), the differences between the varieties were checked by one-way analysis of variance. After the analysis of variance, the Least Significant Differences (LSD) were determined to determine the different cultivars.

The statistical calculations were performed based on Svab (1973) and Szucs (2002). The Microsoft Office Excel 2016 software package was used to evaluate the experimental results.

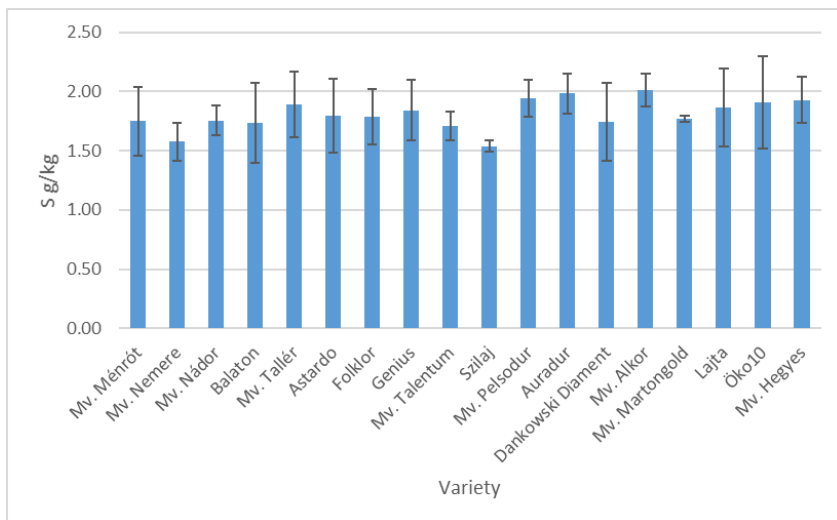
## **RESULTS AND DISCUSSION**

Mineral compounds in cereals are also crucial for nutritional and technological reasons. The chemical composition of cereals fundamentally affects the quality of flour and the various cereal products derived from it. Because cereals are used as a staple food in many countries, they are essential sources of macro and micronutrients such as iron (*Hussain et al.*, 2010; *Zhang et al.*, 2010; *Biel et al.*, 2020) and sulfur (*Jørgensen et al.*, 2007, *Hussain et al.*, 2010), which are essential for proper nutrition of humans and animals.

The test results obtained are shown in *Figures 1 and 2*. In the case of iron, the results obtained range between 31.84 mg kg<sup>-1</sup> d.m. and 55.96 mg kg<sup>-1</sup> d.m., and between 1540 mg kg<sup>-1</sup> d.m. and 2013 mg kg<sup>-1</sup> d.m. for sulfur.



*Figure 1:* Iron (Fe) content (mg kg<sup>-1</sup> d.m.) and their standard deviation values of the examined cereal samples



*Figure 2:* Sulfur (S) content (mg kg<sup>-1</sup> d.m.) and their standard deviation values of the examined cereal samples



In the case of the studied cultivars, the analyzed nutrients could be detected in similar amounts. However, differences can also be observed between the individual cultivars. The analysis of variance performed on the obtained data and the significant differences per pair are summarized in *Tables 2, 3, and 4*.

Table 2: Analysis of variance of iron (upper) and sulfur (lower) results

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	5114.7872	71			
Fajta	4241.7360	17	249.5139	15.433	***
Hiba	873.0512	54	16.1676		

\*\*\* P=1%, \*\* P=5%, \*P=10%

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	2.3398	71			
Fajta	1.1184	17	0.0658	2.908	***
Hiba	1.2215	54	0.0226		

\*\*\* P=1%, \*\* P=5%, \*P=10%

Table 3: Significant differences between the iron contents measured

	Variety	Fe mg kg <sup>-1</sup> d.m.													
		Mv. Ménrót	Mv. Nemeró	Mv. Nádor	Balaton	Mv. Tallér	Astardo	Folklor	Genius	Szilaj	M. Pelsodu	owski Diar	Martong	Lajta	Óko10
1.	Mv. Ménrót	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	Mv. Nemeró	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.	Mv. Nádor	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.	Balaton	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.	Mv. Tallér	ns	**	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.	Astardo	ns	**	ns	*	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.	Folklor	***	ns	*	ns	**	***	-	-	-	-	-	-	-	-
8.	Genius	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-
9.	Szilaj	***	ns	***	**	***	***	ns	**	-	-	-	-	-	-
10.	M. Pelsodu	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	***	-	-	-	-	-
11.	owski Diar	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	**	ns	-	-	-	-
12.	v. Martong	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	-	-	-
13.	Lajta	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	-	-
14.	Óko10	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	ns	-

\* Significant difference (p<0.10)

SzD<sub>10%</sub>= 4.76

\*\* Significant difference (p<0.05)

SzD<sub>5%</sub>= 5.70

\*\*\* Significant difference (p<0.01)

SzD<sub>1%</sub>= 7.59

ns not significant (p≥0.10)

Table 4: Significant differences between the sulfur contents measured

	Variety	S mg kg <sup>-1</sup> d.m.													
		Mv. Ménró	Mv. Nemer	Mv. Nádor	Balaton	Mv. Tallér	Astardo	Folklor	Genius	Szilaj	v. Pelsodu	owski Diar	Martong	Lajta	Óko10
1.	Mv. Ménró	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	Mv. Nemer	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.	Mv. Nádor	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.	Balaton	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.	Mv. Tallér	ns	***	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.	Astardo	ns	**	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.	Folklor	ns	*	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	-
8.	Genius	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-
9.	Szilaj	*	ns	*	*	***	**	**	***	-	-	-	-	-	-
10.	v. Pelsodu	*	***	*	*	ns	ns	ns	ns	***	-	-	-	-	-
11.	owski Diar	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	-	-	-	-
12.	v. Martong	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	-	-	-
13.	Lajta	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns	-	-
14.	Óko10	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	-

\* Significant difference (p<0.10) SzD<sub>10%</sub>= 0.18  
 \*\* Significant difference (p<0.05) SzD<sub>5%</sub>= 0.21  
 \*\*\* Significant difference (p<0.01) SzD<sub>1%</sub>= 0.28  
 ns not significant (p≥0.10)

Differences in iron and sulfur content were measurable between certain varieties. The lowest values were measured for the two studied triticale cultivars in terms of iron content. Higher iron content was detected in the case of “old” einkorn, spelt, and emmer wheat varieties rather than in the case of common wheat varieties, similarly to *Suchowilska et al.* (2012). The highest iron content ( $55.96 \pm 4.81$  mg kg<sup>-1</sup> d.m.) was obtained in the case of spelt wheat variety “Lajta”. For sulfur content, the differences were more minor between samples. Of the two triticale cultivars examined, a lower value was measured in the case of the “Szilaj” cultivar ( $1.54 \pm 0.05$  g kg<sup>-1</sup> d.m.).

## CONCLUSIONS

In our field experiment, three common kinds of cereal and several varieties were compared. Our experimental results confirm previous findings that intra-plant element transport processes can differ significantly between similar plant species/varieties, even if they grow under the same conditions. Because of their essential role in the diet, cereals can meet our daily mineral nutrient needs. According to the FAO/WHO recommendation (URL1), the daily requirement is 0.6-3 mg for iron, depending on gender and age. Dietary iron intake is utilized at a relatively poor rate. However, even with a 5% utilization of dietary iron, it means a maximum of 12-60 mg of iron requirement per day. A significant part of this can be covered by iron intake from grain consumption. The degree of

differences between the two varieties proved to be different for the two elements, so it is important to include additional mineral nutrients in the studies.

## GABONAMINTÁK VAS- ÉS KÉNTARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA INDUKTÍV CSATOLÁSÚ PLAZMA ATOMEMISSZIÓS SPEKTROMETRIÁVAL

GICZI ZSOLT<sup>1</sup> – KALOCSAI RENÁTÓ<sup>1</sup> – VÉR ANDRÁS<sup>2</sup> – VONA VIKTÓRIA<sup>1</sup>  
– KULMÁNY ISTVÁN<sup>3</sup> – SZÉKELYHIDI RITA<sup>2</sup>

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdság- és Élelmiszertudományi Kar

<sup>1</sup>Víz- és Környezettudományi Tanszék

<sup>2</sup>Élelmiszertudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

<sup>3</sup>Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék

### ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tanulmányunkban különböző gabonafajták szemtermésének ásványi anyag tartalmát vizsgáltuk. Munkák során őszi búza (n = 8), durumbúza (n = 2), őszi rozs (n = 1), őszi tritikálé (n = 2), valamint néhány hagyományos búzafajta, mint az alakor (n=1), a tönkölybúza (n = 3) és a tönkebúza (n = 1) vas és kéntartalmát határoztuk meg. Vas esetében a kapott eredmények 31,84 mg kg<sup>-1</sup> sz.a. és 55,96 mg kg<sup>-1</sup> sz.a. között változtak. A vizsgált fajták esetében a két tritikálé fajta esetében kaptuk a legalacsonyabb vas tartalmat, míg a legmagasabb értékek a hagyományos búzafajták esetében voltak kimutathatók. Kén esetében a mért értékek 1540 mg kg<sup>-1</sup> sz.a. és 2013 mg kg<sup>-1</sup> sz.a. között változtak.

**Kulcsszavak:** búza, alakor, tönke, tönköly, vas, kén

### ACKNOWLEDGMENTS

The work was funded by the AgriNatur AT-HU project ATHU050 implemented within the framework of the Interreg VA Austria-Hungary Cooperation Program 2014-2020. The procurement of equipment used in the laboratory tests was financed by the projects number GINOP-2.3.4-15-2016-00003 and SKHU / 1802 / 3.1 / 023 Co-innovation.

Moreover, the project was supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund and the European Regional Development Fund.

## BIBLIOGRAPHY

- Biel, W. – Kazimierska, K. – Bashutska, U. (2020): Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. *Acta Sci. Pol. Zootechnica*, 19(2), 19–28.
- Black, R. E. – Victora, C. G. – Walker, S. P. – Bhutta, Z. A. – Christian, P., de Onis, M. – Uauy, R. (2013): Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries. *The Lancet*, 382(9890), 427–451.
- Gödecke, T. – Stein, A. J. – Qaim, M. (2018): The global burden of chronic and hidden hunger: Trends and determinants. *Global Food Security*, 17, 21–29.
- Hussain, A. – Larsson, H. – Kuktaitte, R. – Johansson, E. (2010): Mineral Composition of Organically Grown Wheat Genotypes: Contribution to Daily Minerals Intake. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(9), 3442–3456. doi:10.3390/ijerph7093442
- Jørgensen, J. R. – Deleuran, L. C. – Wollenweber, B. (2007): Prospects of whole grain crops of wheat, rye and triticale under different fertilizer regimes for energy production. *Biomass and Bioenergy*, 31(5), 308–317. doi:10.1016/j.biombioe.2007.01.001
- Murphy, K.M. – Reeves, P.G. – Jones, S.S. (2008): Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. *Euphytica* 163, 381–390 (2008). <https://doi.org/10.1007/s10681-008-9681-x>;
- Poutanen, K. – Katina, K. – Heiniö, R.-L. (2014): Rye. *Bakery Products Science and Technology*, 75–87. doi:10.1002/9781118792001.ch4
- Markus Rodehutscord – Christine Rückert – Hans Peter Maurer – Hans Schenkel – Wolfgang Schipprack – Knud Erik Bach Knudsen – Margit Schollenberger – Meike Laux – Meike Eklund – Wolfgang Siegert – Rainer Mosenthin (2016): Variation in chemical composition and physical characteristics of cereal grains from different genotypes, *Archives of Animal Nutrition*, DOI: 10.1080/1745039X.2015.1133111
- Shtangeeva, I. – Steinnes, E. – Lierhagen, S. (2011): Macronutrients and trace elements in rye and wheat: Similarities and differences in uptake and relationships between elements. *Environmental and Experimental Botany*, 70(2-3), 259–265. doi:10.1016/j.envexpbot.2010.09.0

*Suchowilska, E. – Wiwart, M. – Kandler, W. – Krska, R. (2012): A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four Triticum species. PLANT SOIL ENVIRON., 58(3): 141–147.*

*Tóth, E. A. – Kalocsai, R. – Dorka-Vona, V., Szakál, T. (2018): A Zn-lombtrágyázás hatása az őszi búza főbb értékmérő tulajdonságaira. Acta Agronomica Óváriensis, 59(1), 4-12.*

*URL1: <http://www.fao.org/3/y2809e/y2809e.pdf>*

*Zhang, Y. – Song, Q. – Yan, J. – Tang, J. – Zhao, R. – Zhang, Y. – Ortiz-Monasterio, I. (2009): Mineral element concentrations in grains of Chinese wheat cultivars. Euphytica, 174(3), 303–313. doi:10.1007/s10681-009-0082-6*

*A szerzők levélcíme – Address of the authors:*

Giczi Zsolt

Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: [giczi.zsolt@sze.hu](mailto:giczi.zsolt@sze.hu)

Kalocsai Renátó

Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: [kalocsai.renato@sze.hu](mailto:kalocsai.renato@sze.hu)

Vér András

Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: [ver.andras@sze.hu](mailto:ver.andras@sze.hu)

Vona Viktória

Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: [vonaviki@gmail.com](mailto:vonaviki@gmail.com)

Kulmány István

Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: kulmanyi@gmail.com

Székelyhidi Rita

Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: szekelyhidi.rita@sze.hu



## COMPOSITIONS OF TERPENES IN ESSENTIAL OILS MADE OF JUNIPER BERRIES

FILIP DIMITROV<sup>1</sup> - ELENA PANGHYOVA<sup>2</sup> - VLADIMIRA VARGOVA<sup>3</sup> –  
KUNSTEK MAREK<sup>2</sup> - STANISLAV BAXA<sup>2</sup> - ZUZANA KOVACIKOVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry and Food Analysis, Food Research Institute, National Agricultural and Food Centre, Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup>Department of Technological Innovations and Cooperation with Practice, Food Research Institute, National Agricultural and Food Centre, Modra, Slovak Republic

<sup>3</sup>Department of Pratotecnics and Ecology, Research Institute of Grasslands and Mountain Agriculture, National Agricultural and Food Centre, Banská Bystrica, Slovak Republic

### ABSTRACT

Juniper berries have many uses, but they are most famous as ingredients in the production of alcoholic beverages. The quality of an alcoholic beverage is affected by the composition of terpenes found in essential oil made of juniper berries. The presented paper deals with the composition of essential oils extracted from *J. Communis L.* berries obtained from seven areas in Slovakia. It was determined that juniper essential oil contains monoterpenes ranging from 54.5 to 63.1 % and sesquiterpenes ranging from 35.2 to 45.2 %. Dominant monoterpenes in juniper essential oil are  $\alpha$ -pinene, with its peak area % ranging from 27.77 % to 36.59 %, followed by myrcene (6.68 - 13.35 peak area %), D-limonene (0.83 - 3.76 peak area %),  $\gamma$ -terpinene (0.17 - 1.1 peak area %),  $\alpha$ -terpinolene (0.46 - 1.17 peak area %). Dominant sesquiterpenes are germacrene-D (8.25 - 19.68 peak area %), germacrene-B (2.08 - 9.62 peak area %),  $\beta$ -elemene (0.43 - 3.86 peak area %),  $\alpha$ -humulene (1.27 - 3.62 peak area %),  $\beta$ -caryophyllene (2.28 - 8.29 peak area %) and  $\delta$ -cadinene (1.56 - 3.67 peak area %). Distillates characterized by different terpene profile compositions, especially in the content of  $\alpha$ -pinene and myrcene, were

obtained by fermentation of berries *J. communis* as well as *J. oxycedrus* and their subsequent extractive distillation. The content of  $\alpha$ -pinene (43.91 peak area %) and myrcene (20.98 peak area %) is higher in the distillate made from *J. oxycedrus* berries and the content of germacrene–D (9.84 peak area %) is higher in the distillate made from juniper *J. communis*.

**Keywords:** Juniperus, essential oils, juniperus distillate, *J. oxycedrus*, *J. communis*, genebra

## INTRODUCTION

The genus *Juniperus* (Family *Cupressaceae*) is an evergreen shrub or tree, mostly found in the cool and moderate regions of the northern hemisphere. Its occurrence has also been reported in South Africa and Australia, but only in limited quantities. The genus consists of approximately 75 species and is divided into three sections. While the *Coriocoerus* section contains 1 species, the *Juniperus* section contains 14 species and the *Sabina* section consists of 60 species. The most important species within the *Juniperus* section are *J. communis* and *J. oxycedrus*. Natural habitat of *J. communis* is the entire northern hemisphere, while *J. oxycedrus* species is the most widespread in the Mediterranean area (Adams, 2004). Juniper berries are used as a culinary ingredient to season meat and sauces and as an aromatic ingredient in the production of alcoholic beverages. The most well-known drink containing juniper berries is gin, its origin has been recorded in Netherlands. An alcoholic beverage called “Borovička” is typical for Slovakia. Pursuant to Regulation (EU) 787/2019 of the European Parliament and of the Council, “Borovička” may be designated under the legislation by name “*Wacholder*” or “*genebra*”. A fermentative maceration of juniper berries and their subsequent extractive distillation without additional aromatic components added is a unique process that distinguishes the production of Borovička beverage in Slovakia from the production of other spirits. In the past, juniper was often used in traditional medicine. The fruits had been used as a diuretic, to treat gastrointestinal problems or rheumatism, arthritis and gout, and it is thought to have anti-inflammatory and analgesic effects. Native Americans used *J. communis* berries as a contraceptive and in diabetes treatment (McCabe, 2005). Hypoglycemic, antidiabetic and urinary effects have been demonstrated in several scientific papers (Petlevski, 2001; Sanchez, 1994; Kalam, 2020; Orhan, 2012), but clinical data confirming beneficial



therapeutic effects in human studies are not sufficient. Many studies have reported strong antioxidant activity of juniper berries (Elmastas, 2006; Lesjaka, 2014; Miceli, 2011; Pandey, 2018; Alkheldaide, 2019). It has been shown that the long-term use of juniper drugs leads to kidney damage and these drugs are not suitable for pregnant women (Raina, 2019). Other studies have been studying inhibitory activity of essential oil made of *J. communis* berries against *Bacillus aureus*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Corynebacterium spp.* and *Staphylococcus aureus* (Pepeljnjak, 2005; Filipowicz, 2003; Glisic, 2007; Falcão, 2018). (Pepeljnjak, 2005; Filipowicz, 2003; Glisic, 2007; Falcão, 2018). Juniper oil has been shown to inhibit the growth of *S. aureus* (MIC 4.75  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ ) as well as *E. coli* (MIC 16.8  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ ) and contributes positively to the production of anti-inflammatory factors. It also has antifungal, antiviral and antioxidant properties (Raina, 2019; Darwish, 2020).

The aromatic character of juniper and its products is determined by the composition of the essential oil, which is variable and depends not only on the type of juniper, but also on soil-climatic conditions, harvest time and the age of the plant and, last but not least, distillation techniques. The content of essential oil in *J. communis* berries was determined to be 0.94 % of their weight. In *J. excelsa* berries it was 1.22 % of weight, 1.4% in *J. pygmaea*, 0.47 % in *J. sibirika*, 0.67 % in *J. oxycedrus* and 1.59 % of *J. sabinus* (Valtcho, 2018). Comparable results of 0.68 % - 0.72 % essential oil content of the total berry weight were found in *J. oxycedrus* spp., which were obtained in Lebanon (Loizzo 2007). Variability in the content and quality of essential oils made from *J. oxycedrus* berries was monitored in five localities in Kosovo and the content of essential oils varied from 0.4 to 1.8 % of the weight. The results are compared with the content of essential oils from Italy in the amount of 0.5 to 2.5 % and from Morocco 1.66 % (Hajdari, 2014; Elhoussine, 2011; Salido, 2002).

At this paper, we focused on determination of essential oil content of *J. communis* berries and the composition of terpenes providing the typical juniper aroma.

## MATERIAL AND METHODS

Monitoring of localities with the occurrence of the common juniper *J. communis* was carried out in 2020 in localities with different altitudes ranging from 185 mamsl to 749

mamsl: Kišovce, Priechod, Horné Lazy, Iliáš, Selčianske sedlo, Chrámec. Berries were harvested in October. *J. oxycedrus berries* were obtained from Albania.

### ***Determination of essential oils content***

Essential oil content was determined by means of steam hydrodistillation on an essential oil apparatus. 150 cm<sup>3</sup> of distilled water was added to 25 g of berries. Hydrodistillation was performed within 1 h, the distillation was stopped for 30 min and then it continued for another 30 min.

### ***Fermentation of juniper berries***

A mixture of juniper berries and water (1 : 5) was fermented at 18 ° C by *S. cerevisiae* yeast, stationary, for 7 days. The fermented mixture was mixed with agricultural alcohol and distilled to an alcohol content of 60 vol. %.

### ***GC-MS analysis of essential oil.***

Semiquantitative analysis of juniper essential oil was performed on a gas chromatograph paired with a mass spectrometer (Agilent technologies, USA) paired with an autosampler (Agilent technologies, USA).

Chromatographic column HP-INNOWax (Agilent technologies, USA) was installed in the gas chromatograph with the following dimensions of 30 m x 0.25 mm x 0.5 µm and a polar stationary phase. The oven temperature program was set to initial 40°C held for 1 minute, then raised to 250°C with the gradient of 5°C per minute and held for 2 minutes. The inlet was kept at 250°C set to split mode with the split ratio of 10:1. Helium was the carrier gas, set to constant flow of 1,5 ml/min with the linear speed of 45 cm.<sup>s-1</sup>. The mass spectrometer was in the EI mode with the fragmentation voltage set to 70eV and the scan range being 29 – 250 m/z.

Identification of the compounds was performed by comparing the mass spectra of the detected compounds with the mass spectra of the library NIST14.

## **RESULTS AND DISCUSSION**

The obtained essential oils were light in colour with a strong juniper aroma. GC-MS analysis showed that essential oils mainly consist of monoterpenes, which, on average,

represent  $59.2 \pm 3.5\%$  of all identified components in the obtained essential oil. The dominant monoterpene in the essential oil is  $\alpha$ -pinene (27.77 – 36.59 peak area %), which is characterized by a strong pine and woody aroma. The second most abundant is myrcene (6.68 – 13.35 peak area %), sensorially contributing to woody, spicy aroma. Sesquiterpenes average at  $38.8 \pm 3.7$  of all identified compounds, with germacrene-D, characterized by a strong woody aroma, being the most abundant (9.08 – 19.68 peak area %). The relative content of monoterpenes and sesquiterpenes changes during ripening of juniper berries. While the berries are ripening, the content of sesquiterpenes gradually increases and the content of  $\alpha$ -pinene decreases. Germacrene-D increases as the berries ripen and germacrene-D becomes the dominant sesquiterpene in ripe berries in November (Falasca, 2016). The content of dominant  $\alpha$ -pinene was different in separate locations. Most  $\alpha$ -pinene was found in the essential oil from locations of Horné lazy (36.59 peak area %) and Priechod (34.38 peak area %). These locations are situated at an altitude of 578 and 470 m amsl. Location Chrámec is at the lowest altitude (185 m amsl) and the content of  $\alpha$ -pinene at this location was determined at 30.0 peak area %. Juniper berries from the highest situated location of Selčianske sedlo (749 m amsl) and Kišovce (667 m amsl) contained  $\alpha$ -pinene with the following abundance of 30.51 peak area % and 32.12 peak area % respectively. On the basis of the above mentioned results, it is not possible to confirm that altitude of the location affects neither quality nor quantity of the essential oil. The content of essential oil in juniper berries ranged from 1.3% to 2.2% (table 1). These experiments concerning statistical evaluation of qualitative and quantitative properties of essential oils made of juniper berries will continue in the following years.

Table 1: Comparison of the composition of terpenes in the essential oil made of juniper berries from the monitored localities in 2020.

Location Content	Priechod	Horné Lazy	Iliš	Ostrá Hora	Chrámec	Selčianske sedlo	Kišovce
<b>EO content g/100 g of fruit</b>	<b>1.3</b>	<b>2.1</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>2.2</b>	<b>1.9</b>	<b>2.1</b>
<b>Monoterpenes</b>	<b>peak area %</b>						
$\alpha$ -pinene	34.38	36.59	30.73	27.77	30.05	30.51	32.12
camphene	0.24	0.23	0.21	0.17	0.16	0.19	0.22
$\beta$ -pinene	2.19	2.28	2.42	1.93	1.52	2.17	1.88
sabinene	2.30	2.78	9.93	14.28	9.83	6.45	7.23
3-carene	0.12	0.09	0.52	0.58	0.46	0.24	0.30
myrcene	9.83	6.68	12.42	7.82	12.59	12.46	13.35
D-limonene	1.41	3.76	1.8	2.54	2.16	2.68	0.83
$\beta$ -phellandrene	0.46	0.46	0.59	0.49	0.31	0.49	0.46
$\gamma$ -terpinene	0.21	0.17	1.01	1.1	0.83	0.43	0.83
$\alpha$ -terpinolene	0.50	0.46	1.17	1.13	1.05	0.74	0.95
p-cymene	0.19	x	0.51	0.48	0.37	0.2	0.45
borneol	0.12	x	0.13	x	x	x	0.25
bornyl acetate	0.28	0.32	0.24	0.22	0.28	0.27	0.38
$\alpha$ -terpineol	0.66	0.47	0.45	0.29	0.43	0.21	0.6
citronellyl tiglate	x	x	0.11	x	0.08	0.14	0.16
<b>sesquiterpenes</b>	<b>peak area %</b>						
$\alpha$ -cubebene	0.49	0.87	0.66	0.46	0.87	0.75	0.23
$\alpha$ -copaene	0.43	0.42	0.44	0.17	0.21	0.25	0.28
$\gamma$ -elemene	1.75	0.74	0.2	2.28	0.93	3.05	1.54

## COMPOSITIONS OF TERPENES IN ESSENTIAL OILS MADE OF JUNIPER BERRIES

$\beta$ -elemene	3.06	3.86	0.4 3	2.01	1.25	2.05	2.06
$\beta$ -farnesene	1.83	0.77	2.0 7	0.82	0.69	1.62	0.72
$\alpha$ -humulene	1.97	2.16	1.5 6	3.62	2.09	1.27	2.42
$\beta$ -caryophyllene	2.28	2.46	3.8 8	8.29	4.41	2.35	5.96
$\gamma$ -muurolene	0.39	0.36	0.2 7	0.24	0.38	0.21	0.28
germacrene-D	19.68	17.68	10. 01	9.70	14.54	8.25	9.08
cis muurola-4- (15), 5diene	0.24	0.23	0.2 1	0.16	0.17	0.16	0.21
$\alpha$ -muurolene	0.98	1.03	0.7 1	0.60	0.84	0.52	0.72
selina 3.11 diene	0.31	0.31	0.2 1	0.18	0.32	0.2	0.24
$\delta$ -cadinene	2.84	3.67	2.2 5	1.65	2.16	1.56	2.34
$\gamma$ -cadinene	0.53	0.16	0.0 9	x	x	x	0.2
cadina 1.4 diene	0.12	0.14	0.0 6	x	x	x	0.12
germacrene-B	4.69	2.08	9.6 2	5.98	6.2	8.62	4.03
caryophyllene oxide	0.14	0.33	0.0 7	x	0.13	x	x
nerolidol	0.15	0.26	0.1 2	x	0.09	x	0.2
elemol	0.2	0.16	0.1	0.2	0.12	0.24	0.18
spathulenol	0.39	0.40	0.3 2	0.15	0.29	0.26	0.31
$\alpha$ -cadinol	x	1.67	0.5 4	0.93	0.15	3.53	2.37
germacrene -4-ol	1.2	2.5	0.7 5	1.1	0.68	1.07	0.71
other	0.31	3.02	1.6 6	0.67	1.96	3.72	2.37
<b>Percentage composition of constituents in juniper essential oil</b>							
% monoterpenes	54.5	54.5	63. 1	59.9	61.0	59.0	62.1
% sesquiterpenes	45.2	42.5	35. 2	39.4	37.0	37.1	35.5
% of other components	0.3	3.0	1.7	0.7	2.0	3.8	2.5

Significant differences in the quality of essential oils were manifested in separate locations. The highest content of dominant  $\alpha$ -pinene was found in the essential oil from

the location of Horné lazy (36.59 peak area %) and the lowest content of  $\alpha$ -pinene was found at the location of Ostrá Hora (27.77 peak area %). At the same time, comparison of  $\gamma$ -terpinene and  $\alpha$ -terpinolene content proved that the content of  $\gamma$ -terpinene  $\alpha$ -terpinolene Ostrá Hora (1.10 and 1.13 peak area %) in and Chrámec location (0.83 and 1.05 peak area %) is higher in Priechod while the content of  $\alpha$ -pinene (0.2 and 0.5 peak area %) is lower. Differences were also found in D-limonene content, with the highest proportion was detected in the essential oil obtained from junipers plants in Horné Lazy location (3.76 peak area %) and the lowest abundance was detected in Kišovce location (0.83 peak area %). In terms of content evaluation regarding other terpene components, the difference of germacrene-D content ranging from the interval of 8.25 peak area % (as detected in Selčianske Sedlo location) to 19.68 peak area % (Priechod location), is also interesting. From the perspective of the overall composition of monoterpenes and sesquiterpenes in separate locations, there are no significant differences in composition. These results suggest the need to monitor the quality and quantity of essential oils from separate locations in order to identify possible different juniper chemotypes and targeted plant breeding with a defined chemotype. In recent decades, a systematic destruction of juniper shrubs occurs, mainly as a result of agricultural activity, even though Slovak distilleries would need 500 tons of juniper berries annually to produce Borovička spirit. In the light of environmental protection, the introduction of agroforestry systems in the management of permanent grasslands and the establishment of juniper pastures would make it possible to increase the production of common juniper. The importance of this task is also demonstrated by the way how a particular type of juniper affects the quality of the produced alcoholic beverage, due to a difference in the composition of terpenes in distillates obtained from fermented macerates of *J. communis* and *J. oxycedrus* berries.

Table 2: The identified major aromatic components in spirits obtained by means of fermented maceration of *J. oxycedrus* (harvested in 2019) and *J. communis* (harvested in 2020) and the profile of aromatic components in 60 % raffinate.

component	<i>J. communis</i> L. mixture of juniper berries from Slovakia (peak area %)	<i>J. oxycedrus</i> L. juniper berries from Albania (peak area %)
$\alpha$ -pinene	32.15	43.91
$\beta$ -pinene	3.47	2.06
myrcene	14.28	20.98
D-limonene	5.43	7.38
$\gamma$ -terpinene	1.66	0.33
Terpinen-4-ol	0.38	1.12
caryophyllene	1.52	0.58
Humulene	1.98	3.77
$\gamma$ -muurolene	0.4	0.96
Germacrene-D	9.84	4.56

As shown in the table 2 distillate made from *J. oxycedrus* contains a significantly higher content of  $\alpha$ -pinene and myrcene. The distillate obtained from *J. communis* berries contains a higher content of germacrene-D and caryophyllene. These results suggest that the type juniper berries may have a significant impact on quality of Borovička alcoholic beverage. As the resources of *J. communis* are gradually disappearing in the territory of the Slovak Republic, juniper berries for distilleries need to be imported, with *J. oxycedrus* being the most commonly imported species.

## CONCLUSION

The aim of this work was to monitor the terpene profile in essential oil made from berries of *J. communis* found in different regions of the Slovak Republic. It was found that the composition of essential oils was not affected by altitude, but it is likely that the juniper species growing in Slovakia may contain different chemotypes, which differ in the composition of the terpene profile in the essential oil obtained by hydrodistillation from juniper berries. The dominant terpenes in the essential oil profile are  $\alpha$ -pinene (27.77

– 36.59 peak area %), myrcene (6.68 – 13.35 peak area %), D-limonene (0.83 – 3.76 peak area %),  $\gamma$ -terpinene (0.21 – 1.1 peak area %),  $\alpha$ -terpinolene (0.46 – 1.17 peak area %), germacrene-D (8.25 – 19.68 peak area %), germacrene-B (2.08 – 9.62 peak area %),  $\beta$ -elemene (0.43 – 3.86 peak area %),  $\alpha$ -humulene (1.27 – 3.62 peak area %),  $\beta$ -caryophyllene (2.28 – 8.29 peak area %) a  $\delta$ -cadinene (1.56 – 3.67 peak area %). The juniper species chosen for production may have a significant effect on the quality of an alcoholic beverage. The distillate obtained by fermentation of *J. communis* and *J. oxycedrus* showed a different composition, especially in the content of  $\alpha$  pinene, myrcene and germacrene D.

## TERPÉNEK ÖSSZETÉTELE SZLOVÁKIÁBÓL SZÁRMAZÓ BORÓKABOGYÓBÓL KÉSZÜLT ILLÓOLAJOKBAN

DIMITROV FILIP<sup>1</sup> - PANGHYOVA ELENA<sup>2</sup> - VARGOVA VLADIMIRA<sup>3</sup> -  
MAREK KUNSTEK<sup>2</sup> - BAXA STANISLAV<sup>2</sup> - ZKOVACIKOVA UZANA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Odbor chémie a analýzy potravín, Výskumný ústav potravinársky, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava, Slovenská republika

<sup>2</sup>Odbor technologických inovácií a spolupráce s praxou, Výskumný ústav potravinársky, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Modra, Slovenská republika

<sup>3</sup>Odbor pratotechniky a ekológie, Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Banská Bystrica, Slovenská republika

### ÖSSZEFOGLALÁS

A borókabogyt főként alkoholos italok előállítására használják. Az alkoholos ital minőségét befolyásolja a borókabogytól készült illóolajban található terpének összetétele. A bemutatott cikk Szlovákia hét területéről származó *J. communis* borókabogytól készült illóolajok összetételével foglalkozik. Mint kiderült, a borókaolaj 54,5-63,1 % monoterpéneket, 35,2-45,2 % szeszkviterpéneket tartalmaz. A domináns monoterpén az  $\alpha$ -pinén, melynek tartalma 277,7  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$  és 365,9  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$  között van, ezt követi a mircén (66,8  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ -tól 133,5  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ -ig), a D-limonén (37,6  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ -tól 8  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ -ig),  $\gamma$ -terpinén (11  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ -tól 2,1  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ -ig),  $\alpha$ -terpinolén (4,6  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ -tól 11,7  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ -ig)



és a germakrén-D (82,5  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ -től 196  $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ -ig). A *J. communis*, valamint a *J. oxycedrus* bogyók fermentálásával, majd extraktív desztillációjával különböző terpénprofil összetételű desztillátumokat kaptunk, különösen  $\alpha$ -pinén és mircen tartalomban. Az  $\alpha$ -pinén (43,91 %) és a mircen (20,98 %) tartalma magasabb a *J. oxycedrus* bogyóból készült párlatban, a germakrén G tartalma (9,84) pedig a *J. communis* borókából készült párlatban.

**Kulcsszavak:** alkoholos ital, borókabogyó, terpének, illóolajok, fermentáció

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This publication has been produced with the support of the Agency for Research and Development Support under contract APVV-14-0843 "Research on potential of growing of juniper (*Juniperus communis* L.) for the production of berries" and APVV-19-0471 "Exploiting the potential of juniper (*J. communis* L.) in the food industry" and the Slovak-Hungarian cross-border cooperation project Interreg V-A Food Industry SKHU-1802/3.1/023 Co-innovation.

#### REFERENCES

- Adams, RP (2004): Junipers of the World: The Genus *Juniperus*, 4th Edition, Trafford Publication, Canada, Victoria BC, pp.413.
- Hajdari, A. et al (2014): Chemical composition of the essential oils of ripe berries of *Juniperus oxycedrus* L., growing wild in Kosovo. *Biochemical Systematics and Ecology* 57 90-94.
- Alkheldaide, A. et al (2019): Hypoglycemic and antioxidant effect of *Juniperus procera* extract on rats with streptozotocin-induced diabetes. *Pathophysiology* 26, 361–36
- Darwish, RS, Hammada HM, Ghareeb DA, Abdelhamid ASA, Bellah El Naggat EM, Harraz FM, Shawky E. (2020): Efficacy-directed discrimination of the essential oils of three *Juniperus* species based on their in-vitro antimicrobial and anti-inflammatory activities. *J Ethnopharmacol*, Sep 15; 259.
- Elhoussine, D., Chabir, R. (2011): Identification of the volatile constituents of the essential oil of *Juniperus oxycedrus* (Cupressaceae) from the North Center region of Morocco. *Asian. J. Pharm. Clin. Res.* 4 (1), 50-54, 2011.

- Elmastas, M., Gulcin S., Beydemir S.* (2006): A study on the *in vitro* antioxidant activity of Juniper (*Juniperus communis* L.) fruit extracts. *Analytical Letters*, 39 (1): 47-65.
- Falasca, A., et al.* (2016): GC-MS analysis of the essential oils of *Juniperus communis* L. berries growing wild in the Molise region: Seasonal variability and *in vitro* antifungal activity. *Biochemical Systematics and Ecology* 69, p. 166-175.
- Falcão, S., et al.* (2018): Chemical composition and antimicrobial activity of hydrodistilled oil from juniper berries. *Industrial Crops & Products*, 124 (2018) 878–884.
- Filipowicz, N., Kaminski, M., Kurlenda, J.* (2003): Antibacterial and antifungal activity of juniper berry oil and its selected components. *Phytotherapy Research*, 17 (3): 227-31.
- Glisic, S., Milojevic, S., Dimitrijevic-Brankovic, S., Orlovic, A., Aleksandar, S.* (2007): D. Antimicrobial activity of the essential oil and different fractions of *Juniperus communis* L. and a comparison with some commercial antibiotics. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 72 311 - 320.
- McCabe, M., Gohdes, D., Morgan, A.* (2005): Herbal therapies among Navajo Indians. *Diabetes Care*, 28 (6): 1534-5.
- Kalam Mohd Afsahul, Shahabuddin* (2020): Abhal (*Juniperus communis* L.): Beneficial Drug for Urogenital System - A Review *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, 65 (1), Article No. 04, Pages: 33-38.
- Lesjaka, M., et al* (2014): Phytochemical composition and antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial activities of *Juniperus macrocarpa*. *Journal of Functional Foods*, 7, 257-268.
- Loizzo Monica R., at al.* (2007): Comparative chemical composition, antioxidant and hypoglycaemic activities of *Juniperus oxycedrus* ssp. *oxycedrus* L. berry and wood oils from Lebanon. *Food Chemistry* 105, 572–578).
- Miceli, N., et al* (2011): Phenolic composition and biological activities of *Juniperus drupacea* Labill. berries from Turkey *Food and Chemical Toxicology*, 49, 2600–2608.
- Orhan, N., Aslan, M., Pekcan, M., Orhan, DD., Bedir, E., Ergun, F.* (2012): Identification of hypoglycaemic compounds from berries of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* through bioactivity guided isolation technique. *J Ethnopharmacol.*, 139 (1).
- Pandey, S., et al.* (2018): Antioxidant and anti-aging potential of Juniper berry (*Juniperus communis* L.) essential oil in *Caenorhabditis elegans* model system. *Industrial Crops & Products* 120, 113–122.

*Pepeljnjak, S., Kosalec, I., Kalodera, Z. (2005):* Antimicrobial activity of juniper berry essential oil (*Juniperus communis* L., cupressaceae). *Acta Pharmaceutica Zagreb*; 55 (4), 417.

*Petlevski, R., Hadzija, M., Slijepcevic, M. (2001):* Effect of 'antidiabetis' herbal preparation on serum glucose and fructosamine in NOD mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 75 (2), p.181-5.

*Raina, R., et al (2019):* Potential of *Juniperus communis* L as a nutraceutical in human and veterinary medicine. *Heliyon* 5, e02376.

*Sanchez, MF., Gamez, MJ., Jimenez, I. (1994):* Hypoglycemic activity of juniper "berries". *Planta Medica*, 60 (3), p.197-200.

*Salido, S., Altarejos, J., Nogueras, M., et al. (2002):* Chemical studies of essential oils of *Juniperus oxycedrus* ssp. *badia*. *Journal of Ethnopharmacology* 81 (2002) 129/134.

*Valtcho, D., at al. (2018):* Essential oil composition, antioxidant and antimicrobial activity of the galbula of six juniper species. *Industrial Crops & Products* 124 p. 449–458.



## THE EFFECT OF TILLAGE TO QUANTIFY OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM THE SOIL

JÁN HECL – BOŽENA ŠOLTYSOVÁ – IGOR DANIELOVIČ

National Agricultural and Food Centre – Agroecology Research Institute in  
Michalovce, Slovakia

### SUMMARY

Quantification of CO<sub>2</sub> emissions was tested in the years 2016 - 2018 on gleyic fluvisol in Milhostov at the grain maize. Maize was grown in two soil protection technologies (reduced tillage, direct sowing without tillage, resp. no-tillage), which were compared with conventional tillage with ploughing. The field experiment was established as a rotation of four crops: grain maize, spring barley, soybeans, winter wheat. Soil CO<sub>2</sub> emissions were measured at each tillage. Every year, in the monitored years higher CO<sub>2</sub> emissions were found in conventional tillage (average 0.166 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) and lower at reduced tillage (average 0.157 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> – reduced tillage. resp. average 0.153 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> direct sowing). From the point of view of the year a higher emission of carbon dioxide from the soil was found in 2016 (average 0.184 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), lower in 2017 (average 0.152 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) and the lowest in 2018 (average 0.142 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). The differences in CO<sub>2</sub> emissions found between tillage and reduced tillage and direct sowing were statistically insignificant.

**Keywords:** Gleyic Fluvisols, CO<sub>2</sub> emissions, tillage, maize

### INTRODUCTION

It is generally known that global climate change caused by anthropogenic emission of greenhouse gases is the most important environmental problem in human history. On the intensity of the greenhouse effect has significant influence the content of CO<sub>2</sub> in the

atmosphere, which is increasing mainly by burning fossil fuels. Less well known is the fact that tillage and farming methods in agriculture also contribute to the increase in CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere. In the last two decades the study of the CO<sub>2</sub> content of the atmosphere has become the subject of worldwide research, because its increasing concentration intensifies the greenhouse effect. There is a warming and climatologists are talking about climate change and its influence on all components of human activity including agriculture.

Carbon dioxide is one of the most important gases in the soil, where its concentration is 10 to 100 times higher than in the atmosphere. It is produced in the soil by two main processes - microbiological degradation of organic matter and respiration of the plant root system. This CO<sub>2</sub> production is very variable and depends on many external factors, but also on the properties of the soil profile. Soils are the largest terrestrial pool of carbon (C) storing 2344 Pg C (1 Pg = 1 billion tonnes) of soil organic carbon (SOC) in the top 3 m. Tillage also affects soil organic carbon stock. Tilling changes the balance between organic carbon put into the soil by plants and rendered available for soil micro-organisms and carbon output as greenhouse gases due to organic matter decomposition. Soil tillage is estimated to have decreased SOC stocks by two-thirds from pre-deforestation levels (Lal, 2003). Agricultural systems contribute to carbon emissions through many mechanisms, but on the other hand, through soil protection technologies they become potential carbon sinks in the soil. Land managed by soil protection technologies can accumulate significantly more carbon than its losses. The reduction of CO<sub>2</sub> emissions from the soil is caused and influenced by the reduction of the intensity of manipulation with the surface layer of the soil the preservation of new organic matter in the soil and at the same time by reduction of the extent of oxidation processes affecting organic matter in the soil.

The aim of the paper was to quantify carbon dioxide emissions from the soil of grain maize grown in different tillage methods.

## **MATERIAL AND METHOD**

The issue was solved in the years 2016 - 2018 at the experimental workplace of the National Agricultural and Food Centre - Research Institute of Agroecology Michalovce, which is located in Milhostov. The Milhostov experimental workplace is located in the

central part of the East Slovakian lowlands at an altitude of 101 m (48 ° 40' N; 21 ° 44' E), northwest of the district town of Trebišov.

There are gleyic fluvisols, which arose as a result of long-term exposure of groundwater and surface water on very heavy alluvial sediments with adverse physical and physico-chemical properties. The problem was solved in experiments with different tillage. The field experiment included two soil protection technologies (reduced tillage - RT and no-tillage resp. direct sowing - NT), which were compared with conventional tillage with ploughing – CT.

The field experiment was established as a rotation of four crops: grain maize, spring barley, soybeans, winter wheat. Soil CO<sub>2</sub> emissions were performed at each tillage. During the monitoring period, five measurements of CO<sub>2</sub> emissions from the soil were performed annually on grain maize.

Terms measured 2016: 1. – 15.5.; 2. – 22.6.; 3. – 7.7.; 4. – 21.7.; 5. – 8.9.

Terms measured 2017: 1. – 29.5.; 2. – 28.6.; 3. – 19.7.; 4. – 22.8.; 5. – 25.9.

Terms measured 2018: 1. – 24.5.; 2. – 26.6.; 3. – 19.7.; 4. – 9.8.; 5. – 27.9.

At the given dates on each variant 5 measurements were performed at three-minute intervals in three replicates. COMT 500 instruments were used for measurement.



Figure 1: Measurement of CO<sub>2</sub> emissions at grain maize

## RESULTS AND DISCUSSION

The average amounts of carbon dioxide emissions from the soil under the grain maize are presented in *Table 1*. The results are recalculated with respect to the amount of emissions at the beginning and at the end of the measurement, the incubation time, the air temperature at the beginning and at the end of the measurement, the volume of the incubation vessel and the measured area and are presented in  $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Every year in the monitored years higher CO<sub>2</sub> emissions were found in conventional tillage (average  $0.166 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) and lower at reduced tillage (average  $0.157 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  – reduced tillage, resp. average  $0.153 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  direct sowing).

Table 1: CO<sub>2</sub> emissions [g.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>] at grain maize

Term	CT			RT			NT		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
1.	0.165	0.150	0.099	0.176	0.164	0.104	0.174	0.122	0.079
2.	0.183	0.181	0.196	0.170	0.188	0.192	0.162	0.167	0.215
3.	0.176	0.159	0.191	0.170	0.164	0.185	0.153	0.173	0.186
4.	0.244	0.174	0.151	0.221	0.178	0.139	0.223	0.157	0.145
5.	0.228	0.106	0.097	0.141	0.112	0.059	0.173	0.083	0.086
average (year)	0.199	0.154	0.147	0.176	0.161	0.136	0.177	0.140	0.142
average (tillage)	0.166			0.157			0.153		

CT – conventional tillage, RT – reduced tillage, NT – no-tillage resp. direct sowing

From the point of view of the year a higher emission of carbon dioxide from the soil was found in 2016 (average 0.184 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), lower in 2017 (average 0.152 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) and the lowest in 2018 (average 0.142 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>).

Table 2: CO<sub>2</sub> emissions [g.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>] at different tillage

Crops	tillage	2016	2017	2018
Grain maize	CT	0.199	0.154	0.147
	RT	0.176	0.161	0.136
	NT	0.177	0.140	0.142
	average	0.184	0.152	0.142

CT – conventional tillage, RT – reduced tillage, NT – no-tillage resp. direct sowing

Average air temperature and total amount of precipitation at the experimental locality and their comparison with the long-term normal for the years 1981 – 2010 (*Danilović et al.* 2017) are presented in Table 3.



Table 3: Average air temperature [°C] and total amount of precipitation [mm]

Month	Air temperature [°C]				Total amount of precipitation[mm]			
	LT[°C]	2016	2017	2018	LT[mm]	2016	2017	2018
IV.	14.5	10.4	11.6	9.7	41	13	46	28
V.	15.5	15.8	16.2	18.4	66	66	52	80
VI.	18.4	20.5	20.3	20.3	67	36	87	106
VII.	20.4	21.5	20.4	22.2	77	100	75	25
VIII.	19.8	19.6	21.4	23	66	89	48	52
IX.	14.8	17.2	15.1	16.9	57	46	60	27
average - sum	16.6	17.7	17.2	19.2	374	350	368	318

LT - long-term

From the point of view air temperature the vegetation period of 2017 was warm, in 2016 very warm and in 2018 extraordinary warm. From the point of view precipitation (vegetation period identical to the CO<sub>2</sub> measurement period), we can evaluate the years 2016 and 2017 (93.5 % of the long-term normal, resp. 98.4 % of the long-term normal) as normal and the vegetation period of 2018 was dry (85 % of the long-term normal). Weather especially temperature and precipitation significantly influence the overall carbon sequestration in the soil and its subsequent release (*Suddick et al.* 2010).

*Álvaro-Fuentes et al.* (2008) investigated tillage impact on CO<sub>2</sub> emissions from soils in a semiarid climate attributed the observed large difference between tillage and no-tillage to differences in soil water availability. At humid sites high soil moisture favour high decomposition rates resulting in small differences between tilled and untilled soils, while large differences develop in arid climates with much lower soil water content (*Fortin et al.* 1996; *Feiziene et al.* 2011). This supports the idea that the soil response to tillage is affected by climate thresholds (*Franzluebbers and Arshad.* 1996). This fact was not confirmed in our experiment, because 2018 was the driest year, but the difference in CO<sub>2</sub> emissions between tillage soil and no-tillage soil was not significant (5.4 %). Our results showed that in 2016 the amount of CO<sub>2</sub> emissions from no-tillage soil (average of RT and NT variants) was 11.3 % lower compared with soil tillage. By analogy a lower amount of carbon dioxide emissions was on no-tillage variants in 2017 (by 2.3 %), resp. in 2018 (by 5.4 %) compared to tillage variants. *Khatab et al.* (2016) evaluated 46 works dealing with the CO<sub>2</sub> emissions from soil and found that tillage emitted 27 % more CO<sub>2</sub> than no-tillage

in arid climates; while for pairs in humid climates tillage emitted 16 % more CO<sub>2</sub> than no-tillage. In clayey soils the differences between tillage and no-tillage were much smaller with tilled soils emitting 9 % more CO<sub>2</sub> than untilled soils. Our results confirm their findings, because the soils of our experiment are heavy (gleyic fluvisols) and the differences in CO<sub>2</sub> emissions between tillage and no-tillage soil were statistically insignificant. The contents of soil organic carbon in the experiment (*Table 4*) with different tillage systems were quite balanced and ranged from 14.02 - 17.93 g kg<sup>-1</sup>. Slightly higher contents of soil organic carbon were recorded on reduced and no-tillage variant. According to a study by *Khataba et al. (2016)*, soils with a content of soil organic carbon in the range of 10 - 30 g kg<sup>-1</sup> tilled soils emitted an average 17 % more CO<sub>2</sub> than untilled ones. In our case the values are slightly lower, as the variant with reduced tillage and no-tillage emitted by 2.3 - 11.3 % less CO<sub>2</sub> than in the tillage variant.

*Table 4:* Content of the soil organic carbon on experimental variants [g kg<sup>-1</sup>]

<b>Year</b>	<b>CT</b>	<b>RT</b>	<b>NT</b>
2016	15.67	16.72	16.71
2017	14.02	14.72	15.24
2018	16.80	17.59	17.93
average	15.50	16.34	16.63

CT – conventional tillage, RT – reduced tillage, NT – no-tillage resp. direct sowing

## CONCLUSIONS

In a three-year trial experiment statistically insignificant differences in CO<sub>2</sub> emissions were found between tilled and no-tilled soil. In individual years 2.3 - 11.3 % less carbon dioxide was emitted from no-tilled soils than tilled soils. Our results indicate that improved agronomic practices include minimal tillage can also bring side benefits in the form of reduced greenhouse gas emissions and improved carbon sequestration. Carbon sequestration in the soil can make a significant contribution to mitigating the negative effects of climate change in the future.

## A TALAJMŰVELÉS HATÁSA A TALAJBÓL SZÁRMAZÓ SZÉN-DIOXID KIBOCSÁTÁSÁRA ÉS MENNYISÉGI MEGHATÁROZÁSÁRA

HECL JÁN – ŠOLTYSOVÁ BOŽENA – DANIELOVIČ IGOR

Nemzeti Agrár- és Élelmiszeripari Központ - Agroökológiai Kutatóintézet, Michalovce,  
Szlovákia

### ÖSSZEFOGLALÁS

A CO<sub>2</sub>-kibocsátás mennyiségi meghatározását a 2016-2018-as években Milhostovban a szemes kukoricánál glejes öntéstalajon vizsgáltuk. A kukoricát két talajvédelmi technológiával (csökkentett talajművelés, közvetlen vetés talajművelés nélkül, illetve talajművelés nélküli vetés) termesztették, amelyeket összehasonlítottuk a hagyományos szántással történő talajműveléssel. A szántóföldi kísérletet négy kultúra vetésforgójaként alakítottuk ki: szemes kukorica, tavaszi árpa, szója, őszi búza. A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátást minden talajművelésnél megmértük. A megfigyelt években magasabb CO<sub>2</sub>-kibocsátást mértünk a hagyományos talajművelésnél (átlagosan 0,166 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) és alacsonyabb a csökkentett talajművelésnél (átlagosan 0,157 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> - csökkentett talajművelés, illetve átlagosan 0,153 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> közvetlen vetés). Az évjárat szempontjából 2016-ban magasabb (átlagosan 0,184 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), 2017-ben alacsonyabb volt a talajból származó szén-dioxid-kibocsátás, (átlagosan 0,152 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) és a legalacsonyabb 2018-ban (átlagosan 0,142 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). A talajművelés, a csökkentett talajművelés és a közvetlen vetés között a CO<sub>2</sub>-kibocsátásban talált különbségek statisztikailag nem igazoltak.

**Kulcsszavak:** glejes öntéstalaj, CO<sub>2</sub>-kibocsátás, talajművelés, kukorica

### ACKNOWLEDGEMENTS

This publication was supported by the Operational Programme Integrated Infrastructure within the project: Sustainable smart farming systems taking into account the future challenges 313011W112 cofinanced by the European Regional Development Fund.

## LITERATURE

- Álvarez-Fuentes, J. – López, M. – Arrúe, J. - Cantero-Martínez, C.* (2008): Management effects on soil carbon dioxide fluxes under semiarid Mediterranean conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 194-200.
- Brázdil, R. et al.* (1996): Impacts of a Potential Climate Change on Agriculture of the Czech Republic Country Study of Climate Change for the Czech Republic. Element 2. Národní klimatický program ČR. svazek 21. Praha. Český hydrometeorologický ústav. 146 s. ISBN 80-85813-31-9.
- Danilovič, M. – Hlavatá, H. – Šoltysová, B.* (2017): Criteria for abnormality evaluation of selected weather parameters in the Slovak Republic. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*. 63, (2) 86-91 ISSN 1335-2415. DOI: 10.1515/agri-2017-0005.
- Feiziene, D. – Feiza, V. – Kadziene, G. – Vaideliene, A. – Povilaitis, V. - Deveikyte, I.* (2011): CO<sub>2</sub> fluxes and drivers as affected by soil type, tillage and fertilization. *Acta Agr. Scand. Section B-Soil Plant*. 62, 311-328.
- Fortin, M, C. – Rochette, P.- Pattey, E.* (1996): Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 1541-1547
- Franzluebbers, A. – Arshad, M.* (1996): Soil organic matter pools with conventional and zero tillage in a cold, semiarid climate. *Soil Till. Res.* 39, 1-11.
- Frier, N. - Chadwick O, A. - Trumbore S, E.* (2005): Production of CO<sub>2</sub> in Soil Profiles of a California Annual Grassland Ecosystems. 8, (4). 412-429.
- Jobbágy, E, G. – Jackson, R, B.* (2000): The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.* 10, 423–436.
- Pauline, Ch. – Philippe, C. – Vincent, Ch.* (2016): No-tillage lessens soil CO<sub>2</sub> emissions the most under arid and sandy soil conditions: results from a meta-analysis. *Biogeosciences*. 13, 3619-3633
- Krištof, K. – Šíma, T. – Nozdrovický, L. – Findura, P.* (2014). The effect of soil tillage intensity on carbon dioxide emissions released from soil into the atmosphere (2014). In: *Agronomy research* 12, (1).115-120.
- Lal, R.* (2003): Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22, 151-184.

*Lavelle, P. – Spain, A.V. (2001): Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers. New York. 613p.*

ISBN-13 978-0-306-48162-8 (e-book)

*Rastogi, M. – Singh, S. – Pathak, H. (2002): Emission of carbon dioxide from soil. Curr. Sci. 82, 510-517.*

*Suddick, E. C. et al. (2010): The Potential for California Agricultural Crop Soils to Reduce Greenhouse Gas Emissions. A Holistic Evaluation (Book). Advances in Agronomy. 107, (C) 123-162.*

*A szerző levélcíme – Address of the author:*

Ján Hecl – Božena Šoltysová – Igor Danielovič

NPPC – Agroecology Research Institute Michalovce, Špitálska 1273, 071 01 Michalovce,  
Slovakia

e-mail: jan.hecl@nppc.sk



**THE CHANGES OF SELECTED SOIL CHEMICAL PARAMETERS IN THE  
LONG-TERM CULTIVATION OF *ARUNDO DONAX* L. AND *ELYMUS  
ELONGATUS* GAERTNER**

BOŽENA ŠOLTYSOVÁ – MARTIN DANILOVIČ – PAVOL PORVAZ

National agricultural and food centre – Agroecology Research Institute Michalovce,  
Slovak Republic

**SUMMARY**

The changes of selected soil chemical parameters were observed in Gleyic Fluvisols. The field experiment was established with two energy crops (*Arundo donax* L., *Elymus elongatus* Gaertner). The energy crops were fertilized with phosphorus in rate 40 kg ha<sup>-1</sup> and potassium in rate 60 kg ha<sup>-1</sup> each year in spring. The nitrogen fertilization was not carried out. Soil samples were taken from depth from 0 to 0.3 m at the beginning of the experiment in the autumn 2012 and at the end of reference period in the autumn 2018. The development of selected soil parameters in the time series was evaluated by trend analysis. Land management conversion, from market crops to perennial energy crops cultivation, has influenced changes of selected soil 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 carbon in the soil was 0.61 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> C for the *Arundo* and 0.98 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> C for the *Elymus*. At the same time, the same impact of the crops on content of total nitrogen, content of available phosphorus and potassium and soil reaction was found. Since the establishment of the experiments was found an increase in total nitrogen in the soil, too. The annual increase in total nitrogen in the soil was 115 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> N for the *Arundo* and 102 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> N for the *Elymus*. It was recorded that both cultivated crops decreased the soil reaction. The content of available phosphorus did not change significantly and the content of available potassium increased during the cultivation of *Arundo* and conversely, slightly decreased during the cultivation

of *Elymus*. The exchange soil reaction decreased significantly during long-term cultivation of *Arundo* and *Elymus* by 0.28, resp. 0.17. The linear trends found in both energy crop indicate the carbon sequestration after conversion from conventional crop to energy crop cultivation. From the trend analysis of data in cultivated energy crop was found the significant increase of the total nitrogen in the soil and the significant decrease of the exchange soil reaction. The development trends of the content of selected soil parameters in energy crops, which was determined using a regression model expressed by the linear equation pointed out the assumed development of the given soil parameter.

**Keywords:** *Arundo donax* L., *Elymus elongatus* Gaertner, Gleyic Fluvisols, soil organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and potassium, soil reaction, trend analysis

## INTRODUCTION

Climatic change is one of the major challenges which humanity has to deal with. Climatic change is not just about the future, but it is also a serious problem today. Global temperature of the oceans and the earth's surface has risen by  $0.6 \pm 0.2$  °C degrees in more than one hundred years (Sixth national Report of the Slovak Republic on Climate Change 2013).

The consequences of climate change in agriculture will be: changes in the spectrum of harmful organisms (diseases, pests, weeds), but especially the increase in the number of economically significant pathogens; changes in the temperature security of agricultural plants; extension of a main vegetation period (T above 10 °C) by 43 days in southern Slovakia and 84 days in the north of Slovakia until 2075; changes in phenological conditions; changes in precipitation distribution and humidity security and also changes of soil physical and chemical properties; accelerated decomposition of organic matter, accelerated growth of the root system; increased wind erosion; new plant species (Ministry of the Environment of the Slovak Republic 2014).

Climate change results in soil organic matter degradation and soil degradation. In Slovakia degradation threatens up to 70 % of the soil (Kobza, 2014). Soil degradation has a gradual and cumulative character. The threat to the soil is also the decline in available nutrients related with their negative balance, as well as the deterioration of other chemical and physical parameters of the soil.

There are a lot of strategies to increase the soil carbon stock and two of them are energy crops cultivation and no-till soil management (Lal, 2004). Perennial energy crops cultivation combines both of mentioned strategies, because there is no soil cultivation during productive years, besides cultivation before planting. Growing energy crops has the potential to mitigate carbon dioxide emissions by the replacement of fossil fuels and also by storing carbon in the soil due to land use change (Don *et al.*, 2012, Zimmermann *et al.*, 2012).

Biomass, as one of the renewable energy sources, has suitable soil-climatic conditions in the conditions of the regions of Slovakia and a wide range of uses. Targeted grown biomass of fast-growing crops used for energy purposes is one of the possibilities for diversification of agricultural production. The advantage is that energy crops can be located on temporarily or permanently unusable areas, which cannot be used for the primary production of commodities intended for food purposes (Mandalová *et al.*, 2017).

Carbon accumulation under energy crops is similar like under perennial grasses (Anderson-Teixeira *et al.*, 2009) or under native pasture (Dondini *et al.*, 2009). Carbon sequestration or carbon loss from soil in the conversion of used agricultural land or natural stands to energy crops depends on plant species (Schneckenberger and Kuzyakov, 2007, Hillier *et al.*, 2009). The different soil utilization affects not only the changes in soil parameters, but also the quality of the production (Symanowicz *et al.*, 2014, Kron *et al.*, 2017).

The aim of this study was to evaluate the changes of selected soil chemical parameters in long-term cultivation of the energy crops *Arundo donax* L. and *Elymus elongatus* Gaertner grown on the Gleyic Fluvisols.

## **MATERIAL AND METHODS**

Field experiment was initiated in 2012 at experimental station of the National Agricultural and Food Centre – Agroecology Research Institute, which is located in Milhostov (48°40'02.3"N. 21°43'51.2"E). The experimental station is situated in the central part of the East-Slovak Lowland at an altitude of 101 m. The average annual temperature is 8.9 °C (16.0 °C during vegetation period) and average annual rainfall is 560 mm (350 mm during vegetation period).



*Table 1: Soil particle size distribution before experiment establishment*

Fraction	<i>Arundo</i>	<i>Elymus</i>	Average
1 <sup>st</sup> fraction [%] clay (< 0.001 mm)	20.6	20.8	20.7
2 <sup>nd</sup> fraction [%] soft and middle silt (0.001 – 0.01 mm)	19.0	18.8	18.9
3 <sup>rd</sup> fraction [%] crude silt (0.01 – 0.05 mm)	28.7	29.5	29.1
4 <sup>th</sup> fraction [%] soft sand (0.05 – 0.25 mm)	25.6	24.7	25.1
5 <sup>th</sup> fraction [%] middle sand (0.25 – 2 mm)	6.1	6.2	6.2
Content of particle I. category (< 0.01 mm)	39.6	39.6	39.6
Soil evaluation	medium heavy loamy soil	medium heavy loamy soil	medium heavy loamy soil

The soil was Gleyic Fluvisols. According to Novak Classificatory Scale (*Zaujec et al.*, 2009) this soil subtype belongs to medium heavy and loamy soils. Soil particle size distribution before establishment of experiments with energy crops is shown in Table 1. Average content of clay particles was 39,6 %.

The average values of chemical properties of the topsoil (depth from 0 to 0.3 m) measured before starting the experiment are shown in *Table 2*.

Table 2: The chemical properties of the topsoil before starting the experiment

Parameters	<i>Arundo</i>	<i>Elymus</i>
soil total acidity [mmol kg <sup>-1</sup> ]	13	11
amount of exchange basic cations [mmol kg <sup>-1</sup> ]	335	313
total sorption capacity [mmol kg <sup>-1</sup> ]	348	324
degree of saturation of the sorption complex [%]	96.3	96.6
total nitrogen content [mg kg <sup>-1</sup> ]	1516	1561
available phosphorus content [mg kg <sup>-1</sup> ]	103.9	87.5
available potassium content [mg kg <sup>-1</sup> ]	214.0	227.7
available magnesium content [mg kg <sup>-1</sup> ]	247.9	315.3
exchangeable calcium content [mg kg <sup>-1</sup> ]	4758	4755
soil reaction in KCl	6.82	6.68
soil organic carbon [g kg <sup>-1</sup> ]	14.27	14.64
carbon content of humus substances [g kg <sup>-1</sup> ]	4.10	4.38
carbon content of humic acids [g kg <sup>-1</sup> ]	2.03	2.03
carbon content of fulvic acids [g kg <sup>-1</sup> ]	2.08	2.35
ratio of carbon of humic acids to carbon of fulvic acids	0.98	0.86
ratio of carbon to nitrogen	9.4	9.4

The field experiment was established with two energy crops: *Arundo donax L.* and *Elymus elongatus* Gaertner (Figure 1). The energy crops were fertilized with phosphorus in rate 40 kg ha<sup>-1</sup> and potassium in rate 60 kg ha<sup>-1</sup> each year in spring. The nitrogen fertilization was not carried out. The variant size was 12 m<sup>2</sup> for *Arundo* and 9 m<sup>2</sup> for *Elymus* and each variant was three times repeated.



*Figure 1: The energy crops cultivated – Arundo donax L. and Elymus elongatus Gaertner*

Soil samples were taken from depth from 0 to 0.3 m at the beginning of the experiment in the autumn 2012 and at the end of reference period in the autumn 2018. The disturbed soil samples were analysed using well-known methodologies to determine the following chemical soil parameters: soil organic carbon was determined by Tjurin method (ISO 14235 1998), total nitrogen contents by Kjeldalh method (*Hrivňáková and Makovníková et al., 2011*), available phosphorus and potassium by Mehlich III method (*Mehlich, 1984*)

and exchange soil reaction in 1 mol dm<sup>-3</sup> KCl solution was determined using potentiometric method (ISO 10390 2005).

The development of selected soil parameters in the time series was evaluated by trend analysis. Multi-factorial analysis of variance (ANOVA) was used to evaluate treatment effects on selected soil parameters. Differences between treatments means were assessed by least significant difference (LSD) test. All statistical analyses were performed using the Statgraphics software package.

## **RESULTS AND DISCUSSION**

Soil organic matter is the most important supply of organic carbon in the biosphere and, depending on conditions, can eliminate or sequester greenhouse gases in the environment (*Barančíková et al.*, 2019). The quantitative and qualitative status of soil organic matter is the result of long-term soil-forming processes. In our climatic conditions, the decomposition processes are depended on the chemical composition of plant residues. In the case of energy crops *Arundo* and *Elymus*, the soil organic carbon content ranged from 14.22 to 15.95 g kg<sup>-1</sup> (*Table 3*) and after conversion to the humus its content corresponded to the medium stock (Fecenko and Ložek 2000).

*Table 3: Changes in the organic carbon content [g kg<sup>-1</sup>] in cultivation of energy crops*

Year	<i>Arundo</i>	<i>Elymus</i>	Average
2012	14.27	14.64	14.46
2013	14.31	14.77	14.54
2014	14.29	14.86	14.58
2015	14.22	14.42	14.33
2016	14.29	14.29	14.29
2017	14.46	14.52	14.49
2018	15.08	15.95	15.52
$\Delta C$ (2018 – 2012) [g kg <sup>-1</sup> ]	0.81	1.31	1.06
$\Delta C$ (2018 – 2012) [t ha <sup>-1</sup> ]	3.65	5.89	4.77
annual $\Delta C$ [t ha <sup>-1</sup> ]	0.61	0.98	0.80

where:  $\Delta C$  (2018 – 2012) – difference of carbon content at the depth up to 0.3 m between year 2018 and the beginning of the experiment with energy crops (2012), annual  $\Delta C$  – annual difference of carbon content at the depth up to 0.3 m between years 2018 and 2012

The soil organic carbon content was significantly dependent on the year and energy crop. Compared to the baseline, average increase in soil organic carbon recorded in 2018 was 1.06 g kg<sup>-1</sup> (*Table 4*), in *Arundo* 0.81 g kg<sup>-1</sup> and *Elymus* 1.31 g kg<sup>-1</sup> (*Table 3*).

Planting permanent crops suitable in terms of soil conditions is one of the proposed adaptation measures for preserving and increasing the amount of organic carbon in the soil (*Ministry of the Environment of the Slovak Republic, 2014*). It is assumed that the change in land use, i.e., the transition to the cultivation of perennial energy crops, will make it possible to maintain or store carbon in the soil. Mentioned significant increase in soil organic carbon by 0.81 g kg<sup>-1</sup> in *Arundo* (*Table 3*) represents an increase by 3.65 t ha<sup>-1</sup> C in topsoil at depth up to 0.3 m. A higher increase in soil organic carbon was found in the *Elymus* (1.31 g kg<sup>-1</sup>), which in terms of carbon content at a depth up to 0.3 m represents an increase in carbon in the soil by 5.89 t ha<sup>-1</sup>.

Table 4: Statistical evaluation of selected soil parameters in the energy crops

Source variability	Factor	Observed parameter				
		C	N	P	K	pH/KCl
Crop	<i>Arundo</i>	14.42 a	1492 a	84.3 a	223.1 a	6.62 a
	<i>Elymus</i>	14.78 b	1534 b	100.3 b	229.7 b	6.70 b
Year	2012	14.46 ab	1539 c	95.7 c	220.9 ab	6.75 e
	2013	14.54 b	1406 a	96.8 c	232.0 c	6.70 cd
	2014	14.58 b	1408 a	90.9 b	216.8 a	6.74 de
	2015	14.33 a	1547 c	89.6 ab	242.3 d	6.68 c
	2016	14.29 a	1492 b	89.4 ab	222.9 ab	6.62 b
	2017	14.49 ab	1519 bc	88.6 a	224.1 abc	6.60 b
	2018	15.52 b	1683 d	95.0 c	226.1 bc	6.53 a

where: C – soil organic carbon, N – total nitrogen, P – available phosphorus, K – available potassium, pH/KCl – exchange soil reaction, letters (a, b, c, d, e) between factors refer to statistically significant differences ( $\alpha = 0.05$ ) – LSD test

The annual increase in soil organic carbon at *Arundo* was  $0.61 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  and at *Elymus*  $0.98 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , which exceeds the minimum values of  $0.25 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  C designed for carbon sequestration (Volk *et al.*, 2004). Similarly, Fagnano *et al.* (2015) and Impagliazzo *et al.* (2017) found out, that the *Arundo* cropping can have a positive effect on the storage of carbon in the soil thanks to the absence of soil tillage and abundance of crop residues that every year return to the soil.

The influence of different soil uses on changes of its properties is manifested only after a long time. Time series analysis over a period of five years or more years can provide a more objective view of the development evaluation of a specific soil property and can form the basis for various analyses and forecasting. Chajdiak (2005) considers as a time series a set of values of the evaluated parameter, that occur over some period of time. When modelling the time series, the trend component is used, which indicates the direction of development of the evaluated indicator over time. The development trend of soil organic carbon in energy crops was determined using a regression model expressed by the linear equation  $y = ax + b$  (Chajdiak, 2005), on the basis of which the main development trend can be predicted.

From the average development of the soil organic carbon content in the years 2012 to 2018 results a trend of its increase in the energy crops *Arundo* and *Elymus* (Figure 2). With such a trend it can be assumed, that after ten years of growing *Arundo* there will be an increase in soil organic carbon by  $0.98 \text{ g kg}^{-1}$  ( $4.41 \text{ t ha}^{-1}$  at a depth up to 0.3 m) and after the *Elymus* by  $1.02 \text{ g kg}^{-1}$  ( $4.59 \text{ t ha}^{-1}$  at a depth up to 0.3 m). The indicated trend in the soil organic carbon content indicates the possibility of carbon sequestration after the conversion of agricultural soil into energy crops.

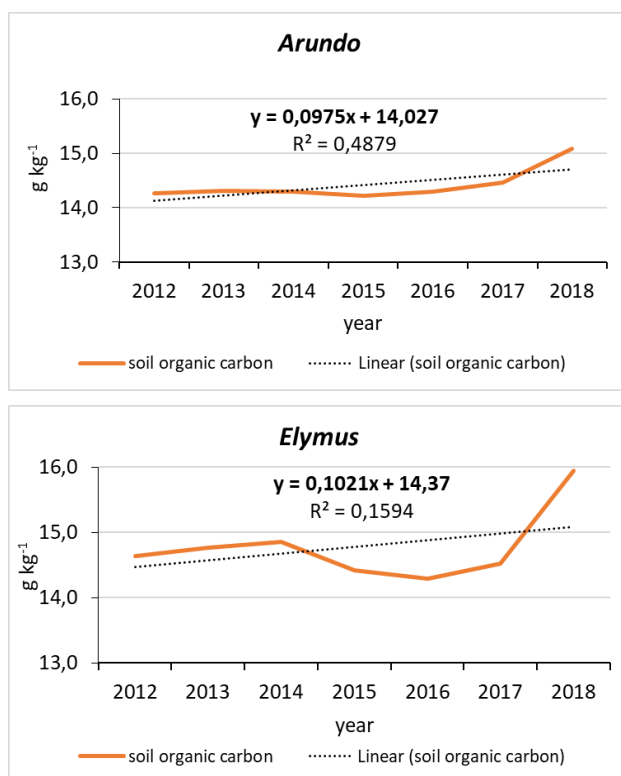


Figure 2: The development trend of soil organic carbon in the energy crops

Changes in soil organic carbon content due to different soil uses are relatively small compared to large soil organic carbon reserves (Bhattacharyya *et al.*, 2013).

The content of total organic carbon is related to the total nitrogen content. Significantly positive dependence ( $r = 0.72$ ) was confirmed between soil organic carbon and soil total nitrogen. A linear correlation between organic carbon and total nitrogen in the top soil

with the value of the correlation coefficient  $r = 0.94$  was recorded by *Růžek et al.* (2009) and  $r = 0.50$  *Wang et al.* (2009).

*Table 5:* Changes in the total nitrogen content [ $\text{mg kg}^{-1}$ ] in cultivation of energy crops

Year	<i>Arundo</i>	<i>Elymus</i>	Average
2012	1516	1561	1539
2013	1334	1478	1406
2014	1368	1447	1408
2015	1543	1550	1547
2016	1485	1499	1492
2017	1530	1508	1519
2018	1669	1697	1683
$\Delta N$ (2018 – 2012) [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]	153	136	145
$\Delta N$ (2018 – 2012) [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]	689	612	651
annual $\Delta N$ [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]	115	102	109

where:  $\Delta N$  (2018 – 2012) – difference of total nitrogen content at the depth up to 0.3 m between year 2018 and the beginning of the experiment with energy crops (2012), annual  $\Delta N$  – annual difference of total nitrogen content at the depth up to 0.3 m between years 2018 and 2012

At energy crops plots the average content of total nitrogen was in the range from 1334 to 1697  $\text{mg kg}^{-1}$  (*Table 5*). The soil total nitrogen content was significantly dependent on the year and energy crop (*Table 4*).

An increase in the soil total nitrogen was found in the monitored energy crops between 2012 and 2018. A higher increase in total nitrogen was found in the *Arundo* (increase of 153  $\text{mg kg}^{-1}$ ) and a lower increase in the *Elymus* (increase of 136  $\text{mg kg}^{-1}$ ). In terms of content of the total nitrogen at a depth up to 0.3 m, it represents an increase of 638  $\text{kg ha}^{-1}$  N in the *Arundo* and 612  $\text{kg ha}^{-1}$  N in the *Elymus*. The annual increase of total nitrogen in the soil in the *Arundo* was 115  $\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  and in *Elymus* 102  $\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  (*Table 5*).

*Fagnano et al.* (2015) reported, organic nitrogen in the topsoil is higher, mainly because the environmental constraints (summer drought and winter cold) may have reduced the mineralisation thus enhancing its accumulation in soil organic matter. In monitoring years average annual temperature during vegetation was higher from 0,6 to 2,6 °C and average



annual rainfall was lower than long-term normal from 1981 to 2010 and therefore the content of total nitrogen in the soil could increase in the monitored period.

The development trend of the content of the soil total nitrogen in the grown energy crops was also determined using a regression model expressed by the linear equation  $y = ax + b$  (Chajdiak, 2005). From the average development of the soil total nitrogen in the years 2012 to 2018 results a trend of increase of the total nitrogen in the *Arundo* and *Elymus* (Figure 3).

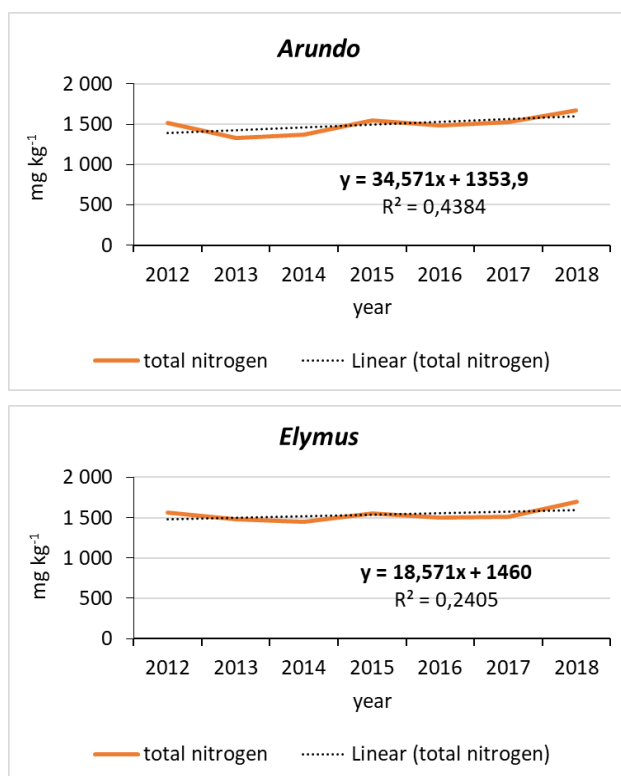


Figure 3: The development trend of total nitrogen in the energy crops

With such a trend it can be assumed, that after ten years of growing *Arundo* there will be an increase in total nitrogen in the soil by 346 mg kg<sup>-1</sup> (1.56 t ha<sup>-1</sup> N at depth up to 0.3 m) and after the *Elymus* by 186 mg kg<sup>-1</sup> (0.84 t ha<sup>-1</sup> N at depth up to 0.3 m). This trend of the increase total nitrogen in the soil after the conversion of agricultural soil to the energy crops cultivation is related to the sequestration of carbon in the soil, as nitrogen is part of the created organic matter.

The nutrient contents and the exchange soil reaction belongs to the soil parameters affecting its fertility. In terms of criteria for the evaluation of chemical analysis of the arable soils (*Slovak republic, Regulation No. 151/2016 2016*), detected content of available phosphorus in the soil in energy crops was classified from satisfactory to good content (*Table 6*).

*Table 6:* Changes in the available phosphorus content [ $\text{mg kg}^{-1}$ ] in cultivation of energy crops

Year	<i>Arundo</i>	<i>Elymus</i>	Average
2012	103.9	87.5	95.7
2013	101.3	92.2	96.8
2014	98.2	83.6	90.9
2015	98.5	80.7	89.6
2016	100.7	78.0	89.4
2017	97.5	79.7	88.6
2018	101.8	88.2	95.0
$\Delta P$ (2018 – 2012) [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]	-2.1	0.7	-0.7
$\Delta P$ (2018 – 2012) [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]	-9.6	3.2	-3.2
annual $\Delta P$ [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]	-1.6	0.5	-0.6

where:  $\Delta P$  (2018 – 2012) – difference of available phosphorus content at the depth up to 0.3 m between year 2018 and the beginning of the experiment with energy crops (2012), annual  $\Delta P$  – annual difference of available phosphorus content at the depth up to 0.3 m between years 2018 and 2012

The content of available phosphorus and potassium in the soil in our experiment depended on fertilization and on the uptake by energy crops. The content of available phosphorus in the soil was decreased by  $0.7 \text{ mg kg}^{-1}$  between years 2012 and 2018 (*Table 6*). This decrease was not significant.

In terms of energy crops, decreased available phosphorus was found in the *Arundo* ( $-2.1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}$ ) and a maintenance of the available phosphorus content in the soil in the *Elymus*.

The trend of development of available phosphorus contents in both energy crops (*Figure 4*) indicates its slight decrease in the soil. The linear trend points to an annual decrease of available phosphorus by  $0.40 \text{ mg kg}^{-1}$  for *Arundo* and by  $1.02 \text{ mg kg}^{-1}$  for

*Elymus* (Figure 3). It was found that *Arundo* and *Elymus* yearly fertilization by phosphorus at a dose of 40 kg ha<sup>-1</sup>, could be expected to slightly decrease the available phosphorus content in the soil. This is probably related to the phosphorus uptake by *Arundo* and *Elymus* and perhaps even to the constant changes in the forms of organic and mineral phosphorus in the soil.

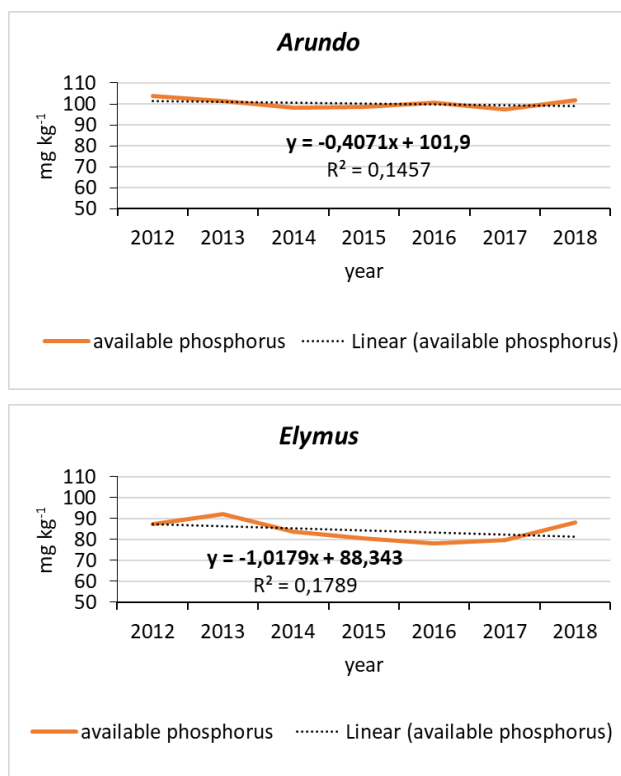


Figure 4: The development trend of available phosphorus in the energy crops

From the point of view of crop nutrition, it is important that sufficient potassium in the soil is present in a form available to plants. The content of available potassium in the soil of energy crops (Table 7) ranged from 204.1 mg kg<sup>-1</sup> to 250.2 mg kg<sup>-1</sup>. In terms of criteria for the evaluation of chemical analyses of arable soils (*Slovak republic, Regulation No. 151/2016 2016*), the content of available potassium in the soil in energy crops was classified as good (Table 7).

*Table 7:* Changes in the available potassium content [ $\text{mg kg}^{-1}$ ] in cultivation of energy crops

Year	<i>Arundo</i>	<i>Elymus</i>	Average
2012	214.0	227.7	220.9
2013	224.0	240.0	232.0
2014	204.1	229.4	216.8
2015	234.3	250.2	242.3
2016	226.9	218.9	222.9
2017	228.5	219.7	224.1
2018	230.1	222.1	226.1
$\Delta K$ (2018 – 2012) [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]	16.1	-5.6	5.3
$\Delta K$ (2018 – 2012) [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]	72.5	-25.2	23.7
annual $\Delta K$ [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]	12.1	-4.2	4.0

where:  $\Delta K$  (2018 – 2012) – difference of available potassium content at the depth up to 0.3 m between year 2018 and the beginning of the experiment with energy crops (2012), annual  $\Delta K$  – annual difference of available potassium content at the depth up to 0.3 m between years 2018 and 2012

The available potassium content was significantly dependent on the year and energy crop (*Table 4*). The available potassium content in the soil under the *Arundo* stand increased by an average of  $16.1 \text{ mg kg}^{-1}$  and decreased by  $5.6 \text{ mg kg}^{-1}$  in the *Elymus* between 2012 and 2018. The available potassium content in the soil depends on fertilization and on the potassium uptake by energy crops and the decrease in available potassium in the soil in the *Elymus* was related to its higher uptake and insufficient potassium fertilization. An annual potassium fertilization at a dose  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  was sufficient for the *Arundo* cultivated.

The trend of the development of available potassium contents in the energy crop *Arundo* pointing out a slight annual increase by  $2.9 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}$  and in the energy crop *Elymus* a slight decrease by  $2.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}$  (*Figure 5*).

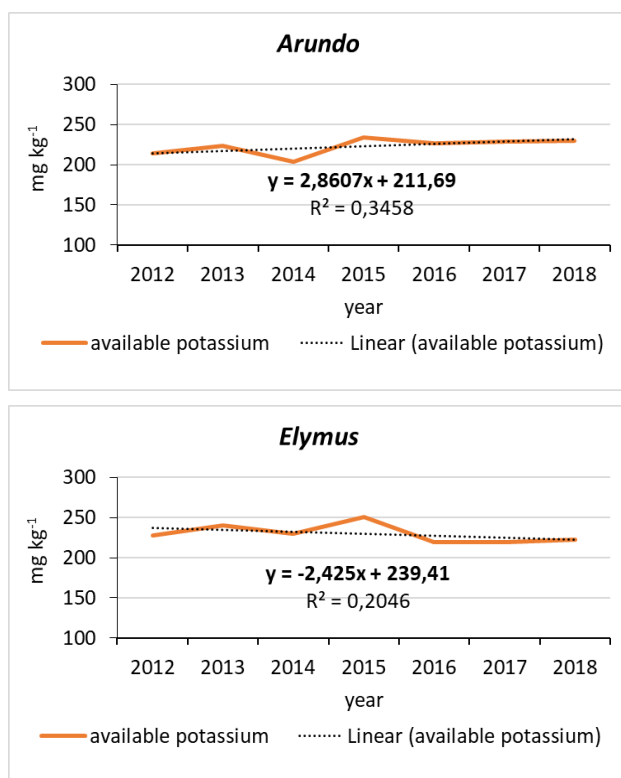


Figure 5: The development trend of available potassium in the energy crops

An important indicator of agrochemical characteristics of soils is the soil reaction, which affects the growth and development of cultivated plants, the activity of microorganisms in the soil and have great importance in the soil-forming process (Ložek *et al.*, 1995). Soil acidity affects the mobility and accessibility of the most important plant nutrients, especially phosphorus and potassium.

The exchange soil reaction ranged between the 6.51 to 6.82 (Table 8) in the soil under cultivated energy crops and this range is classified as neutral with respect the assessment criteria (Slovak republic, Regulation No. 151/2016 2016). This exchange soil reaction is optimum for energy crops. Di Tomaso (1998) found out, that *Arundo* can grow in all types of soils, from clay to sand, with soil pH ranging from 5.0 to 8.7.

The values of the exchange soil reaction were significantly dependent on the year and energy crop. Significantly higher soil reaction was measured at the beginning of the experiment (in 2012). Insufficient replacement of annual calcium losses caused a moderate decrease in soil reaction from 6.82 to 6.54 in the *Arundo* and from 6.68 to 6.51

in the *Elymus* in 2018 (Table 8). Annual losses of calcium from the soil, by leaching and by the fertilizers are reported by Bizik *et al.* (1998) at level 350 kg ha<sup>-1</sup> CaO. To prevent soil acidification, regular soil liming is necessary. With the current trend, the soil reaction may be reduced more rapidly in the following years. The higher decrease in soil reaction (-0.28) was found in *Arundo* and a lower decrease in soil reaction was found in *Elymus* (-0.17).

Table 8: Changes in the values of exchange soil reaction in cultivation of energy crops

Year	<i>Arundo</i>	<i>Elymus</i>	Average
2012	6.82	6.68	6.75
2013	6.77	6.62	6.70
2014	6.76	6.72	6.74
2015	6.71	6.64	6.68
2016	6.67	6.57	6.62
2017	6.62	6.58	6.60
2018	6.54	6.51	6.53
Δ pH/KCl (2018 – 2012)	-0.28	-0.17	-0.23

where: Δ pH/KCl (2018 – 2012) – difference of exchange soil reaction at the depth up to 0.3 m between year 2018 and the beginning of the experiment with energy crops (2012)

The soil reaction affects the availability of nutrients. When growing selected energy crops, a decrease in available phosphorus was found at higher soil acidity ( $r = 0.46$ ). The relationship between soil reaction values and phosphorus in soil was also noted by Dong *et al.* (2009).

The development trend of exchange soil reaction in energy crops was also determined using a regression model expressed by the linear equation. From the average development of the values of exchange soil reaction in the years 2012 to 2018 results a trend of the soil reaction decrease in *Arundo* and *Elymus* (Figure 6).

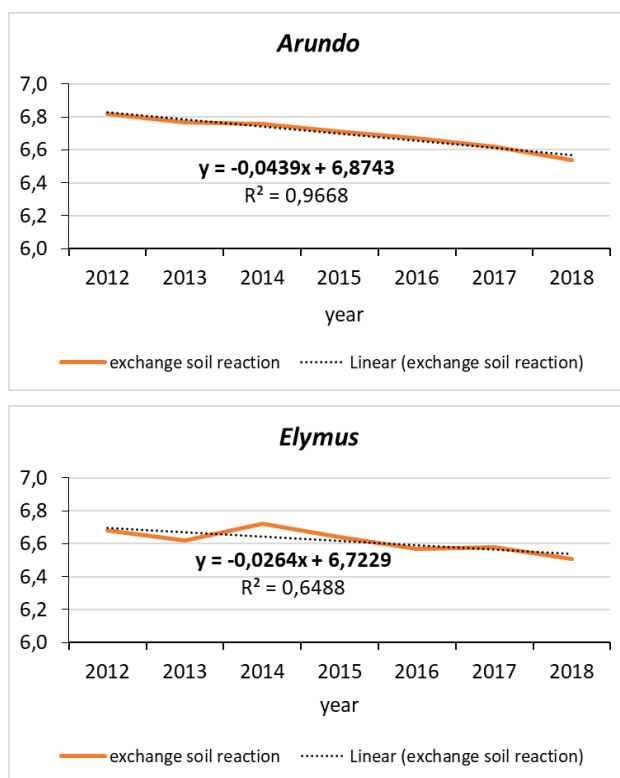


Figure 6: The development trend of the values of the exchange soil reaction in the energy crops

With such a trend, it can be assumed that after ten years of growing energy crops, there will be a slight decrease in the soil reaction by 0.44 in *Arundo* and by 0.26 in *Elymus*.

## CONCLUSIONS

The change in land management, the conversion to the perennial energy crops cultivation, was reflected in changes in the soil organic carbon content depending on the cultivated crop. In *Arundo*, an increase in soil organic carbon an average by  $0.81 \text{ g kg}^{-1}$  was found during the study period, which, after conversion, represents an increase by  $3.65 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$  in the top soil (0 - 0.3 m). In *Elymus*, the soil organic carbon content increased an average by  $1.31 \text{ g kg}^{-1}$ , which represents an increase of  $5.89 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$  in the top soil for six years. The annual increase in soil organic carbon at *Arundo* was  $0.61 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  and at *Elymus*  $0.98 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ .

The total nitrogen content increased after six years of *Arundo* by 153 mg kg<sup>-1</sup> (689 kg ha<sup>-1</sup> in the top soil up to 0.3 m) and *Elymus* 136 mg kg<sup>-1</sup> (612 kg ha<sup>-1</sup> in the top soil up to 0.3 m) cultivation. The annual increase of total nitrogen in the soil in *Arundo* was 115 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> and in *Elymus* 102 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>.

Decrease in available phosphorus content in the soil was recorded between the baseline and the final year of the experiment in *Arundo* (-2.1 mg kg<sup>-1</sup>) and a maintenance of the available phosphorus content in the soil in *Elymus*. Conversely, the available potassium content in the soil was increased in *Arundo* (+16.1 mg kg<sup>-1</sup>) and decreased in *Elymus* (-5.6 mg kg<sup>-1</sup>).

Exchange soil reaction was decreased between the baseline and the final year 2018. The higher decrease in soil reaction (-0.28) was found in *Arundo* and a lower decrease in soil reaction was found in *Elymus* (-0.17).

The development trends of the content of selected soil parameters in the grown energy crops, which was determined using a regression model expressed by the linear equation pointed out the assumed development of the given soil parameter.

## **A KIVÁLASZTOTT TALAJKÉMIAI PARAMÉTEREK VÁLTOZÁSA AZ ARUNDO DONAX L. ÉS AZ ELYMUS ELONGATUS GAERTNER HOSSZÚ TÁVÚ TERMESZTÉSE SORÁN**

ŠOLTYSOVÁ BOŽENA – DANILOVIČ MARTIN – PORVAZ PAVOL  
Nemzeti Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Központ - Agroökológiai Kutatóintézet,  
Michalovce,  
Szlovákia

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A kiválasztott talajkémiai paraméterek változásait glej öntéstalajokon vizsgáltuk. A szántóföldi kísérletet két energianövényvel (*Arundo donax* L., *Elymus elongatus* Gaertner) állítottuk be.

Az energianövényeket minden év tavaszán 40 kg/ha foszforral és 60 kg/ha káliummal trágyázták. Nitrogéntrágyázást nem végeztünk. A talajmintákat a kísérlet kezdetén, 2012



őszén és a referencia-időszak végén, 2018 őszén vettük 0-0,3 m mélységből. A kiválasztott talajparaméterek idősoros alakulását trendelemzéssel értékeltük. A földművelés megváltoztatása - a piaci növények termesztéséről az évelő energianövények termesztésére - befolyásolta a kiválasztott talajkémiai paramétereket. A talajban lévő szén éves növekedése az *Arundo* esetében  $0,61 \text{ t ha}^{-1} \text{ év}^{-1} \text{ C}$ , az *Elymus* esetében pedig  $0,98 \text{ t ha}^{-1} \text{ év}^{-1} \text{ C}$  volt. Ugyanakkor a növényeknek az összes nitrogéntartalomra, a rendelkezésre álló foszfor- és káliumtartalomra és a talajreakcióra gyakorolt hatása is azonos volt. A kísérletek megkezdése óta a talaj összes nitrogéntartalmának növekedését is megállapítottuk. A talaj összes nitrogéntartalmának éves növekedése az *Arundo* esetében  $115 \text{ kg/ha}^{-1} \text{ év}^{-1} \text{ N}$ , az *Elymus* esetében  $102 \text{ kg/ha}^{-1} \text{ év}^{-1} \text{ N}$  volt. Feljegyeztük, hogy mindkét kultúrnövény csökkentette a talaj reakcióját. A rendelkezésre álló foszfor tartalma nem változott jelentősen, a rendelkezésre álló káliumtartalom pedig nőtt az *Arundo* termesztése során, és fordítva, az *Elymus* termesztése során kissé csökkent. Az *Arundo* és az *Elymus* hosszú távú termesztése során a talajcsere-reakció jelentősen, 0,28, illetve 0,17 %-kal csökkent. Mindkét energianövény esetében a lineáris tendenciák a hagyományos növénytermesztésről az energianövény-termesztésre való áttérés utáni szénmegkötést jelzik. A termesztett energianövények adatainak trendelemzése alapján a talajban lévő összes nitrogén szignifikáns növekedését és a talajcsere-reakció szignifikáns csökkenését találtuk. A kiválasztott talajparaméterek tartalmának fejlődési tendenciái az energianövényekben, amelyet a lineáris egyenlet által kifejezett regressziós modell segítségével határoztunk meg, rámutattak az adott talajparaméter feltételezett fejlődésére.

**Kulcsszavak:** *Arundo donax* L., *Elymus elongatus* Gaertner, glej öntéstalaj, szerves szén, nitrogén, foszfor, kálium,

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This publication was supported by the Operational Programme Integrated Infrastructure within the project: Sustainable smart farming systems taking into account the future challenges 313011W112, cofinanced by the European Regional Development Fund.

**LITERATURE**

- Anderson-Teixeira, K. K. – Davis, S. C. – Masters, M. D. – Delucia, E. H. (2009):* Changes in soil organic carbon under biofuel crops. *GCB Bioenergy*. 1, (1) 75-96.
- Barančíková, G. – Gömöryová, E. – Tobiašová, E. – Makovníková, J. – Koco, Š. – Halas, J. – Skalský, R. – Tarasovičová, Z. – Takáč, J. (2019):* Soil organic carbon and its response to the use of the landscape of the Slovakia. NPPC – Soil Science and Conservation Research Institute. 105 p. ISBN 978-80-8163-029-3
- 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. *Soil Till. Res.* 129, 93-105.
- Bizík, J. – Fecenko, J. – Kotvas, F. – Ložek, O. (1998):* Methodics of fertilization and nutrition of plants. 1<sup>st</sup> ed. Bratislava: AT Publishing Bratislava. 112 p. ISBN 80-967812-1-9.
- Di Tomaso, J. M. (1998):* Biology and ecology of giant reed. Bell. Carl, E. (eds.): *Arundo and saltcedar: the deadly duo: Proc. of a Workshop on Combating the torea from arundo an saltcedar, Ontario, Canada.* 1-5.
- Don, A. – Osborne, B. – Hastings, A. – Skiba, U. – Carter, M.S. – Drewer, J. – Flessa, H. – Freibauer, A. – Hyvönen, N. – Jones, M. B. – Lanigan, G.J. – Mander, Ü. – Monti, A. – Djomo, S. N. – Valentine, J. – Walter, K. – Zegada-Lizarazu, W. – Zenone, T. (2012):* Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon. *GCB Bioenergy*. 4, (4) 372-391. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2011.01116.x
- Dondini, M. – Hastings, A. – Saiz, G. – Jones, M. B. – Smith, P. (2009):* The potential of *Miscanthus* to sequester carbon in soils: comparing field measurements in Carlow, Ireland to model predictions. *GCB Bioenergy*. 1, (6) 413-425. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2010.01033.x
- 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. *Plant Soil Environ.* 55, (7) 288-294.

Fagnano, M. – Impagliazzo, A. – Mori, M. – Fiorentino, N. (2015): Agronomic and environmental impacts of giant reed (*Arundo donax* L.): results from a long-term field experiment in Hilly areas subject to soil erosion. *Bioenergy Res.* 8, 415-422.

Hrivňáková, K. – Makovníková, J. – Barančíková, G. – Bezák, P. – Bezákova, Z. – Dodok, R. – Greco, V. – Chlpík, J. – Kobza, J. – Listjak, M. – Mališ, J. – Piš, V. – Schlosserová, J. – Slávik, O. – Širáň, M. (2011): A uniform workflows analysis of soils. Bratislava: Soil Science and Conservation Research Institute. 136 p. ISBN 978-80-89128-89-1.

Impagliazzo, A. – Mori, M. – Fiorentino, N. – Di Mola, I. – Ottaiano, L. – De Gianni, D. – Nocerino, S. – Fagnano, M. (2017): Crop growth analysis and yield of a lignocellulosic biomass crop (*Arundo donax* L.) in three marginal areas of Campania region. *Italian Journal of Agronomy.* 12, (755) 1-7.

ISO 10390 (2005): Soil quality – Determination of pH. IOS, Geneva. 7 p.

ISO 14235 (1998): Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. IOS, Geneva. 5 p.

Chajdiak, J. (2005): Statistical tasks and their solution in Excel. Bratislava: Statis. 268 p. ISBN 80-85659-39-5.

Kobza, J. (2014): Current status and development of soil properties in Slovakia in relation to their conservation and further use. *Proceedings of Soil Science and Conservation Research Institute.* 36, 111-118.

Kron, I. – Porvaz, P. – Kráľová-Hricindová, A. – Tóth, Š. – Sarvaš, J. – Polák, M. (2017): Green harvests of three perennial energy crops and their chemical composition. *International Journal of Agriculture and Environmental Research.* 3, (2) 2870-2883.

Lal, R. (2004): Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science.* 304, (5677) 1623-1627. DOI: 10.1126/science.1097396

Ložek, O. – Fecenko, J. – Borecký, V. (1995): Basics of the nutrition and plant fertilization. 1<sup>st</sup> ed. Nitra: NOI Nitra. 134 p. ISBN 80-85330-21-0

Mandalová, K. – Kotrla, M. – Prčík, M. (2017): Regional disparities in the cultivation and use of biomass of fast-growing plants in the conditions of Slovakia. 1<sup>st</sup> ed. Nitra: SAU Nitra. 89 p. ISBN 978-80-552-1704-8

Mehlich, A. (1984): Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15, 1409-1416.

Ministry of the Environment of the Slovak Republic (2014): Strategy of adaptation of the Slovak Republic to the adverse consequences of climate change. 103 p.

*Regulation No. 151/2016.* (2016): Regulation of Ministry of Agriculture and Rural Development of the Slovak Republic (in Slovak). 20 p. Available at <https://www.slovlex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2016/151/20160415.html> (accessed April 12, 2018).

*Růžek, L. – Růžková, M. – Voříšek, K. – Kubát, J. – Friedlová, M. – Mikanová, O.* (2009): Chemical and microbiological characterization of Cambisols, Luvisols and Stagnosols. *Plant Soil Environ.* 55, (6) 231-237.

*Symanowicz, B. – Kalembasa, S. – Malinowska, E. – Wysokiński, A.* (2014): Changes in the content of zinc and cobalt in plants and soil, absorption of these elements by goat's rue (*Galega orientalis* L.) biomass and bioaccumulation factors induced by phosphorus and potassium fertilization. *J. Elementol.* 19, (1) 219-228. DOI: 10.5601/jelem.2013.18.4.302

The sixth national communication of the Slovak Republic on climate change under the United Nations Framework Convention on Climate Change and Kyoto Protocol (2013): Bratislava: Ministry of Environment of the Slovak Republic, Slovak Hydrometeorological Institute. 136 p.

*Volk, T.A. – Verwijst, T. – Tharakan, P. J. – Abrahamson, L. P. – White, E. H.* (2004): Growing fuel a sustainability assessment of willow biomass crops. *Front Ecol Environ.* 2, (8) 411-418.

*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. *Plant Soil Environ.* 55, (3) 110-120.

*Zaujec, A. – Chlpík, J. – Nádašský, J. – Polláková, N. – Tobiašová, E.* (2009): Pedology and basis of geology. Nitra: SUA. 399 p. ISBN 978-80-552-0207-5

*Zimmermann, J. – Dauber, J. – Jones, M. B.* (2012): Soil carbon sequestration during the establishment phase of *Miscanthus x giganteus*: a regional-scale study on commercial farms using <sup>13</sup>C natural abundance. *GCB Bioenergy.* 4, (4) 453-461. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2011.01117.x

*A szerzők levélcíme – Address of the authors:*

Božena Šoltysová

National agricultural and food centre – Agroecology Research Institute Michalovce,  
Špitálska 1273, 071 01 Michalovce, Slovak Republic

E-mail: bozena.soltysova@nppc.sk

Martin Danilovič

National agricultural and food centre – Agroecology Research Institute Michalovce,  
Špitálska 1273, 071 01 Michalovce, Slovak Republic

E-mail: martin.danilovic@nppc.sk

Pavol Porvaz

National agricultural and food centre – Agroecology Research Institute Michalovce,  
Špitálska 1273, 071 01 Michalovce, Slovak Republic

E-mail: pavol.porvaz@nppc.sk



**THE USE OF SPECIES RICH ASSOCIATIONS FOR ESTABLISHMENT OF  
GRASSLANDS ON ARABLE LAND**

MIRIAM KIZEKOVÁ – JANKA MARTINCOVÁ – JOZEF ČUNDERLÍK – ĽUBICA  
JANČOVÁ

National Agricultural and Food Centre - Grassland and Mountain Agriculture Research  
Institute

**ABSTRACT**

Over the last decades, the land-use changes require new mitigating strategies and a sustainable way to prevent environmental degradation and erosion of genetic resources. Semi-natural grasslands are a valuable source of seeds and plant material which can help to restore and maintain biodiversity. The use of species rich associations for restoration of arable land using the green hay method has been realized in the buffer zone of the Low Tatras National Park from 2009 to 2015. The donor sites were *Arrhenatherion* and *Mesobromion* communities. This method proved to be efficient in our pedoclimatic conditions, allowing a good percentage of the target species present in the donor site to be transferred to the receptor site. The highest total transfer rate (81 %) was observed with both communities one year after restoration in 2010. The success of the establishment and settlement of species in the receptor site might be attributed to soil conditions, especially to soil pH, where the average cover of target species was higher at the *Arrhenatherion* receptor site comparing to the *Mesobromion* one. The limited diffusion of knowledge concerning the planting techniques of the semi-natural grasslands is still one of the most obstacles to the use of native propagation material in Slovakia. The main purpose of the interventions carried out with this project was to improve the experiences and skills of farmers and stakeholders.

**Keywords:** grassland, ecological restoration, arable lands, green hay transfer, soil

## INTRODUCTION

Traditional agricultural practices have created a wide diversity of habitats suitable for hosting grassland communities with high animal and plant biodiversity. The changes occurred over the last decades with the development of intensive agriculture and the abandonment of marginal agricultural areas have led to the loss of those habitats everywhere in Slovakia. In the plain these surfaces are now less frequent and even rare those with highly natural vegetation. The reconstitution of high biodiversity grasslands occurs through the use of seeds of spontaneous species of local origin. The use of native propagation material satisfies the needs of sustainable use of natural resources and favors the conservation of floristic and faunistic biodiversity. The common approach is based on the use of biological and non-biological material (plants, animals, soil, etc.) coming from areas adjacent to the site where the intervention will have to be carried out or coming from ecologically similar and geographically close areas. As regards the restoration of the semi-natural grasslands, it is used to the identification of grasslands called "donors", phytocoenoses of a certain type of vegetation that are capable of providing suitable seeds for an area to be restored, known as the "receptor" site. The use of locally sourced species serves to counteract genetic pollution, which is produced by introducing exotic species. In addition to the choice of the floristic composition must be taken into account the consistency between the sites i.e. the characteristics of the soil and other stational factors that can influence vegetation and management (*Ibáñez et al., 2014; Scotton, et al., 2012*).

In general, former arable land is characterized by high concentration of plant available nutrients, which can limit the success of new plant establishment (*Török et al., 2011*). Another fundamental aspect of successful grassland restoration is the form of utilization and the fertilization used for the restored site which should be similar to those of the donor site. In fact, the floristic composition of the semi-natural grasslands is strongly influenced by the management and the seed collected by them can allow the creation of new stable phytocoenoses only if their future management is compatible with the species transferred (*Baasch et al., 2012, Kiehl et al., 2010*). During the past period, various methods for harvesting and transfer of seeds from species-rich grasslands have been developed and tested. The green hay method among the available techniques, is in our pedoclimatic situation the one that can most easily lead to good results, allowing a good percentage of

the target species present in the donor site to be transferred to the receptor site (*Baasch et al.*, 2012, *Rasran et al.*, 2006).

The green grass has a seed content on the total material and is cut when the grassland is in the seed maturity stage (*Kiehl et al.*, 2010). The amount of seed harvested depends on the type of vegetation and the age of the cut. The weather conditions at the time of the cut have little influence as the grass is immediately brought to the receptor site. By avoiding haymaking, seed losses are reduced to a minimum and harvest efficiency is the highest of the harvestable production. Moreover, given the immediate use, the method does not have limitations for the cutting time. Other advantages are the ease of finding the equipment, common in most Slovak farms and in economic use, the low impact on the donor site and the double use of the material, both as a propagation material and as a mulching material.

According to guidelines of the Society of Ecological Restoration International the assessment of restoration success should monitor nine ecosystem attributes (SER, 2004). However, most studies monitor three ecosystem attributes: diversity (species richness and abundance), vegetation structure (cover of plant functional groups) and ecological processes (nutrient cycling and biological interactions) (*Ruiz-Jaen and Aide*, 2005). In addition to the estimation of total number of plant species in restored grassland, also the presence of target species which represent the target habitats is often defined (*Scotton et al.*, 2012).

The aim of our study was to evaluate the restoration success of conversion of arable land into grassland by transfer of green hay from two grassland communities.

## **MATERIAL AND METHODS**

The trial was established in the buffer zone of the Low Tatras National Park (altitude 647m a.s.l.; 48°44'57.05''N, 19°02'44.35''E; geological substratum: carbonate rock and dolomitic limestone). The receptor site was former arable land used for silage maize production. In spring 2009 the receptor site was prepared by ploughing and harrowing. The experiment was arranged in two blocks, each containing two plots (5 m x 10 m). The donor sites were *Arrhenatherion* and *Mesobromion* communities. The distance between the donor and the receptor sites was about 2 km. The soil samples were taken at the donor and receptor sites. The soil characteristics are shown in the *Table 1*.



Table 1: Soil characteristics of donor and receptor sites in 2009

Parameter	Donor site		Receptor site
	<i>Arrhenatherion</i>	<i>Mesobromion</i>	
pH <sub>(KCl)</sub>	5.82	4.75	7.16
C <sub>ox</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )	72.91	52.79	15.45
Humus (g.kg <sup>-1</sup> )	125.42	90.8	26.59
N <sub>t</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )	5.2	3.99	2.03
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	4.52	29.61	72.23
K (mg.kg <sup>-1</sup> )	154.73	122.69	114.18
Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	1224.8	153.4	690.3

The donor sites were cut in early July 2009. The plant material - green hay from the donor sites was applied manually to the receptor site immediately after harvesting. The material was turned over several times to avoid rot and damage to born seedlings. During the period 2010 – 2015, the experimental plots were cut twice per year (June and September) except of 2012 when only one cut was made in July.

The cover of plant functional groups and plant species was visually estimated in percentages at the donor sites in June 2009 and at new re-established grasslands in June 2010, 2011, 2013, 2014 and 2015. Out of total 51 (*Arrhenatherion* community) and 56 plant species (*Mesobromion* community), 22 and 23 target species were selected.

The success of restoration was expressed by total transfer rate and transfer rate of target species. The total transfer rate and the transfer rate of target species were calculated as the percentage of transfer of total/target species in relation to the total number of species of the donor site *Scotton et al.* (2012).

## RESULTS AND DISCUSSION

In the first year after restoration 18 of 22 and 19 of 23 introduced target species were recorded in the *Arrhenatherion* and *Mesobromion* receptor sites (Table 2), proving a relative high transfer rate of 81% and 82 %, respectively. During the next years of the experiment, the establishment success differed between both communities. Over the whole experimental period the presence of the target species was higher than 80 % at the *Arrhenatherion* receptor site, while the highest value (95 %) was recorded in 2015. An

increase in number of target species during the experimental period was also found by *Baasch et al.* (2018) in the establishment of a grassland in the Natura 2000 habitat 6510 (Lowland hay meadow). At the *Mesobromion* receptor site the number of target species decreased from 19 to 13, resulting in 56 % transfer rate. Contrary to establishment of target species, the number of total species was only about two thirds and halves the numbers of the donor *Arrhenatherion* and *Mesobromion* sites, respectively (Table 2). Similar results have been showed by *Prach et al.* (2014) who found that 10 years after establishment of grassland on ex-arable land the numbers of total and target species were about 50% - 60 % of the long existing reference grassland. Despite the reduction of established total and target species within both communities, similarly to other restoration experiments in Europe (*Kiehl et al.*, 2010, *Kirmer et al.*, 2012), transfer rate was in the mid-range of successful establishment of species-rich grassland.

Table 2: Number of all species and target species in the *Arrhenatherion* and *Mesobromion* community

Community	Functional group	Donor site	Receptor site				
		2009	2010	2011	2013	2014	2015
<i>Arrhenatherion</i>	Grasses	13	13 ± 0	10 ± 2.1	8 ± 3.5	10 ± 2.1	12 ± 0.7
	Legumes	6	3 ± 2.1	4 ± 1.4	3 ± 2.1	4 ± 1.4	4 ± 1.4
	Forbs	32	16 ± 11.3	13 ± 13.4	17 ± 10.6	20 ± 8.4	19 ± 9.1
	Total	51	32 ± 13.4	27 ± 16.9	28 ± 16.2	34 ± 12.0	35 ± 11.3
	Target species						
	Grasses	8	8 ± 0	8 ± 0	7 ± 0.7	7 ± 0.7	8 ± 0
	Legumes	3	3 ± 0	3 ± 0	3 ± 3.0	3 ± 0	3 ± 0
	Forbs	11	7 ± 3.5	8 ± 2.8	7 ± 3.5	7 ± 3.5	10 ± 1.4
	Total	22	18 ± 3.5	19 ± 2.8	18 ± 3.5	18 ± 3.5	21 ± 1.4
	<i>Mesobromion</i>	Grasses	13	14 ± 0.7	9 ± 2.8	9 ± 2.8	12 ± 0.7
Legumes		6	4 ± 1.4	7 ± 0.7	6 ± 0	5 ± 0.7	5 ± 0.7
Forbs		37	28 ± 6.3	23 ± 9.8	20 ± 12.0	16 ± 14.8	20 ± 12.0
Total		56	46 ± 7.0	39 ± 12.0	35 ± 14.8	33 ± 16.2	37 ± 13.4
Target species							
Grasses		8	8 ± 0	5 ± 2.1	6 ± 1.4	6 ± 1.4	6 ± 1.4
Legumes		4	3 ± 0.7	4 ± 0	4 ± 0	4 ± 0	3 ± 0
Forbs		11	8 ± 2.1	7 ± 2.8	7 ± 2.8	3 ± 5.6	5 ± 4.2
Total		23	19 ± 2.8	16 ± 4.9	17 ± 4.2	13 ± 7.0	14 ± 6.3

Within both communities, different pattern of cover of plant functional groups was observed. One year after establishment of the *Arrhenatherion* community, the cover of grasses was similar to the donor site whereas at the *Mesobromion* community the cover of grasses was 20 % lower than at the donor site (Table 3). From the 2<sup>nd</sup> year after restoration the cover of grasses decreased and fluctuated from 21 % to 44 % at the *Arrhenatherion* receptor site and from 26 % to 39 % at the *Mesobromion* receptor site, respectively (Table 3).

Table 3: Cover of all species and target species in the *Arrhenatherion* and *Mesobromion* community

Parameter	Functional group	Donor site	Receptor site					
		2009	2010	2011	2013	2014	2015	
<i>Arrhenatherion</i>	Grasses	59.5	58.5 ± 0.7	21.5 ± 26.8	33.0 ± 18.7	29.0 ± 21.5	44.0 ± 10.9	
		11.7	17.5 ± 4.1	66.5 ± 38.7	32.0 ± 14.3	27.0 ± 10.8	25.0 ± 9.4	
	Forbs	28.8	19.0 ± 6.9	9.0 ± 14.0	33.0 ± 2.9	42.0 ± 9.3	27.0 ± 1.2	
	Total	100	95.3 ± 3.3	97.0 ± 2.1	98.0 ± 1.4	98.0 ± 1.4	96.0 ± 2.8	
	Target species							
	Grasses	53.9	46.0±5.5	19.5±24.3	29.0±17.6	23.0±21.8	37.5 ± 11.5	
	Legumes	9.5	17.5 ± 5.6	66.0 ± 39.9	32.0 ± 16.9	25.0 ± 10.9	24.5 ± 10.6	
	Forbs	14.8	11.5 ± 2.3	6.5 ± 5.8	16.0 ± 0.8	20.5 ± 4.0	17.0 ± 1.5	
	Total	78.2	75.0 ± 2.2	92.0 ± 9.7	77.0 ± 0.8	68.5 ± 6.8	79.0 ± 0.5	
	<i>Mesobromion</i>	Grasses	75.3	59.0 ± 11.5	31.0 ± 31.3	26.0 ± 34.8	39.0 ± 25.6	33.0 ± 29.9
			7.5	12.0 ± 3.1	44.0 ± 25.8	47.0 ± 27.9	31.0 ± 16.6	35.0 ± 19.4
Legumes		12.2	28.0 ± 11.1	20.5 ± 5.8	24.0 ± 8.3	27.0 ± 10.4	25.0 ± 9.0	
Total		95.0	99.0 ± 2.8	95.5 ± 6.35	97.0 ± 1.4	97.0 ± 1.4	93.0 ± 1.4	
Target species								
Grasses		67.2	42.5 ± 17.4	18.0 ± 34.7	20.0 ± 33.3	21.0 ± 32.6	16.0 ± 36.2	
Legumes		5.0	10.5 ± 3.8	42.5 ± 26.5	46.0 ± 28.9	30.0 ± 17.6	30.5 ± 18.0	
Forbs		7.0	11.5 ± 3.1	6.5 ± 0.3	7.0 ± 0	4.0 ± 2.1	5.5 ± 1.0	
Total		79.5	64.5 ± 10.6	66.5 ± 9.1	53.0 ± 18.7	55.0 ± 17.3	52.0 ± 19.4	

The cover of legumes markedly increased and the highest coverage was observed in the 2<sup>nd</sup> or 3<sup>rd</sup> year after restoration. It must be mentioned that *Trifolium pratense* covered 57 % and 27 % at the *Arrhenatherion* and *Mesobromion* receptor site, respectively. The dominance of *Trifolium pratense* in the *Arrhenatherion* receptor site could be attributed to soil conditions (Table 1), especially to soil pH and content of plant-available phosphorus of the receptor site (ex-arable land) were more suitable for development of legumes in comparison to donor site; and/or *Arrhenatherion* donor site was anthropized during the 1970s and 1980s. Likewise to our study, Lawson et al. (2004) reported

successful establishment of *Trifolium pratense* at two experimental sites on former arable land where soil conditions favour the establishment of species that develop naturally on fertile soils. However, in the second half of experimental period, the cover of legumes decreased by 62 % and 20 % at the *Arrhenatherion* and *Mesobromion* receptor sites, respectively. Our results are in contrast with *Albert et al.* (2019) who reported gradual increase in legume coverage on ex-arable land during the monitoring period of 5 years.

In the same way of what was registered for the number of all species, the average cover of target species was higher at the *Arrhenatherion* receptor site comparing to the *Mesobromion* one.

In the first and the last year of observation, the cover of target species was rather high and was similar to donor site with the *Arrhenatherion* community. Only slight changes in the cover values of target species in the lowland grassland restoration during the experimental period of 7 years, was also recorded by *Baasch et al.* (2014). *Mesobromion* receptor site exhibited decrease in the cover of target species with the lowest values in the last year of experiment.

The limited diffusion of knowledge concerning the planting techniques of the semi-natural grasslands is one of the most obstacles to the use of native propagation material. The overcoming of this obstacle is the main purpose of the interventions carried out with this project.

## CONCLUSIONS

With reference to the two semi-natural grasslands rich in species of agricultural origin here described, this work has chosen to start a proposal of conservation and characterization of the surfaces that still exist in the Slovak plains and could form the basis for their future maintenance. The project showed that is possible to protect the still existing semi-natural grasslands trying to stimulate an adequate environmental policy (EEA, 2004) and to create new grasslands on arable lands that for various reasons may be reconverted to grasslands. The reconstitution of high biodiversity grasslands through the use of seeds of spontaneous species of local origin is possible for farmers with the very simple and economic techniques described in this paper. The green hay method used in our pedoclimatic situation proved to be efficient allowing a good percentage of the target species present in the donor site to be transferred to the receptor site. The success

of the establishment and settlement of species in the receptor site may be attributed to soil conditions, especially to soil pH as in our environmental conditions, where the average cover of target species was higher at the *Arrhenatherion* receptor site comparing to the *Mesobromion* one. The limited diffusion of knowledge concerning the planting techniques of the semi-natural grasslands is one of the most obstacles to the use of native propagation material. The overcoming of this obstacle is the main purpose of the interventions carried out with this project.

## FAJOKBAN GAZDAG TÁRSULÁSOK FELHASZNÁLÁSA SZÁNTÓFÖLDI GYEPEK LÉTESÍTÉSÉRE

KIZEKOVÁ MIRIAM<sup>1</sup> –MARTINCOVÁ JANKA<sup>1</sup> –ČUNDERLÍK JOZEF<sup>1</sup> –  
JANČOVÁ ĽUBICA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*National Agricultural and Food Centre - Grassland and Mountain Agriculture  
Research Institute,*

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt évtizedekben a földhasználat változásai, új mérséklő stratégiákat és fenntartható módot igényelnek a környezet degradációjának és a genetikai erőforrások eróziójának megelőzésére. A féltermészetes gyepek értékes vetőmag- és növényi anyagok forrásai, amelyek segíthetik a biológiai sokféleség helyreállítását és fenntartását. Az Alacsony-Tátra Nemzeti Park pufferezónájában 2009-től 2015-ig valósult meg a fajgazdag társulások használata a szántóföld helyreállítására zöldszenás módszerrel. A donor helyszínek az *Arrhenatherion* és a *Mesobromion* közösségek voltak. Ez a módszer a mi talaj-klimatikus körülményeink között hatékonynak bizonyult, lehetővé téve, hogy a donor helyen jelen lévő célfajok jó százaléka átkerüljön a receptor helyre. A 2010-es helyreállítás után egy évvel mindkét közösségnél a legmagasabbnak bizonyult a teljes átviteli arány (81%). A fajok megtelepedésének sikere a befogadóhelyen a talajviszonyoknak, különösen a talaj pH-értékének tudható be. A célfajok esetében magasabb volt az *Arrhenatherion* receptor helyén, mint a *Mesobromion* receptornál. A féltermészetes gyepek telepítési technikáira vonatkozó ismeretek korlátozott terjesztése, továbbra is az egyik legnagyobb akadálya az őshonos szaporítóanyag használatának

Szlovákiában. A projekt keretében végrehajtott beavatkozások fő célja a gazdálkodók és az érdekelt felek tapasztalatainak és készségeinek fejlesztése volt.

**Kulcsszavak:** gyep, ökológiai helyreállítás, szántóterületek, zöld széna átvitel, talaj

## REFERENCES

- Albert, A.J. – Mudrák, O. – Jongepierová, I. – Fajmon, K. – Frei, I. – Ševčíková, M. – Klimešová, J. -Doležal, J.* (2019): Grassland restoration on ex-arable land by transfer of brush-harvested propagules and green hay. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 272, 74-82.
- Baasch, A. – Engst, K. – Schmiede, R. – May, K. – Tischew, S.* (2016): Enhancing success in grassland restoration by adding regionally propagated target species. *Ecological Engineering*, 94, 583-591.
- Baasch, A. – Kirmer, A. – Tischew, S.* (2012): Nine years of vegetation development in a postmining site: effects of spontaneous and assisted site recovery. *Journal of Applied Ecology*, 49, 251-260.
- European Environment Agency (EEA).* (2004): High nature value farmland. Characteristics, trends and policy challenges. EEA report No 1/2004, 32 p.
- Ibáñez, J.J. – Zuccarello, V. – Ganis, P. – Feoli, F.* (2014): Pedodiversity deserves attention in plant diversity research. *Plant Biosystems*, 148 (6), 1112-1116.
- Kiehl, K. – Kirmer, A. – Donath, T.W. – Rasrand, L. - Hölzel N.* (2010): Species introduction in restoration projects – Evaluation of different techniques for establishment of semi-natural grasslands in Central and Northwest Europe. *Basic and Applied Ecology*, 11, 285-299.
- Kirmer, A. – Baasch, A. – Tischew, S.* (2012): Sowing of low and high diversity seed mixtures in ecological restoration of surface mined-land. *Applied Vegetation Science*, 15, 198-207.
- Lawson, C.S. – Ford, M.A – Mitchley, J.* (2004): The influence of seed addition and cutting regime on the success of grassland restoration on former arable land. *Applied Vegetation Science*, 7, 259-266.
- Prach, K. – Jongepierová, I. – Rehourkova, K. - Fajmon K.* (2014): Restoration of grasslands on ex-arable land using regional and commercial seed mixtures and

spontaneous succession: Successional trajectories and changes in species richness. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 182, 131-136.

*Rasrach, L. – Vogt, K. – Jensen, K. (2006):* Seed content and conservation evaluation of hay material off en grasslands. *Journal of Nature Conservation*, 14, 34-45.

*Ruiz-Jaen, M.C. – Aide, T.M. (2005):* Restoration success: How is it being measured? *Restoration Ecology*, 13 (3), 569-577.

*Scotton, M. – Kirmer, A. – Krautzer, B. (2012):* Practical handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands. Padova: Cooperativa Libreria Editrice Università di Padova, 116 p.

*Society for Ecological Restoration (SER). (2004):* The SER International Primer on Ecological Restoration. Tuscon, Arizona, 13 p.

*Török, P. – Vida, E. – Deák, B. – Lengyel, S. – Tóthmérész, B. (2011):* Grassland restoration on former croplands in Europe: an assessment of applicability of techniques and costs. *Biodiversity Conservation*, 20, 2311-2332.

*A szerzők levélcíme – Address of the authors:*

KIZEKOVÁ MIRIAM

National Agricultural and Food Centre - Grassland and Mountain Agriculture Research Institute, Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica, Slovakia,

E-mail: miriam.kizekova@nppc.sk

MARTINCOVÁ JANKA

National Agricultural and Food Centre - Grassland and Mountain Agriculture Research Institute, Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica, Slovakia,

E-mail: janka.martincova@nppc.sk

ČUNDERLÍK JOZEF

National Agricultural and Food Centre - Grassland and Mountain Agriculture Research Institute, Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica, Slovakia,

E-mail: jozef.cunderlik@nppc.sk



JANČOVÁ LUBICA

National Agricultural and Food Centre - Grassland and Mountain Agriculture Research

Institute, Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica, Slovakia,

E-mail: lubica.jancova@nppc.sk



## ANALÝZA STAVU TRÁVNÝCH PORASTOV V RÔZNYCH OBLASTIACH SLOVENSKA

VARGOVÁ VLADIMÍRA – KOVÁČIKOVÁ ZUZANA – MEDVECKÝ MICHAL –  
DANIEL JÁN

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav trávnych  
porastov a horského poľnohospodárstva

### SÚHRN

Účelom tejto štúdie bola analýza stavu trávnych porastov aluviálnej lúky a trávneho porastu v podhorskej oblasti pri dlhodobom hnojení. Príspevok obsahuje údaje za obdobie 5 rokov (2016 – 2020). V západnej časti Zvolenskej kotliny (Veľká Lúka) bol založený prvý poľný experiment v nadmorskej výške 350 m. Pokus pozostával z 10 variantov hnojenia: nehnojený variant, PK variant, varianty s hnojením 50, 100, 150 a 200 kg N.ha<sup>-1</sup> s dvoma pomermi živín (1: 0,3: 0,8 a 1: 0,15: 0,4). Na severe Slovenska (Krivá) bol založený druhý experiment v nadmorskej výške 680 m. Pokus pozostával z 9 variantov hnojenia: nehnojený variant a varianty s hnojením 90 kg N.ha<sup>-1</sup> s rôznymi dávkami PK hnojenia a vápnika. Trávny porast bol využívaný trikrát kosením. Aplikácia hnojív ovplyvňovala produkciu sušiny. Na lokalite Veľká Lúka bola najvyššia produkcia sušiny (8,57 t.ha<sup>-1</sup>) na variante s dávkou 200 kg N.ha<sup>-1</sup> s pomerom živín 1: 0,3: 0,8. Pôda je fluvizem, hlinitá s počiatočným pH pôdy (KCl) = 6,03. V rokoch 2016 - 2020 sa znížilo pH<sub>(KCl)</sub> pôdy na hodnotu v rozmedzí 4,34 - 4,93. Najvyššia pôdna reakcia (4,93) bola na variante s dávkou 200 kg N.ha<sup>-1</sup> s pomerom živín 1: 0,15 : 0,4. Zásoba fosforu v pôde bola signifikantne (P < 0,05) najvyššia na variante s dávkou 200 kg N.ha<sup>-1</sup> s pomerom živín 1: 0,3: 0,8. Experiment v Krivej poskytol najvyššiu produkciu sušiny na variante s dávkou dusíka 90 kg.ha<sup>-1</sup>, 26,4 kg P.ha<sup>-1</sup> a 49,8 kg K.ha<sup>-1</sup> (7,70 t.ha<sup>-1</sup>). Pôdna reakcia na kambizeme bola extrémne až silne kyslá, s najvyššou hodnotou pH<sub>(KCl)</sub> na variante s

dávkou dusíka 90 kg.ha<sup>-1</sup>, 26,4 kg P.ha<sup>-1</sup> a 49,8 kg K.ha<sup>-1</sup> (4,93) a s vápnením. Signifikantne ( $P < 0,05$ ) najvyšší obsahu fosforu bol na variantoch s NPK a NP hnojením.

**Kľúčové slová:** dlhodobý pokus, trávny porast, hnojenie, produkcia sušiny, pôdna reakcia

## ÚVOD A PREHĽAD LITERATÚRY

Charakter trávnych porastov ich predurčuje ako významný stabilizačný krajinnokoologický prvok s mnohými mimoprodukčnými funkciami. Pri obhospodarovaní a využívaní trávnych ekosystémov je nutné opierať sa o zákonitosti dynamiky ich vývoja a reakciu na ekologické podmienky prostredia a na pratotechnické zásahy (*Vozár a Kovár, 2015*). Trávne porasty majú vysokú produkčnú schopnosť, ktorá vyplýva z toho, že zmiešané spoločenstvo komplexnejšie využíva pôdny priestor k príjmu vody, živín i nadzemný priestor k zachyteniu slnečnej energie. Primárna funkcia porastov je zabezpečiť krm, živiny, palivá a liečivá. Sekundárna funkcia trávnych porastov je biodiverzita rastlín a živočíchov, ktorá je dôležitá pre udržanie kolobehu živín, vody, energie a funkčnosť ekosystémov. Doplnkovou funkciou trávnych porastov v 21. storočí sa stáva udržanie kvality ovzdušia, viazanie uhlíka, podpora opeľovačov a symbiotických organizmov (*Skládanka et al., 2014*).

*Farber et al. (2006)* rozdeľuje služby a funkcie trávnych porastov do štyroch kategórií: 1. podporné funkcie (kolobeh živín, primárna produkcia, opeľovači), 2. regulačné schopnosti (viazanie CO<sub>2</sub>, prevencia pôdnych strát, udržanie pôdnej štruktúry), 3. zaistovanie služieb (hry), 4. kultúrne služby (turistika, tvorba krajiny). Všeobecne patrí produkčná funkcia trávnych porastov medzi základné funkcie, pretože zabezpečuje výživu zvierat, človeka, obnovu energie alebo tvorbu surovín (*Novák, 2008*). Produkčná funkcia je množstvo sušiny vytvorené fotosyntetickou premenou svetelnej energie rastlinami, t.j. transformácia slnečnej energie do produkcie fytomasy (*Skládanka et al., 2014*).

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. Produkcia sušiny trávneho porastu je závislá od distribúcie a spôsobu využitia asimilátov medzi nadzemnou a podzemnou

časťou trávneho porastu, pričom je potrebné zohľadniť úbytok sušiny v procese respirácie (Vozár a Jančovič, 2014 cit. Skládanka 2014).

Hnojením možno ovplyvniť aj zmeny koncentrácie organických a minerálnych látok v sušine nadzemnej fytohmoty trávneho porastu. Tieto zmeny môžu byť primárne alebo sekundárne. Primárne zmeny sú vyvolané zmenou koncentrácie určitého prvku v poraste a sekundárne sú vyvolané zmenou hmotnostného podielu druhov a floristických skupín v trávnom poraste (Skládanka et al., 2014). Podľa Jančoviča et al. (2006) možno hodnotiť tento vplyv nasledovne: obsah živín v sušine trávnych porastov klesá so znižovaním prístupných živín v pôde a klesá aj so zvyšovaním úrod tzv. zriedčovací efektom v odrostenej biomase. Celkový úspech hnojenia závisí od pôvodného stavu trávneho porastu, jeho zabezpečenia vodou, od klimatických a pôdných podmienok, od spôsobu a frekvencie využívania a dĺžky času systematického hnojenia (Vargová et al., 2012).

Pôda je kľúčovým a mimoriadne cenným zdrojom pre človeka. V súčasnosti chápeme význam pôdy hlavne z pohľadu produkcie potravín (Bezák et al., 2012). Pôda, konkrétne pôdny kryt zohráva ako jedna zo základných zložiek životného prostredia významnú úlohu z dvoch hľadísk - a to zohľadnením jej produkčných a mimoprodukčných funkcií (akumulácia vody, filtrácia, imobilizácia znečisťujúcich látok, akumulácia uhlíka). Je to výrazný krajnotvorný prvok s obrovským regulačným a detoxikačným potenciálom (Kozba et al., 2012). Makovniková et al. (2012) uvádza, že pôdny kryt spolu s využívaním krajiny a zmenami v jej využívaní patria k najvýznamnejším činiteľom, ktoré ovplyvňujú funkcie pôdy a služby ekosystémov. Pri identifikovaní funkcií pôdy v ekosystémoch je dôležitá skutočnosť, že funkcie pôdy konkrétnej lokality sú optimálne z hľadiska špecifického ekoregiónu (Warkentin, 1995). Ako uvádza Vilček a Bujnovský (2008), význam pôdy vo väzbe na jej využívanie je významný tak z aspektu produkcie dostatku kvalitných potravín a dostatku pitnej vody – čo bezprostredne ovplyvňuje kvalitu života človeka, ako aj z pohľadu riešenia ďalších celospoločenských a environmentálnych problémov.

Vlastnosti pôd sú ovplyvňované edafickými faktory ako geologický podklad, pôdny druh a pôdny typ (Skládanka et al., 2014). Dostupnosť živín v pôde je však všeobecne nízka a mení sa pôsobením zrážok, teploty, vetra, pôdneho typu a pôdnej reakcie (Maathuis, 2009). Intenzívne dusíkaté hnojenie spôsobuje silné odčerpávanie živín a zvyšovanie kyslosti pôdy (Jančovič, 2002). Hnojenie ovplyvňuje zmeny nadzemného habitu, množstvo a kvalitu organickej hmoty v pôde. Vyvážené hnojenie mierne zvyšuje

intenzitu rozkladu pôdnej organickej hmoty a súčasne zvyšuje tvorbu koreňovej hmoty (Holúbek *et al.*, 2007). Do pôdy pod trávny porast sa dostávajú aj živiny z opadu po mineralizácii, aj dusík pútaním hrčkotvornými baktériami a fosfor mycéliom mykorrhíznych húb (Novák, 2008).

Konečný efekt správneho hnojenia nezáleží len od úrovne dosiahnutých úrod a kvality krmu, ale i od správneho využívania porastov a najmä od zhodnotenia krmu v živočíšnej výrobe. Zlepšenie obhospodarovania trávnych porastov by malo viesť k tomu, aby bola zlepšená úžitkovosť hospodárska a zároveň sa udržala kultúrna krajina. Najšť súlad medzi zachovaním biodiverzity druhov a hospodárskym využívaním trávnych porastov je v súčasnosti hľadané optimum. Zvolený konkrétny spôsob a intenzita využívania porastov sa následne odráža ako v produkcii a kvalite krmu, tak aj v zmenách ich druhovej skladby a celkového charakteru (Gaisler a Fiala, 2003, Nilsdotter-Lind *et al.*, 2002). Cieľom práce bolo posúdenie produkčných a pôdnych charakteristík aluviálnej lúky a trávneho porastu v podhorskej oblasti pri dlhodobom hnojení.

## MATERIÁL A METÓDA

Dlhodobé pokusy boli založené na dvoch lokalitách, vo Veľkej Lúke a v Krivej. V príspevku uvádzame výsledky za obdobie rokov 2016 – 2020. Charakteristika jednotlivých lokalít je uvedená v *tabuľke 1*. Pokus vo Veľkej Lúke bol založený v roku 1961 v štyroch opakovaniach s veľkosťou pokusnej parcely 32 m<sup>2</sup>, varianty hnojenia sú uvedené v *tabuľke 2*. Skoro na jar (marec) sa aplikovala prvá dávka hnojív (65 % N a celá dávka P a K) a po prvej kosbe (jún) bola dodaná druhá dávka N (35 %). Experiment v Krivej bol založený v roku 1968 v štyroch opakovaniach s veľkosťou pokusnej parcely 18 m<sup>2</sup>. Hnojenie sa aplikovalo skoro na jar (*tabuľka 3*), dávka dusíka bola rozdelená nasledovne: 1/3 z celkovej dávky na jar (apríl), 1/3 po prvej kosbe (jún) a 1/3 po druhej kosbe (august). Vápnenie bolo realizované v roku 2018 a pravidelne sa opakuje každých 6 rokov v dávke 6,0 t.ha<sup>-1</sup> CaO.

Tabuľka 1: Charakteristika pokusných lokalít

Table 1: Characteristics of experimental sites

Stanovište	Veľká Lúka	Krivá
Nadmorská výška (m n. m.)	350	680
Dlhodobý priemer zrážok – za rok ( $R_r$ – mm)	757	895
Dlhodobý priemer zrážok – za vegetáciu ( $R_v$ – mm)	428	551
Dlhodobý priemer denných teplôt – za rok ( $t_{dr}$ - °C)	8,2	6,0
Dlhodobý priemer denných teplôt – za vegetáciu ( $t_{dv}$ - °C)	14,7	12,7
Pôdny druh	hlinitá	piesočnatohlinitá
Pôdny typ	fluvizem	kambizem
Pôvodná pôdna reakcia	6,03	5,45
Geologický substrát	aluviálne naplaveniny	podhôrny flyš

Tabuľka 2: Varianty pokusu - Veľká Lúka

Table 2: Trial treatments - Veľká Lúka

Variant	Hnojenie (kg.ha <sup>-1</sup> )			Pomer N:P:K
	N	P	K	
1	-	-	-	-
2	-	22	41,5	-
3	50	15	40	(1 : 0,30 : 0,8)
4	100	30	80	(1 : 0,30 : 0,8)
5	150	45	120	(1 : 0,30 : 0,8)
6	200	60	160	(1 : 0,30 : 0,8)
7	50	7,5	20	(1 : 0,15 : 0,4)
8	100	15	40	(1 : 0,15 : 0,4)
9	150	22,5	60	(1 : 0,15 : 0,4)
10	200	30	80	(1 : 0,15 : 0,4)

Porasty na oboch lokalitách boli využívané tromi kosbami, s termínom prvej kosby na začiatku klasenia prevládajúcich druhov tráv, 6 – 8 týždňov po prvej kosbe, 8 – 10 týždňov po druhej kosbe. Pred každou kosbou sa odobrali priemerné vzorky zelenej

fytomasy (cca 500 g) na stanovenie produkcie sušiny podľa STN 47 7007. Na jeseň každého roku sa z hĺbky 0 – 150 mm odobrali pôdne vzorky na chemické analýzy. Z odobratých priemerných vzoriek sa stanovili pH/KCl, obsah organického uhlíka, fosfor, draslík a horčík. 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 0,05. Analýzy boli vykonané použitím programu STATGRAPHIC Centurion XVI.I.

Tabuľka 3: Varianty pokusu - Krivá

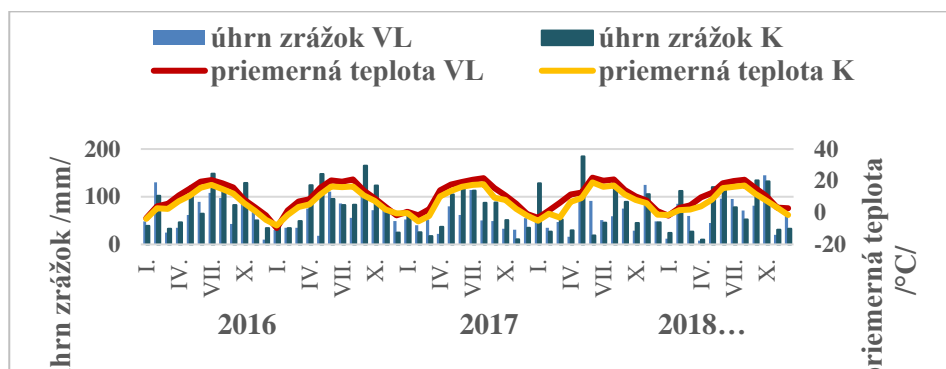
Table 3: Trial treatments - Krivá

Variant	Hnojenie (kg.ha <sup>-1</sup> )			
	N	P	K	Ca
1	-	-	-	-
2	90	26,4	49,8	-
3	90	26,4	49,8	6000
4	90	26,4	-	-
5	90	26,4	-	6000
6	90	-	49,8	-
7	90	-	49,8	6000
8	90	-	-	-
9	90	-	-	6000

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Priemerná teplota za vegetačné obdobie v roku 2016 bola na lokalite Veľká Lúka 16,7 °C s úhrnom zrážok 434 mm (*graf 1*). Rok 2017 mal počas vegetácie úhrn zrážok 454 mm (o 20 mm viac ako v roku 2016). Najviac zrážok spadlo v júli a septembri. Priemerná teplota vzduchu za vegetačné obdobie bola 16,4 °C, čo je menej o 0,03 °C ako v roku 2016. Rok 2018 bol zrážkovo podnormálny, za vegetáciu spadlo len 328 mm, pričom najnižší úhrn zrážok bol v apríli (22 mm). Najviac zrážok bolo v júli (114 mm) spolu s druhou maximálnou priemernou mesačnou teplotou 20,6 °C. Priemerná teplota vzduchu

za vegetáciu bola najvyššia v tomto roku (18,1 °C), čo je o 1,4 – 2,0 °C viac ako v ostatných rokoch. Ďalší rok mal úhrn zrážok počas vegetácie 404 mm a maximálne mesačné úhrny zrážok počas vegetácie boli zaznamenané v mesiaci máj (112 mm), pričom najnižší úhrn zrážok bol v apríli (16 mm). Najvyššia priemerná mesačná teplota bola v júni (22,0 °C) a aj ďalšie letné mesiace mali teplotu nad 20,0 °C. V roku 2020 bol úhrn zrážok za vegetáciu 396 mm s najnižším mesačným úhrnom zrážok 8 mm v mesiaci apríl. Priemerná mesačná teplota za vegetačné obdobie bola 16,1 °C (graf 1), čo je o 0,08 °C menej ako v roku 2019. Letné mesiace, okrem augusta (20,6 °C), nedosiahli priemernú teplotu nad 20,0 °C.



Graf 1: Walterov klimatogram - Veľká Lúka (VL), Krivá (K)

Figure 1: Walter's climatogram - Veľká Lúka (VL), Krivá (K)

Na lokalite Krivá sa roky 2016 – 2020 vyznačovali nadpriemernými teplotami a výrazne nadpriemerným úhrnom zrážok (graf 1). Okrem roku 2019, kedy bol úhrn zrážok za vegetáciu len 488 mm. Najvyššia priemerná teplota za vegetáciu (14,1 °C) bola v roku 2018. Rok 2017 dosiahol najvyšší úhrn zrážok počas vegetácie 698 mm s priemernou teplotou nižšou o 1,49 °C ako v 2018. Výraznejšie výkyvy sme zaznamenali v roku 2020, kedy v mesiaci apríl bol úhrn zrážok len 41 mm a v ďalších mesiacoch máj (120 mm) a jún (127 mm) sme zaznamenali maximálne úhrny zrážok. V tomto roku bola priemerná mesačná teplota za vegetáciu najnižšia, len 12,1 °C.

V roku 2016 bola pôdna reakcia na lokalite Veľká Lúka extrémne až silne kyslá a oscilovala v rozpätí od 4,45 do 5,02. V ďalších rokoch poklesla a najnižšia bola v roku 2018, čo bolo štatisticky preukazné ( $P < 0,05$ ). Za uvedené roky bola najvyššia pôdna



reakcia v roku 2020 na variante 10, so štatistickým potvrdením ( $P < 0,05$ ). Signifikantne vyššie hodnoty pH mali varianty 7 až 10 ako varianty 3 až 6 (tabuľka 4). Obsah humusu v priemere rokov stúpal, signifikantne najvyššie hodnoty boli v rokoch 2017 a 2018 (31,97 a 32,28 g.kg<sup>-1</sup>), s následným poklesom v ďalšom období. Jančovič *et al.* (2007) zistil zvýšenie obsahu C<sub>ox</sub> na intenzívne hnojených variantoch. Rovnakú tendenciu, aj so štatistickým potvrdením ( $P < 0,05$ ) sme zaznamenali aj pri obsahu dusíka. Dusík predstavuje dôležitý prvok, ktorý vplýva na posun v druhovom zložení, kontroluje diverzitu, dynamiku a funkciu mnohých ekosystémov (Vitousek *et al.*, 1997). Signifikantne vyšší obsah fosforu mali varianty 3 – 6 a varianty 7 – 10 mali vyšší obsah horčíka. Najvyšší obsah fosforu v pôde sme zistili na variante 6 so signifikantným ( $P < 0,05$ ) vplyvom (tabuľka 4). Jednotlivé roky nemali vplyv na obsah fosforu a draslíka v pôde. Varianty ako faktor, ovplyvňovali pôdnu reakciu, obsah fosforu a horčíka. Kobza *et al.* (2010) uvádzajú, že naše pôdy sú dobre zásobené horčíkom, s čím korešpondujú aj nami zistené výsledky. Signifikantný nárast koncentrácie horčíka s jeho najvyšším obsahom bol na variante 10 (439,24 mg.kg<sup>-1</sup>).

Tabuľka 4: Vplyv rokov, pomerov a variantov na pôdnu reakciu a zásobu prvkov v pôde  
- Veľká Lúka

Table 4: Effect of years, nutrient ratios and treatments on soil reaction and supply of soil  
elements in soil - Veľká Lúka

Faktor		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>
Rok	2016	4,65 <sup>ab</sup>	24,62 <sup>b</sup>	2,93 <sup>b</sup>	14,99 <sup>a</sup>	103,48 <sup>a</sup>	381,51 <sup>ab</sup>
	2017	4,55 <sup>ab</sup>	31,97 <sup>c</sup>	2,91 <sup>b</sup>	11,43 <sup>a</sup>	116,94 <sup>a</sup>	393,83 <sup>b</sup>
	2018	4,41 <sup>a</sup>	32,28 <sup>c</sup>	3,19 <sup>b</sup>	12,31 <sup>a</sup>	117,30 <sup>a</sup>	382,76 <sup>ab</sup>
	2019	4,61 <sup>ab</sup>	20,37 <sup>a</sup>	2,91 <sup>b</sup>	9,83 <sup>a</sup>	116,44 <sup>a</sup>	352,04 <sup>a</sup>
	2020	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>ab</sup>
Pomer	0	4,38 <sup>a</sup>	27,69 <sup>a</sup>	3,01 <sup>a</sup>	2,12 <sup>ab</sup>	111,31 <sup>a</sup>	402,22 <sup>b</sup>
	PK	4,34 <sup>a</sup>	24,63 <sup>a</sup>	2,58 <sup>a</sup>	9,32 <sup>ab</sup>	116,25 <sup>a</sup>	333,56 <sup>b</sup>
	1 : 0,3 : 0,8	4,58 <sup>ab</sup>	26,06 <sup>a</sup>	2,81 <sup>a</sup>	20,16 <sup>b</sup>	113,26 <sup>a</sup>	345,79 <sup>a</sup>
	1 : 0,15 : 0,4	4,71 <sup>b</sup>	25,49 <sup>a</sup>	2,81 <sup>a</sup>	3,32 <sup>a</sup>	111,65 <sup>a</sup>	405,18 <sup>b</sup>
Varianty	1	4,39 <sup>ab</sup>	27,69 <sup>a</sup>	3,01 <sup>a</sup>	2,11 <sup>a</sup>	111,31 <sup>a</sup>	402,22 <sup>cd</sup>
	2	4,34 <sup>a</sup>	24,63 <sup>a</sup>	2,58 <sup>a</sup>	9,32 <sup>a</sup>	116,25 <sup>a</sup>	333,56 <sup>ab</sup>
	3	4,51 <sup>abc</sup>	26,44 <sup>a</sup>	2,92 <sup>a</sup>	3,25 <sup>a</sup>	106,19 <sup>a</sup>	346,99 <sup>abc</sup>
	4	4,57 <sup>abc</sup>	27,03 <sup>a</sup>	2,85 <sup>a</sup>	10,48 <sup>a</sup>	114,03 <sup>a</sup>	329,00 <sup>ab</sup>
	5	4,62 <sup>bc</sup>	24,96 <sup>a</sup>	2,67 <sup>a</sup>	18,14 <sup>a</sup>	113,80 <sup>a</sup>	380,46 <sup>abcd</sup>
	6	4,61 <sup>bc</sup>	25,83 <sup>a</sup>	2,81 <sup>a</sup>	48,78 <sup>b</sup>	119,00 <sup>a</sup>	326,72 <sup>a</sup>
	7	4,54 <sup>abc</sup>	25,82 <sup>a</sup>	2,85 <sup>a</sup>	2,49 <sup>a</sup>	107,72 <sup>a</sup>	406,37 <sup>cd</sup>
	8	4,65 <sup>c</sup>	26,87 <sup>a</sup>	2,80 <sup>a</sup>	2,81 <sup>a</sup>	113,34 <sup>a</sup>	385,17 <sup>abcd</sup>
	9	4,73 <sup>cd</sup>	25,05 <sup>a</sup>	2,93 <sup>a</sup>	3,26 <sup>a</sup>	109,86 <sup>a</sup>	389,93 <sup>bcd</sup>
	10	4,93 <sup>d</sup>	24,23 <sup>a</sup>	2,64 <sup>a</sup>	4,71 <sup>a</sup>	115,69 <sup>a</sup>	439,24 <sup>d</sup>

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

Pôdna reakcia na lokalite Krivá bola extrémne, silne kyslá až kyslá, v priemere rokov oscilovala od 3,88 na variante 6 (NK) do 5,49 na variante 3 s NPK (+ Ca) hnojením, so štatisticky preukazným rozdielom ( $P < 0,05$ ). Za uvedené roky bola najvyššia pôdna reakcia v roku 2019, bez signifikantného rozdielu (tabuľka 5). Obsah humusu bol v priemere rokov najvyšší v roku 2016 (20,53 g.kg<sup>-1</sup>). Varianty ani rok nemali vplyv na obsah humusu v pôde. Na nehnojenom variante sme zaznamenali v priemere rokov stredný obsah humusu 17,71 g.kg<sup>-1</sup> C<sub>ox</sub> a dusíka (2,20 g.kg<sup>-1</sup>). Signifikantne

( $P < 0,05$ ) najvyšší obsah dusíka bol v roku 2016. Najvyššie hodnoty obsahu fosforu mali varianty 2 (NPK) a 4 (NP) s vysoko preukazným vplyvom ( $P < 0,05$ ). Rok ako faktor ovplyvňoval obsah fosforu a draslíka, so signifikantným vplyvom v roku 2019, kedy boli zaznamenané maximálne hodnoty. Obsah draslíka v rokoch mierne stúpal, pričom najvyšší bol na variante 6 ( $90,31 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) v roku 2019. Varianty ako faktor, ovplyvňovali pôdnu reakciu, obsah fosforu a horčíka. Nárast koncentrácie horčíka bol signifikantný s maximálnou hodnotou na variante 5 (NP + Ca),  $316,28 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

*Tabuľka 5: Vplyv rokov a variantov na pôdnu reakciu a zásoby prvkov v pôde - Krivá*  
*Table 5: Effect of years, nutrient ratios and treatments on soil reaction and supply of soil elements in soil - Krivá*

Faktor		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>
Rok	2016	4,45 <sup>a</sup>	20,53 <sup>a</sup>	2,73 <sup>c</sup>	4,10 <sup>a</sup>	74,38 <sup>a</sup>	218,23 <sup>a</sup>
	2017	4,36 <sup>a</sup>	18,30 <sup>a</sup>	1,82 <sup>a</sup>	5,14 <sup>ab</sup>	67,74 <sup>a</sup>	211,61 <sup>a</sup>
	2018	4,31 <sup>a</sup>	19,76 <sup>a</sup>	1,93 <sup>a</sup>	5,79 <sup>bc</sup>	69,55 <sup>a</sup>	259,43 <sup>a</sup>
	2019	4,87 <sup>a</sup>	18,43 <sup>a</sup>	2,36 <sup>b</sup>	6,93 <sup>c</sup>	82,56 <sup>b</sup>	264,54 <sup>a</sup>
	2020	4,65 <sup>a</sup>	20,40 <sup>a</sup>	2,11 <sup>ab</sup>	4,96 <sup>ab</sup>	75,50 <sup>ab</sup>	245,05 <sup>a</sup>
Varianty	1	4,11 <sup>a</sup>	17,71 <sup>a</sup>	2,20 <sup>a</sup>	3,10 <sup>b</sup>	75,05 <sup>a</sup>	209,93 <sup>acb</sup>
	2	4,14 <sup>a</sup>	18,10 <sup>a</sup>	2,11 <sup>a</sup>	10,60 <sup>c</sup>	71,52 <sup>a</sup>	189,49 <sup>ab</sup>
	3	5,49 <sup>c</sup>	20,15 <sup>a</sup>	2,20 <sup>a</sup>	7,41 <sup>b</sup>	75,21 <sup>a</sup>	315,88 <sup>c</sup>
	4	4,22 <sup>ab</sup>	17,80 <sup>a</sup>	1,98 <sup>a</sup>	10,95 <sup>c</sup>	74,01 <sup>a</sup>	198,29 <sup>ab</sup>
	5	5,17 <sup>bc</sup>	20,88 <sup>a</sup>	2,33 <sup>a</sup>	6,74 <sup>b</sup>	72,50 <sup>a</sup>	316,28 <sup>c</sup>
	6	3,88 <sup>a</sup>	21,46 <sup>a</sup>	2,35 <sup>a</sup>	2,57 <sup>a</sup>	78,86 <sup>a</sup>	175,61 <sup>a</sup>
	7	5,15 <sup>bc</sup>	19,68 <sup>a</sup>	2,18 <sup>a</sup>	2,63 <sup>a</sup>	74,07 <sup>a</sup>	297,05 <sup>bc</sup>
	8	4,26 <sup>ab</sup>	19,89 <sup>a</sup>	2,23 <sup>a</sup>	2,24 <sup>a</sup>	70,70 <sup>a</sup>	229,03 <sup>acb</sup>
	9	4,37 <sup>ab</sup>	19,70 <sup>a</sup>	2,13 <sup>a</sup>	2,23 <sup>a</sup>	73,58 <sup>a</sup>	226,39 <sup>abc</sup>

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

Počas sledovaného obdobia bola najvyššia produkcia sušiny na lokalite Veľká Lúka v roku 2016 na variantoch 3 – 6 s pomerom živín 1 : 0,3 : 0,8, od  $7,76 \text{ t.ha}^{-1}$  do  $11,81 \text{ t.ha}^{-1}$ . V roku 2018 sme zaznamenali na všetkých variantoch najnižšiu produkciu (*tabuľka 6*), čo bolo spôsobené nízkym úhrnom zrážok. Hnojené varianty 3 až 6 dosahovali produkciu od  $3,83 - 5,32 \text{ t.ha}^{-1}$ , a varianty 7 – 10 ju mali o  $0,39 - 1,36 \text{ t.ha}^{-1}$  nižšiu. Najvyššiu úrodu

sušiny 5,32 t.ha<sup>-1</sup> sme zaznamenali na variante 6 (200 kg N, 60 kg P, 160 kg K). Tento variant poskytol signifikantne ( $P < 0,05$ ) maximálne hodnoty produkcie sušiny aj v ďalších rokoch, 10,61 t.ha<sup>-1</sup> v roku 2020, 7,17 t.ha<sup>-1</sup> v roku 2019 a 7,95 t.ha<sup>-1</sup> v roku 2017. Štatisticky preukazne najvyššiu úrodu poskytli aj varianty 5 (150 kg N + PK) a 10 (200 kg N + PK).

Tabuľka 6: Produkcia sušiny - Veľká Lúka

Table 6: Dry matter yields - Veľká Lúka

Variant	2016	2017	2018	2019	2020	Priemer
	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	
1	5,17	3,84	2,52	3,66	4,54	3,95 <sup>a</sup>
2	6,93	4,80	2,77	4,13	7,11	5,15 <sup>ab</sup>
3	7,76	4,50	3,83	5,83	7,42	5,87 <sup>ab</sup>
4	8,96	6,22	5,04	6,46	8,54	7,04 <sup>ab</sup>
5	11,24	5,65	5,30	7,12	10,33	7,93 <sup>b</sup>
6	11,81	7,95	5,32	7,17	10,61	8,57 <sup>b</sup>
7	7,44	6,30	3,44	5,00	7,24	5,88 <sup>ab</sup>
8	9,29	6,75	2,42	5,80	7,78	6,41 <sup>ab</sup>
9	9,76	5,98	3,94	7,19	10,69	7,51 <sup>ab</sup>
10	10,66	7,65	4,45	7,51	10,26	8,11 <sup>b</sup>

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

Výsledky pokusu potvrdzujú štatisticky preukazný vplyv roka na produkciu sušiny (tabuľka 7). Hnojenie dusíkom zvyšovalo produkciu sušiny vo všetkých kosbách a rokoch (Velich 1986, Holúbek 1991, Glaba a Kacorzykb 2011). Najnižšia produkcia sušiny bola na nehnojenom variante, od 2,52 t.ha<sup>-1</sup> v roku 2018 do 5,17 t.ha<sup>-1</sup> v roku 2016. Štatisticky preukazne ( $P < 0,05$ ) najvyššiu produkciu sušiny zaznamenali porasty v prvej a druhej kosbe, a v rokoch 2016 a 2020 (tabuľka 7), potvrdené aj v práci Vargová *et al.* (2012).

*Tabuľka 7: Vplyv rokov, kosby a pomerov na produkciu sušiny (t.ha<sup>-1</sup>)**Table 7: Effect of years, cutting and nutrient ratios on dry matter production (t/ha)*

Rok	Priemer	Kosba	Priemer	Pomer	Priemer
2016	2,71 <sup>c</sup>	1	2,25 <sup>b</sup>	0	1,33 <sup>a</sup>
2017	1,73 <sup>b</sup>	2	2,15 <sup>b</sup>	PK	1,72 <sup>a</sup>
2018	1,04 <sup>a</sup>	3	1,46 <sup>a</sup>	1 : 0,3 : 0,8	2,45 <sup>b</sup>
2019	1,73 <sup>b</sup>			1 : 0,15 : 0,4	2,33 <sup>b</sup>
2020	2,55 <sup>c</sup>				

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

Diferencovaná skladba pôdných živín má zásadný vplyv na pokryvnosť agrobotanických skupín a aj na výšku úrod. Výrazný odstup sa prejavuje medzi jednotlivými variantmi predovšetkým vplyvom fosforečného hnojenia. Výška úrod je odrazom jeho obsahu v pôde, z čoho vyplýva, že rastliny nedokážu jeho nedostatok vykompenzovať. Za sledované obdobie dosiahol v roku 2016 na lokalite Krivá najvyššiu produkciu sušiny variant 2 s NPK hnojením (8,82 t.ha<sup>-1</sup>) a najnižšiu nehnojený variant (4,41 t.ha<sup>-1</sup>). Aplikáciou vápenatého hnojenia bola produkcia sušiny nižšia o 5,9 % (N + Ca) – 18,64 % (NP + Ca). Pri porovnaní variantov NPK hnojenie s NP, NK a N hnojením sme zaznamenali pokles úrody o 1,15 t.ha<sup>-1</sup> na variante 4 (NP), o 2,7 t.ha<sup>-1</sup> na variante 6 (NK) a o 3,83 t.ha<sup>-1</sup> na variante 8 (N) (*tabuľka 8*).

Tabuľka 8: Produkcia sušiny - Krivá

Table 8: Dry matter yields - Krivá

Variant	2016	2017	2018	2019	2020	Priemer
	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	
1	4,41	3,57	2,85	3,21	4,15	3,64 <sup>a</sup>
2	8,82	7,92	7,24	6,38	8,14	7,70 <sup>c</sup>
3	7,29	7,64	6,74	6,43	7,15	7,05 <sup>c</sup>
4	7,67	8,39	6,17	6,38	7,34	7,19 <sup>c</sup>
5	6,24	7,17	5,94	5,76	6,44	6,31 <sup>bc</sup>
6	6,12	5,37	4,00	3,79	4,81	4,82 <sup>ab</sup>
7	5,44	4,88	4,38	2,95	3,83	4,30 <sup>a</sup>
8	4,99	4,15	3,73	3,10	3,81	3,96 <sup>a</sup>
9	4,71	2,99	3,58	3,76	4,51	3,91 <sup>a</sup>

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

V roku 2017 dosiahol variant 4 (NP) vyššiu produkciu sušiny o 0,47 t.ha<sup>-1</sup> ako variant 2 s NPK hnojením. Najnižšiu úrodu sme zaevidovali na variante 9 s dusíkatým hnojením + Ca (2,99 t.ha<sup>-1</sup>). Produkcia sušiny bola v ďalšom roku (2018) na všetkých variantoch veľmi nízka, najnižšia za sledované obdobie. Hnojené varianty poskytli produkciu sušiny od 3,73 do 7,24 t.ha<sup>-1</sup>. Najvyššiu úrodu sme zistili na variante 2 s NPK hnojením (tabuľka 8). Aplikácia dusíka + P (variant 4) zvýšila produkciu sušiny o 2,17 t.ha<sup>-1</sup> v porovnaní s aplikáciou dusíka + K (variant 6). Druhú najvyššiu produkciu sušiny sme zaznamenali v roku 2020 na variante 2 s NPK hnojením (8,14 t.ha<sup>-1</sup>) a najnižšiu na variante 8 s N hnojením (3,81 t.ha<sup>-1</sup>). Aplikáciou vápenatého hnojenia sa produkcia sušiny na variante 9 (N + Ca) zvýšila o 0,7 t.ha<sup>-1</sup>, v porovnaní s variantom 8.

Signifikantne ( $P < 0,05$ ) najvyššia produkcia sušiny bola v roku 2016 (tabuľka 9). Na nárast produkcie sušiny bol vplyv prvej a druhej kosby štatisticky preukazný ( $P < 0,05$ ), rovnako ako aj na lokalite Veľká Lúka.

Tabuľka 9: Vplyv rokov a kosby na produkciu sušiny ( $t \cdot ha^{-1}$ )Table 9: Effect of years and cutting on dry matter production ( $t/ha$ )

Rok	Priemer	Kosba	Priemer
2016	2,06 <sup>b</sup>	1	2,20 <sup>b</sup>
2017	1,92 <sup>a</sup>	2	2,00 <sup>b</sup>
2018	1,65 <sup>a</sup>	3	1,23 <sup>a</sup>
2019	1,55 <sup>a</sup>		
2020	1,86 <sup>a</sup>		

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

Pri porovnaní oboch lokalít môžeme konštatovať, že vyššiu produkciu sušiny sme zistili na lokalite Veľká Lúka. Priemerná produkcia za dané obdobie bola od 3,95 na nehojenom variante do 8,57  $t \cdot ha^{-1}$  na variante 6 s 200 kg dávkou dusíka (+ PK). Experiment v Krivej poskytol priemernú produkciu úrody od 3,64  $t \cdot ha^{-1}$  na nehojenom variante do 7,70  $t \cdot ha^{-1}$  na variante 2 s 90 kg dávkou dusíka (+ PK). Na oboch lokalitách sme zaznamenali pozitívny vplyv aplikácie hnojív na zvýšenie produkcie sušiny. Rovnako preukazne ovplyvňovali nárast úrody aj faktory rok (2016) a kosba (1. a 2. kosba).

## ZÁVERY

Za sledované obdobie 2016 – 2020 bola zaznamenaná vyššia produkcia sušiny na aluviálnej lúke na lokalite Veľká Lúka (350 m n. m.), s maximálnou produkciou (v priemere rokov 8,57  $t \cdot ha^{-1}$ ) vo všetkých rokoch na variante s dávkou dusíka 200  $kg \cdot ha^{-1}$ , 60  $kg \cdot ha^{-1}$  P a 160  $kg \cdot ha^{-1}$  K. V podhorskej oblasti v Krivej (680 m n. m.) rovnako štatisticky preukazne, vo vzťahu k hnojeniu a jeho výške, dosiahol najvyššiu produkciu sušiny variant s dávkou dusíka 90  $kg \cdot ha^{-1}$ , 26,4  $kg \cdot ha^{-1}$  P a 49,8  $kg \cdot ha^{-1}$  K (7,70  $t \cdot ha^{-1}$ ). Výsledky pokusov potvrdili významný vplyv faktorov rok (2016) a kosby (1. a 2. kosby) na nárast produkcie sušiny na oboch lokalitách. Pôdna reakcia bola na hodnotených lokalitách extrémne až silne kyslá, pričom najvyššia hodnota pôdnej reakcie 5,49 bola na lokalite Krivá, na variante s dávkou dusíka 90  $kg \cdot ha^{-1}$ , 26,4  $kg \cdot ha^{-1}$  P a 49,8  $kg \cdot ha^{-1}$  K spolu s vápnením v roku 2018. Experiment na Veľkej Lúke mal v roku 2020

signifikantne ( $P < 0,05$ ) najvyšší obsah dusíka a pH. Faktor variant ovplyvňoval na obidvoch lokalitách pôdnu reakciu a zásobu fosforu a horčika v pôde.

## **ANALYSIS OF THE STATE OF GRASS GROWTH IN DIFFERENT AREAS OF SLOVAKIA**

VARGOVÁ VLADIMÍRA – KOVÁČIKOVÁ ZUZANA – MEDVECKÝ MICHAL – DANIEL JÁN

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva

### **ABSTRACT**

The aim of this study was to analyze the condition of grasslands of alluvial meadow and grassland in the foothill area of long-term fertilization. The paper consists of experimental data collected during 5 years (2016 – 2020). The first field experiment was established in the western part of the Zvolenská kotlina (Veľká Lúka) basin at 350 m a.s.l. The experiment consisted of 10 treatments of fertilization: unfertilized grass swards, PK fertilized grass swards and grass swards fertilized 50, 100, 150 and 200 kg N/ha with two nutrient ratios (1 : 0.3 : 0.8 and 1 : 0.15 : 0.4). The second field experiment was established on the north part of Slovakia (Krivá) at 680 m a.s.l. The experiment consisted of 9 treatments of fertilization: unfertilized grass swards and grass swards fertilized 90 kg N/ha with different levels PK of fertilization and application of calcium. The grassland was used three times by cutting. Application of fertilizers had an effect on DM yield. The rate of 200 kg N/ha with a ratio of 1 : 0.3 : 0.8 produced the highest DM yields (11.81 t/ha) in the area of Veľká Lúka. The soil is loamy fluvisol; the initial soil pH (KCl) is 6.03. In the years 2016 - 2020 the soil pH<sub>(KCl)</sub> decreased to the values in range 4.34 - 4.93. The most significant decrease of soil pH (4.93) was on the treatment rate of 200 kg N/ha with a ratio of 1 : 0.15 : 0.4. The phosphorus supply in the soil was significantly ( $P < 0.05$ ) the highest on the treatment of rate of 200 kg N/ha with a ratio of 1 : 0.3 : 0.8. The experiment Krivá was the highest DM yield in the rate of 90 kg N/ha with 26.4 kg P/ha and 49.8 kg K/ha (7.70 t/ha). The soil reaction on cambisol was extremely to strongly acidic, with the highest pH<sub>(KCl)</sub> on the treatment in the rate of 90 kg N/ha with, 26.4 kg



P/ha and 49.8 kg K/ha (4.93) and with liming. Significantly ( $P < 0.05$ ) the highest phosphorus content was on treatments with NPK and NP fertilization.

**Keywords:** long-term experiment, grassland, fertilised, dry mater, soil reaction

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol spracovaný z výsledkov riešenia Rezortného projektu výskumu a vývoja (RPVaV) „Komplexné systémy hospodárenia na trávnych porastoch“ v priebehu rokov 2016 – 2018 a „Multifunkčné hospodárenie na rôznych typoch trávnych porastov“ v rokoch 2019 – 2021.

## LITERATÚRA

*Bezák, P., Skalský, R., Szallayová, R.* (2012): Alternatívne riešenia poľnohospodárskej pôdy pred zábermi vo väzbe na legislatívu. In *Vedecké práce VÚPOP Bratislava*, s. 24 – 36.

*Gaisler, J., Fiala, J.* (2003): Vliv hnojení a počtu sečí na botanické složení, výnos a kvalitu píče trávniho porostu. In *Ekologicky šetrné a ekonomicky přijatelné obhospodařování travních porostů (sborník z mezinárodní vědecké konference)* Praha : VÚRV, pp. 71 - 78.

*Glaba, T., Kacorzkyb, P.* (2021): Root distribution and herbage production under different management regimes of mountain grassland. *Soil and Tillage Research*, vol. 113, no. 2, pp. 99–104.

*Farber, S., Costanza, R., Childers, D. L., Erikson, J., Gross, K., Grove, M., Hopkinson, Ch. S., Kahn, J., Pincetl, S., Troy, A., Warren, P., Wilson, M.* (2006): Linking ecology and economics for ecosystem management. *BioScience*, vol. 56, pp.121-133.  
[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056\[0121:LEAEFE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056[0121:LEAEFE]2.0.CO;2)

*Holúbek, R.* (1991): Produkčná schopnosť a kvalita PTP v mierne teplej a mierne suchej oblasti. *Poľnohospodárska veda*, Bratislava : Veda SAV, 132 s.

*Holúbek, R. et al.* (2007): Krmovinárstvo – manažment pestovania a využívania krmovín. Nitra, 420s.

- Jančovič, J.* (2002): Vplyv hnojenia a využívania na vyplavovanie živín a zmeny pôdnych vlastností v trávnom ekosystéme. In *Ekológia trávneho porastu VI*. Banská Bystrica. s. 138-146.
- Jančovič, J., Ďurková, E., Vozár, L.* (2006): Trávne porasty a poľné krmoviny. 3. nezmenené vyd. Nitra: SPU, 127.
- Jančovič, J. et al.* (2007): Základné agrochemické vlastnosti kambizeme pod trávnyim porastom v dlhodobom pokuse. In *Ekológia trávneho porastu VII*. Banská Bystrica. 2007, s. 328-332.
- Kobza, J. et al.* (2010): Aktuálny stav a vývoj obsahu fosforu, draslíka a horčíka v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. In *Agrochémia*, roč. 50, 2010, č.1, s. 3-8.
- Kobza, J., Barančíková, G., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M.* (2012): Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitívneho územia Horná Nitra s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení. VÚPOP Bratislava, 2010, 94 s.
- Makovníková, J., Orságová, K., Pálka, B., Širáň, M., Bohunčáková, S.* (2012): Využitie rekreačnej funkcie pôdy v cestovnom ruchu. In *Vedecké práce VÚPOP Bratislava*, s. 60 – 70.
- Maathuis, F.* (2009): Physiological function of mineral macronutrients. In *Current Opinion in Plant Biology*, 12, vol. 3, s. 250-258.
- Nilsdotter-Linde, N., Stenberg, M., Tuveesson, M.* (2002): Nutritional quality and yield of white and red clover mixed swards with different harvest and nitrogen strategies. *Grassland Science in Europe*, vol. 7, pp. 146–147.
- Novák, J.* (2008): Pásienky, lúky a trávniky. Prievidza : Patria I. spol. s r. o. , 708 s.
- Skládanka, J. et al.* (2014): Pícninářství. Brno : MU, 368 s.
- Vargová, V., Kovačiková, Z., Michalec, M.* (2012): Effects of rates and nutrient ratios on production and quality of phytomass at fertiliser application to an alluvial meadow. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 58 (1), pp.1–10. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10207-012-0001-z>
- Velich, J.* (1986): Studium vývoje produkční schopnosti trvalých lučních porostů a drnového prosecu při dlouhodobém hnojení a jeho optimalizace. Praha: Videopres MON., 162s.
- Vilček J., Bujnovský R.* (2008): Produkčno-ekonomické aspekty udržateľného využívania poľnohospodárskych pôd Slovenska. Bratislava: VÚPOP, 2008. 5 s.

Vitousek, P. et al. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. In *Ecological Applications*, 1997, 7, pp. 737-750.

Vozár E., Kovár, P. (2015): [https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty/files/19/19-vozar.pdf](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-vozar.pdf)

Vozár, E., Jančovič, J. (2014): Ošetrovanie travných porostů. In Skládanka, J. et al. *Pícninářství*. Brno : MU, s. 225-245.

Warkentin, B. (1995): The changing concept of soil quality. In *J. Soil Water Conserv.*, 50, 1995, p. 226-228.

*Adresy autorov – Address of the authors:*

Vargová Vladimíra

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva

Mládežnícka 36, Banská Bystrica, 974 21

vladimira.vargova@nppc.sk

Kováčiková Zuzana

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva

Mládežnícka 36, Banská Bystrica, 974 21

zuzana.kovacikova@nppc.sk

Medvecký Michal

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Regionálne výskumné pracovisko Krivá

Krivá 62, 027 55, Krivá

michal.medvecky@nppc.sk

Daniel Ján

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Regionálne výskumné pracovisko Krivá

Krivá 62, 027 55, Krivá

jan.daniel@nppc.sk



## TERMÉSZETES ÉS SZINTETIZÁLT ZEOLITOK BEMUTATÁSA ÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEIK ISMERTETÉSE, KIEMELTEN MEZŐGAZDASÁGI CÉLÚ FELHASZNÁLÁS CÉLJÁBÓL

HANNUS ISTVÁN

Szegedi Tudományegyetem, Alkalmazott és Környezeti, Kémiai Tanszék, Szeged

### ÖSSZEFOGLALÁS

A zeolitok kristályos alkáli- és/vagy alkáliföldfém-alumínium-hidroszilikátok. Szerkezetükben meghatározóak a  $\text{SiO}_4$  tetraéderek, alumínium helyettesítheti, egymáshoz közös oxigénatomokon keresztül kapcsolódnak. A zeolitok kristályrácsa csatornákat és üregeket tartalmaz, és ezekben található a hidratált töltéskompenzáló kationok és a vízmolekulák.

Felhasználhatóság szempontjából fontos tulajdonsága a nagy ioncsere kapacitás, főleg a Zeolon P4-nek.

Mezőgazdasági hasznosítás: A természetes zeolitok keletkezésük során sokféle fémiont kötöttek meg, nagy a nyomelem tartalmuk, talajjavítóként ill. állati takarmányok adalékanyagaként is széles körben használják.

Környezetvédelemi jelentősége: a vízkezelésben, szennyvízkezelésben betöltött fontos szerepe, vízlágyítás szempontjából a ioncserélő adalékanyagokat (zeolit) kell tenni (foszfát helyett) a mosóporokba a keménységet okozó ionok eltávolítására.

A zeolitok szelektív adszorpciós képessége, az ún. "molekulaszűrés", szerepe a szárítás, adszorpciós tisztítás és elválasztás területén van.

Legfontosabb ipari felhasználási területet a katalitikus krakkolás, a folyamat végén a szénhidrogéneket különböző frakciókra választják szét: C1-C3 gázok, C4, gazolin, krakk benzin, könnyű olaj, nehéz olaj és recirkulációs olaj. Jelenleg használatos katalizátor a faujazit (zeolit).

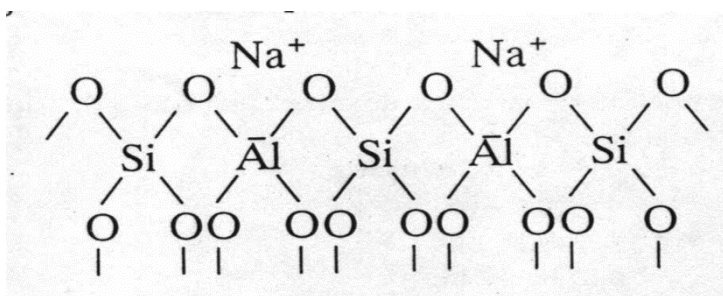
**Kulcsszavak:** természetes zeolitok, szintézis, ioncsere, adszorpció, katalízis, mezőgazdasági hasznosítás.

## BEVEZETÉS

A zeolitok mikropórusos anyagok, néhány tized nm-es pórusátmérővel, ami az egyszerű molekulák átmérőjének felel meg. Kis csúsztatással azt mondhatjuk, hogy a zeolittal foglalkozók már régóta nanotechnológiát csinálnak, amikor az még nem volt ilyen népszerű hívó szó, mint napjainkban. A csúsztatás abban áll, hogy a mai nanotudományok 1-100 nm tartományra vonatkoznak és nem az 1 nm alattira. Ezért is folyik komoly kutatómunka olyan mezopórusos anyagok szintézisére, amelyekbe a nagyobb szerves molekulák, pl. gyógyszerek is beférnek.

### Összetétel, szerkezet, történet

A zeolitok kristályos alkáli- és/vagy alkáliföldfém-alumínium-hidroszilikátok. Háromdimenziós vázuk alapjai szilícium központú  $\text{SiO}_4$  tetraéderek, melyeket izomorf módon  $\text{AlO}_4$  tetraéderek helyettesíthetnek a rácsban. A tetraéderek egymáshoz közös oxigénatomokon keresztül kapcsolódnak. A három vegyértékű Al-ot tartalmazó tetraédereknek egy negatív töltése van, és ezt semlegesítik a pozitív töltésű fémionok, amint az 1. ábra síkbeli rajzán látható.



1. ábra: A zeolitok síkbeli szerkezete

Figure 1: Flat structure of zeolites

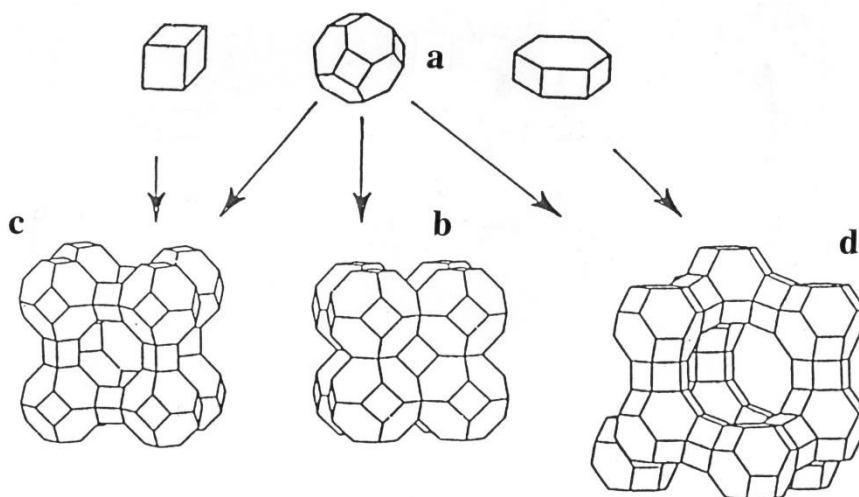
A zeolitok szerkezete a rácsot felépítő legkisebb ismétlődő egység, az elemi cella összetételével fejezhető ki:  $M_{x/n} [(AlO_2)_x(SiO_2)_y] wH_2O$ , ahol az  $M$  kation  $n$  vegyértékű,  $w$  a vízmolekulák száma,  $(y+x)$  a tetraéderek száma az elemi cellában. Az  $y/x$  azaz a Si/Al arány a zeolitok fontos jellemzője, 1-től gyakorlatilag végtelenig változhat. Például a zeolit szerkezetű szilakalitik gyakorlatilag nem tartalmaznak Al-ot. Az 1:1 arány elvi alsó határ, mivel a zeolitokban az  $AlO_4$  tetraéderek közvetlenül nem kapcsolódhatnak egymáshoz, csak  $SiO_4$  tetraéderen keresztül.

A térbeli kapcsolódás úgy jön létre, hogy a zeolitok kristályrácsa csatornákat és üregeket tartalmaz, és ezekben található a hidratált töltéskompenzáló kationok és a vízmolekulák. Több zeolit építőeleme a 2. ábrán látható köbokaéder, amelyet 6 négyzetlap és 8 hatszöglap határol. (Ebben az ábrázolásban a csúcsok jelentik a Si ill. Al ionokat, míg az élek közepén vannak az oxigének.) A köbokaéderek közvetlenül is összekapcsolódhatnak négyzetlapjaikon keresztül, ekkor kapjuk a hidroxiszodalitot (2b. ábra), amelynek nincs túl nagy gyakorlati jelentősége, mivel a szerkezet szűk pórusaiba (bejártuk négytagú gyűrűkből áll) a víznél nagyobb molekulák nem férnek be. Az A típusú zeolitokban (pl.: a P4) a kapcsolódás egy kocka közbeiktatásával történik, ugyancsak a négyzetlapokon keresztül (2c. ábra). Ezáltal a pórusméret is nagyobb (a nyolctagú gyűrűk átmérője 0,4 nm), az ioncsere helyzetben lévő kationok minőségétől függően. A faujazit típusok még nagyobb pórusméretűek, mivel bennük a kapcsolódás a hatszöglapok mentén történik (2d. ábra), ezáltal 12 tagú gyűrűkből álló pórusbejárat jön létre, amelyen keresztül a 0,8 nm kinetikus átmérőjű molekulák is beférnek a pórusokba. A közrezárt belső üreg átmérője pedig 1,3 nm.

A kationok mozgékonyak és más kationra cserélhetők. Ez az alapja a zeolitok **ioncserélő**ként való hasznosításának.

A kristályközi víz sok zeolitból melegítéssel folyamatosan és reverzibilisen eltávolítható, miáltal szabaddá válnak a molekuláris méretű üregek és pórusok lehetővé téve idegen molekulák befogadását. Ez az alapja a szelektív **adszorbens**ként való alkalmazásnak.

Az előző két tulajdonság kombinálásával pedig változatos összetételű és tulajdonságú, a petrokémiában, gyógyszeriparban, finomvegyszer gyártásban és környezetvédelemben alkalmazható **katalizátorok** állíthatók elő. *B.Nagy et al. (1998).*



2.ábra: Több zeolit közös építőeleme a köboktaéder (a) és összekapcsolódásuk hidroxyszodalittá (b), valamint A típusú (c), ill. faujasit típusú (X,Y) zeolittá (d).

Figure 2: Several zeolite common building blocks are cubic ceeder (a) and their coupling into hydroxysodalite (b) and type A (c) and faujasite type (X,Y) zeolite (d).

### Történet

A "zeolit-sztori" 1756-ban kezdődött amikor *Cronstedt* svéd geológus szépen formált kristályokat gyűjtött Svédország északi részének egy rézbányájában. Az új ásványcsaládot *zeolit*nak, magyarul „*forró kő*”-nek nevezte el a *forrni* és *kő* görög szavak alapján. Azt tapasztalta ugyanis a forrasztó cső próba során, hogy ezek a kövek a lángba téve megduzzadtak, megolvadás előtt pedig felhabzottak.

A zeolitok kezdetben mint a bazaltképződmények üregeiben, réseiben előforduló ásványi ritkaságok keltették fel a geológusok figyelmét. Az igen tetszetős kristályok becses darabjai lettek az ásvány gyűjtőknek és a múzeumoknak. Mindössze ennyiből állt szerepük közel 200 évig. A 20. század első harmadában a vegyészek kezdték tulajdonságaikat tanulmányozni. Észrevették ugyanis a dehidratált kristályok szelektív adszorpciós képességét, ekkor született a "molekulaszűrés" elnevezés is.

Az úttörő tudományos munka R. M. Barrer nevéhez fűződik, aki az 1940-es években, Angliában dehidratált ásványi kabazittal igazolta a korábbi feltevéseket, bizonyítva ioncserélő és molekulaszűrő tulajdonságukat. A bazaltüregekből azonban igen kevés

zeolit került elő, ipari felhasználásukra gondolni sem lehetett. Mesterséges előállításukkal azonban egyre több vegyész kísérletezett.

1949-ben az USA-ban, a Union Carbide Co.(azóta is a legnagyobb zeolitgyártó cég), Linde Osztálya valósította meg az első zeolit szintézist. Korábban valamelyik ismert tulajdonságú zeolit ásványt (pl. a kabazitot) próbálták előállítani, sikertelenül. Kaptak viszont egy új típusú zeolitot, amelyről kiderült, hogy adszorpciós és molekulaszűrő tulajdonságai jobbak, mint a kabazité. Linde A típusnévvel 1954-ben került forgalomba, s ma is az egyik legfontosabb szintetikus molekulaszűrő. (A különféle zeolitok az A, X, Y, stb. típusjeleket kapták, amit ma is használunk, annak ellenére, hogy az International Zeolite Association által kidolgozott egységes nevezéktanban minden zeolitot három betűvel jelölölnek. Az A zeolit LTA, az X,Y zeolit jele pedig FAU.)

Ma mesterséges zeolitot gyártani jövedelmező üzlet, de emellett természetes zeolitokból is évi több százezer tonnát bányásznak a világon. Nem helyettesítik, hanem inkább kiegészítik egymást. A természetes zeolitok olcsóbbak, de nem tisztán fordulnak elő, mindig található mellettük kísérő kőzetként több-kevesebb kvarc, földpát és különböző agyagásványok. Ezért pl. katalizátorként kevésbé jönnek szóba, de kiválóan megfelelnek adszorbensként különböző környezetvédelmi célokra. Széleskörű a mezőgazdasági hasznosításuk is pl. takarmányadalékként vagy talajjavítóként. Magyarországon a Zempléni-hegységben és Tokaj környékén vannak bányászható mennyiségű és minőségű, mordenitet és klinoptilolitot tartalmazó ásványok. Korábban az Országos Érc- és Ásványbányák Hegyaljai Üzeme Mádon, ma pedig a belőle kivált gazdasági társulás foglalkozik a természetes zeolit bányászatával és értékesítésével. *Hannus és Kiricsi (2003).*

A szintetikus zeolitok viszont katalizátorként tettek szert nagy jelentőségre a petrokémiai iparban, szokatlanul nagy katalitikus aktivitásuk és szelektivitásuk révén. Egyes vélemények szerint a vegyipar fejlődésére gyakorolt hatásuk vetekszik a Haber-Bosch ammóniaszintézis hatásával.

Hazánk vegyipari fejlettségének és kapacitásának megfelelően nálunk nincs katalizátorgyártó ipar. Saját technológiához a MOL RT százhalombattai telepén gyártanak zeolit katalizátort. Adszorpciós célokra korábban a Reanal Finomvegyszergyár Molfilit néven, a Budapesti Vegyiművek pedig Klinosorb márkanéven forgalmazott zeolitokat. Napjainkban világszerte, így Magyarországon is az egyre szigorodó környezetvédelmi előírásoknak megfelelően a foszfátmentes mosóporok



adalékanyagaként felhasznált zeolitok jelentik a legnagyobb mennyiséget. 1995-ben kezdte meg a termelést Ajkán egy 20 ezer t/év kapacitású, NaA zeolitot (Zeolon P4) gyártó üzem, amely a szintézisben az Al nyersanyagaként a timföldgyár hulladék alumínát lúgját használja, míg a Si nyersanyag vízüveg. (A 2013-ban bekövetkezett sajnálatos vörösiszap katasztrófa után a bauxit feldolgozás, így a zeolitgyártás is megszűnt Ajkán.)

Hazánkban több egyetemi és akadémiai kutatóhelyen foglalkoznak a zeolitok eredetének, tulajdonságainak vizsgálatával és hasznosításuk lehetőségeivel. Ezek a szakemberek iparban dolgozó kollégáikkal együtt 1991-ben hozták létre és azóta működtetik szakmai szervezetüket, a Magyar Zeolit Társaságot. A társaság a FEZA (Federation of European Zeolite Association) tagjaként Kiricsi Imre (1948-2010) vezetésével szervezte 1999-ben Egerben az első, hagyományteremtő FEZA konferenciát. 2017-ben volt a 7. Bulgáriában, Szófiában.

### ***Zeolitok (pl. Zeolon P4) szintézise***

Zeolitokat általában hidrotermális körülmények között kristályosítunk. Olyan heterogén rendszerből, amely szilárd és folyadék fázisban lévő anyagokat tartalmaz. Ez a reakcióelegy az alábbiakat tartalmazza: a szerkezet felépítéséhez szükséges ionokat (T ionokat, mint alumínium, szilícium, titán, foszfor, stb), oldást segítő komponenseket (ilyenek a OH-ionok vagy a fluorid-ionok), ásványi kationokat vagy szerves adalékokat (ezek lehetnek ionosak vagy semleges molekulák, úgynevezett templátok), és oldószert (általában vizet).

A legtöbb zeolit szintézisét bázikus közegben 200 C°-nál alacsonyabb hőmérsékleten hajtjuk végre. Az alumínium foszfát család tagjai és az azokhoz hasonló összetételű anyagok (SAPO, MeAPO, stb) szintézisének a pH 3 és 10 között van. Az anionok mint a hidroxid és fluorid segítenek a szilárd szilikátok feloldásában és a reaktív gélben tartásában valamint ezeknek a növekvő kristályokhoz való eljuttatásában. A fluoridionnak még szerkezetalakító szerepet is tulajdonítanak, amely bizonyos szerkezetépítő elemek stabilizálásában áll.

A nem vizes közegben végzett zeolit szintézis módszerek etilén-glikol oldószerekben futtathatók le. Ismertek úgynevezett szilárd fázisú szintézisek, ezekben azonban kis mennyiségű víz mindig jelen volt, vagy a kristályosodás közben képződött.

### ***Zeolitok képződése, kristálynövekedés***

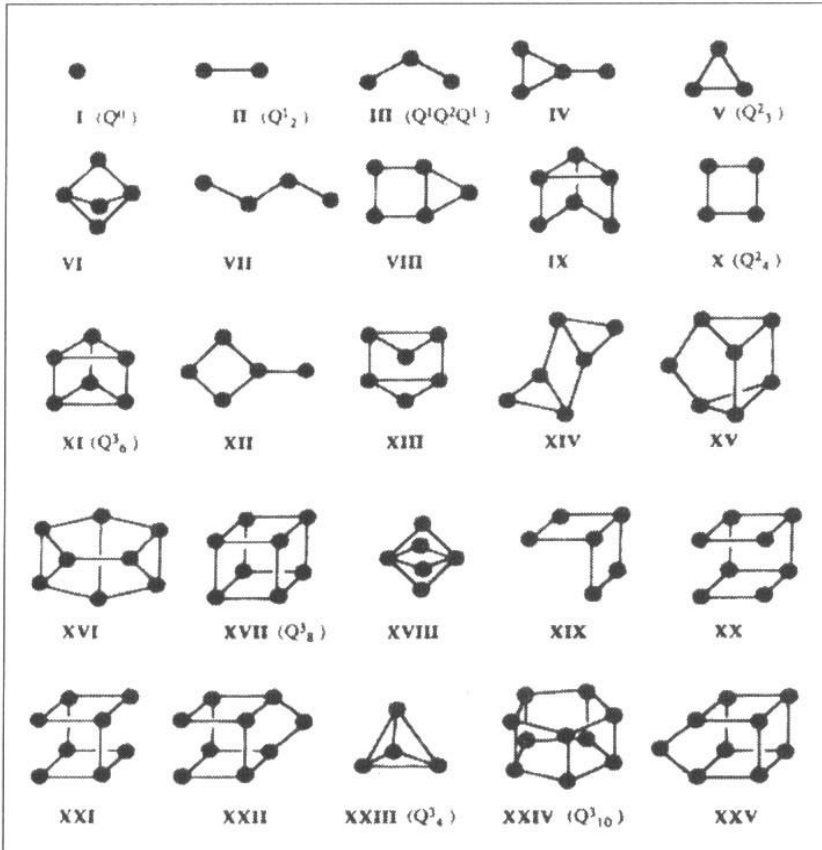
Nagyon sok dolgozat foglalkozik a zeolitok kristályosodásának mechanizmusával. Két alapvető elképzelést javasoltak ennek leírására. Az egyiket Flanigen alkotta meg. Szerinte a kristályosodás a kristályosítandó gél szerkezetének átrendeződését jelenti, amely folyamatban a folyadékfázisnak nincs irányító szerepe. Ezt a modellt lényegében felváltotta a Barrer által leírt mechanizmus. Szerinte a zeolit kristályosodása a folyadékfázisban játszódik le. Az elképzelés szerint a kristályok növekedése az oldatból a kristálykákhoz kapcsolódó építőkövek révén valósul meg. Az összekapcsolódás kondenzációs reakció a folyadékfázisból érkező elemek és a kristály épülő része között. Ebben az elképzelésben a gél szerepe az anyagátárolás.

### ***Szilikát részecskék a kristályosodás során (építőelemek)***

A műszeres analitika fejlődése, különösen az NMR spektroszkópia nyújtotta lehetőségek kiaknázásával megvalósíthatóvá vált szilikát oldatok tanulmányozása a zeolit szintézisnél használatos erősen lúgos körülmények között, relatíve tömény oldatokban. Az ilyen vizsgálatok szerint mintegy hatvan különböző szerkezetű szilikát oligomert mutattak ki. Ezekből látható egy sereg a 3. ábrán.

A kristálynövekedésre vonatkozó Barrer-féle elképzelés ezen eredmények alapján nagyon valószínűnek látszik, ugyanis ezek az oligomer részecskék kondenzációval hozzá tudnak kapcsolódni a növekedő kristályokhoz. Példák mutathatók be arra, hogy adott építőelem különböző összekapcsolódása eltérő szerkezetű zeolit kristályosodásához vezethet. Ilyen példát mutat az 4. ábra.

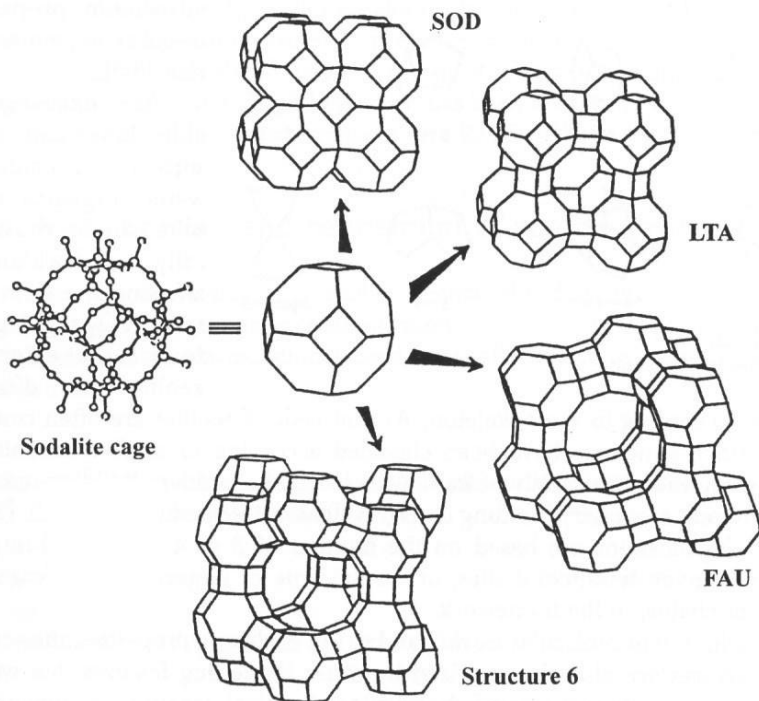
Ebben az esetben a csonkított oktaéderek összekapcsolódásának három módja, amelyet a szintézis gél összetétele és a szintézis egyéb körülményei határoznak meg, három különböző szerkezethez vezetnek. A négyzetlapon keresztül történő közvetlen kapcsolódás szodalithoz (SOD), kettős négyes gyűrűkön keresztül A típusú (LTA) zeolithoz, kettős hatos gyűrűn át pedig faujazit (FAU) típusú zeolithoz vezet.



A kitöltött korok Si atomokat, a vonalak oxigénhidas kötést jelentenek. (The filled ages represent Si atoms, the lines mean oxygen bridge bonding.)

3.ábra: Lúgos szilikát oldatban azonosított Si tartalmú oligomerek

Figure 3: Si-containing oligomers identified in alkaline silicate solution



4. ábra: Szodalit egységből felépülő zeolit struktúrák

Figure 4: Zeolite structures built from sodalite units

### ***Zeolitok jellemzése***

Anyagainkat a szintézist követően a zeolit szerkezet kialakulásának igazolása céljából, illetve a különböző módosító eljárások végrehajtása után különböző fizikai és kémiai módszerekkel jellemezhetjük.

### ***Röntgendiffraktometria***

A szerkezet azonosítására alkalmazott módszer a röntgendiffraktometria. Az analízis az anyagainkra jellemző rendezettség igazolásán túl lehetővé teszi a d bázislap-távolságok meghatározását, s a csatornarendszer méretében bekövetkező változások követését is.

A diffraktogramok felvétele során alkalmazott hullámhossz  $\lambda = 0,15418$  nm (Cu  $K_{\alpha}$ ) a diffraktogramokat a Bragg egyenlet alapján értékeljük. A számításoknál a csúcsok súlyvonalának helyzetét vesszük figyelembe.

### ***Termogravimetriás analízis***

Anyagaink termikus vizsgálatához magyar gyártmányú MOM DerivatographQ típusú, számítógépes adatfeldolgozó rendszerrel kiegészített készüléket használhatunk. A levegőn szárított, 100 mg tömegű mintákat kerámia tégelyben helyezük a műszer egyik karjára. A derivatogramokat 25-1000°C hőmérséklettartományban, 10 °C/perc fűtési sebesség mellett vesszük fel.

### ***Infravörös spektroszkópia***

A templátmentesség, illetve a szerkezetben található hibahelyek kimutatására alkalmas infravörös mérésekhez 0,1 mg mintát homogenizálunk 200 mg vízmentes KBr mátrixban, majd a keverékből kis mechanikai nyomás (~0,5 N/cm<sup>2</sup>) alkalmazásával pasztillákat készítünk. A spektrumokat 4000-400 cm<sup>-1</sup> tartományban a rendelkezésre álló készülék segítségével tudjuk felvenni, háttérként 200 mg tiszta KBr-ből készített pasztillát használunk.

### ***NMR spektroszkópia***

A <sup>29</sup>Si MAS NMR spektrumok hasznosak a zeolitok vizsgálatokor pl. a Si/Al arány meghatározására. A <sup>29</sup>Si kémiai eltolódásának számításához referenciaként folyékony Me<sub>4</sub>Si-t használunk. A felvételek készítésekor 4,0 μs-os (Θ = π/6) impulzust és 6,0 s-os ismétlési időt alkalmazhatunk.

### ***Differenciál diffúz reflexiós UV-látható spektroszkópia***

Az UV-látható spektrumokat pormintáinkról reflexiós módszerrel készíthetünk megfelelő UV/VIS spektrofotométer segítségével a 190-800 nm tartományban. Anyagainkat alapos, dörzsoszárban történő porítást követően helyezük a mintatartóba. Referenciaként hasonlóképpen előkészített MgO-ot használunk.

### ***Fajlagos felület és pórusméret-eloszlás meghatározása***

A zeolitok fajlagos felületét és jellemző pórusméretét volumetrikus adszorpciós berendezés segítségével határozhatjuk meg. A holttér meghatározásához héliumot használunk. A nitrogen adszorpciós-deszorpciós méréseket a cseppfolyós nitrogén hőmérsékletén (77 K ) végezzük.

Az izoterma pontjainak meghatározása a Kelvin egyenlet segítségével, a fajlagos felület kiszámítása (az adszorpciós izoterma 0,1-0,3 relatív nyomás tartományát figyelembe véve) a BET módszer szerint történik. A pórusméret-eloszlás meghatározását a deszorpciós ág alapján a mezopórusos rendszerek jellemzésére alkalmas Baret-Joyner-Halenda összefüggés segítségével végezzük. A mikropórusos anyagok vizsgálatára kidolgozott Horváth-Kawazoe módszer alkalmazásakor az adszorpciós ág értékpárjait használtuk fel.

### ***Zeolitok, mint ioncserélők***

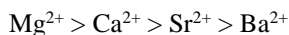
#### *Ioncsere*

Ha az ioncserélő anyag olyan elektrolittal érintkezik, amely az ioncserélő saját ionjaitól eltérő ionokat is tartalmaz, akkor az illető ionok közötti versengés eredményeképpen a rendszerben ioncsere reakció játszódik le.

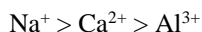
Az, hogy az egyensúly milyen irányban és mértékben tolódik el, az azonos értékű ionok esetén elsősorban az illető ionok minőségétől függ. Az ionok megkötődésének erőssége a liotróp sort követi:



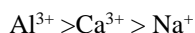
illetve:



Ha az egymással versengő ionok különböző értékűek, akkor döntő szerepe van az oldat koncentrációjának. Tömény oldatokban az egyértékű ionok kötődési hajlama a legnagyobb:



Híg oldatokban a helyzet fordított:



A vízlágyításnál pl. az előbbi két szabályszerűség igen nagy jelentőséggel bír. A természetes vizek ugyanis meglehetősen híg elektrolitok, ezért a  $Ca^{2+}$  és  $Mg^{2+}$  ionok megkötődése a rendszerint Na-formájú ioncserélőn kedvezményezett. A regenerálást viszont tömény NaCl oldattal lehet elvégezni.

Az ioncsere szemléletesen az ioncsere izotermákkal jellemezhető.

*Zeolitok a vízkezelésben*

A zeolitok, ezen belül a természetes zeolitok környezetvédelmi jelentőségét a vízkezelésben, szennyvízkezelésben betöltött szerepük adja. *Dyer, A. (1988)*. A természetes zeolitok vízkezelésben való hasznosításával kapcsolatban a következő területeket lehet kiemelni *Coella, C. (1999)*:

$\text{NH}_4^+$  eltávolítása különböző eredetű ivóvizekből és szennyvizekből,  
radioaktív ionok (pl.:  $\text{Cs}^+$ ) ioncserés eltávolítása nukleáris szennyvizekből,  
nehézfém ionok eltávolítása és visszanyerése ipari szennyvizekből.

Ezen ionok eltávolíthatóságát a különböző irodalmi adatokból kirajzolódó kép támasztja alá, amint az *1. táblázat* adatai mutatják.

1. *táblázat*: Természetes zeolitok ioncsere szelektivitása

*Table 1*: Selectivity of natural zeolites ion exchange

Kabazit	$\text{Cs} > \text{NH}_4 > \text{Pb} > \text{Na} > \text{Cd} > \text{Sr} > \text{Cu} > \text{Zn}$
Klinoptilolit	$\text{Cs} > \text{Pb} > \text{NH}_4 > \text{Na} > \text{Sr} > \text{Cd} > \text{Cu} > \text{Zn}$
Mordenit	$\text{Pb} > \text{Cs} > \text{NH}_4 > \text{Na} > \text{Cd}$
Filipsit	$\text{Cs} > \text{Pb} > \text{NH}_4 > \text{Na} > \text{Sr} > \text{Cd} > \text{Zn}$

Az adatok természetesen átlagok, nem abszolút érvényűek, ugyanis a szelektivitást számos tényező befolyásolja. Egyaránt függ a zeolit összetételétől, ami természetes zeolitok esetében a lelőhelynek is függvénye, és a vizes oldatban lévő kation összetételétől. A klinoptilolit és a mordenit Magyarországon is nagy mennyiségben megtalálható.

A fenti, környezetszennyező ionok kationcseréje általában állógyas berendezésben történik, ebbe töltik a legtöbbször Na formára hozott természetes zeolitot. A regeneráláshoz tömény NaCl oldatot használnak.

Az ammónium ion eltávolításnak van a legnagyobb hagyománya. Több tízezer  $\text{m}^3$  / nap kapacitású berendezések működnek az USA-ban, kisebb volumenben Japánban, Európában, többek között hazánkban is. Az eltávolított ammóniát ammónium-szulfát műtrágyaként hasznosítják.

Az *1. táblázatból* kitűnik a  $\text{Cs}^+$  kiemelkedő ioncsere szelektivitása, amit nukleáris szennyvizek ártalmatlanításában lehet kihasználni. Nagyon jól tudták hasznosítani a Kárpátokban bányászott klinoptilolitos kőzetet 1986-ban, Csernobilban a reaktorbaleset következményeinek felszámolásában, a szennyezett vizek, víztartalmú

élelmiszerek közvetlen és ezzel a növények, állatok, emberek közvetett, részleges mentesítésében. Az így koncentrált radioaktív hulladékot betonba ágyazva tárolják. Ha zeolitokkal végzik az ioncserét, akkor később a betonból való kioldódás veszélye sokkal kisebb egy szintén alumínium-szilikát (zeolit) esetén, mint szerves ioncserélő műgyantát használva . *Dyer, A. 1988.*

A nehézfém ionok közül az ólom eltávolítási vizsgálatok eredményéről számoltak be olasz kutatók (*2. táblázat*). Ez a probléma kerámia ipari szennyvizek kezelésénél jelentkezik. A táblázat adatai jól mutatják, hogy a két vizsgált zeolit közül a filipsit kitűnő szelektivitású és hatékonyságú az ólom ionok eltávolításában, míg a kabazit elfogadható.

Az első oszlop adatai szerint a Na<sup>+</sup> cseréjével meghatározott ioncsere kapacitása a két zeolitnak hasonló. Az ólom ionokra mért egyensúlyi kapacitás a filipsit esetében ugyanilyen, míg kabazitnál már jelentősen kisebb. A dinamikus körülmények között, egy működő ioncserélő oszlopon mért érték természetesen mindkét esetben kisebb, de míg az ebből számolt hatásfok a filipsitre 83 % addig a kabazitra csak 26 %. Ezek az adatok azt mutatják, hogy a különböző zeolitok ioncsere hatékonyságára különböző nehézfém ionok eltávolításában a dinamikus kísérletek adnak pontos választ.

*2.táblázat: Ólom ionok eltávolítása kerámia ipari szennyvizekből*

*Table 2: Removal of lead ions from ceramic industrial wastewater*

Zeolit	ioncsere kapacitás (meq/g) <sup>a</sup>	Pb <sup>2+</sup> koncentráció (mg/l)	Pb <sup>2+</sup> egyensúlyi (meq/g) <sup>b</sup>	Pb <sup>2+</sup> dinamikus (meq/g) <sup>c</sup>	dinamikus szelektivitás*	hatásfok**
Kabazit	1,62	28	0,93	0,42	0,57	0,26
Filipsit	2.05	21	2,06	1,33	1,00	0,83

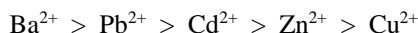
\*dinamikus szelektivitás b/a

\*\*hatásfok c/a

Amint a *1. táblázat* adatai mutatják a klinoptilolit is szelektív ioncserélő anyag nehézfémionok eltávolítására. Részletesen vizsgálták használhatóságát Ba<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> ioncseréjében. Semmens és Seyfarth előzőleg savval kezelt, majd nátrium-formára alakított klinoptiloliton végezte vizsgálatait. *Semmens, M.J. és Seyfath, S. (1978).* A savazást 10 %-os salétromsavval végezték egy órán keresztül, a nátrium-formára hozást pedig 1 M nátrium-klorid oldattal 2 napig. A savval kezelt klinoptilolit ioncserélő



szelektivitása kisebb volt, mint a savval nem kezeltté. Mindkét fajta zeolitnál azonos szelektivitási sorrendet tapasztaltak:



Megállapították, hogy a szelektivitás a fémionok hidratációs szabadentalpiájának csökkenésével növekszik.

$\text{Cu}^{2+}$  ionok eltávolítását galvanizáló üzemek szennyvizéből kínai eredetű klinoptilolittal tanulmányozták behatóan. *Guangsheng, Z.* (1988). A 20-30 ppm  $\text{Cu}^{2+}$  ion tartalmú galvanizáló szennyvíz pH-ját 4-5 közöttire állították majd a Na-formára hozott klinoptilolittal tartalmazó ioncserélő oszlopra vezették. Két oszlopos rendszert használtak, míg az egyik ioncserélt a másikat regenerálták telített NaCl oldattal. Ezen kísérleti körülmények között a klinoptilolit ioncsere kapacitása 1,01 – 1,23 meq/g-nak bizonyult. A tisztított vizet újrafelhasználásra visszavezették a galvanizáló üzembe.

### ***Magyar természetes zeolitok használata vízkezelésben***

Több kutatócsoport is részletesen vizsgálta a Tokaj környékén bányászható mordenitet ill. klinoptilolittal tartalmazó kőzetek tulajdonságait, ioncsere kapacitását.

Papp János és munkatársai megállapították, hogy mobilizálható kationként K, Na, Ca és Mg ionokat tartalmaznak. Meghatározták a homo vagy kvázihomoionos származékok előállításának körülményeit. Megállapították, hogy klinoptilolit esetében, azonos körülmények között végezve a kezelést, K-, Na-, Ca- és Mg-származékok 100, 85, 74 ill. 55 %-os formában áll elő, a mordenit esetében a K-, Na- és Ca-forma 100, 96 ill. 84 %-os a megfelelő kationra vonatkoztatva. *Czárán L-né et al.* (1987).

Inczédy és munkatársai a Mádról származó, klinoptilolittal tartalmazó kőzet ioncsere kapacitását határozták meg több kétértékű kationra, többek között nehézfém ionokra ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ) is, és részleges ionszűrő hatást tapasztaltak. *Szász, Á. és Inczédy J.* (1987).

Hlavay munkatársaival a magyar természetes zeolitok alkalmazását ivóvizek és szennyvizek tisztításában egyaránt részletesen tanulmányozta. *Hlavay, J. et al.* (1982). Kísérleteket végeztek 50 % klinoptilolittal tartalmazó zeolittal vizek ammónia tartalmának szelektív eltávolítására. Az ammóniát tartalmazó vizek rendkívül károsak a környezetre. A halak (pl. pisztrángok) esetében 0,3–0,4 mg/dm<sup>3</sup> ammónia koncentráció pusztulásukat

okozza, másrészt a nagy ammónia tartalmú víz tápanyagban gazdag környezetet biztosít az algák káros elszaporodásának, az eutrofizációnak. Meghatározták a megfelelő ionformát (Na-forma), az optimális szemcseméretet (0,5-1,0 mm) és az optimális áramlási sebességet. Jelentős mennyiségű huminsavat is tartalmazó ivóvízből szabadtéri kísérletekben három sorbakapcsolt ioncserélő oszloppal el tudták távolítani az ammóniát.

Emellett tanulmányozták a klinoptilolit ioncsere szelektivitását nehézfémionokra is. *Polyák K. és Hlavay J. (1987)*. Statikus és dinamikus kísérletekben vizsgálták a klinoptilolit tartalmú kőzet alkalmazhatóságát Cu, Zn és Cd ionok eltávolítására. A statikus kísérletek során először a rázás közben fellépő zeolit kőzet aprítódási veszteségét és a teljes ioncsere kapacitást határozták meg. A tömegveszteséget kb. 5 %-nak, az ioncsere kapacitást 0,969 mekv/g-nak találták. Az egyensúlyi kísérletek alapján mindhárom fémionra elkészítették az egyensúlyi izotermákat és megállapították, hogy részleges ioncsere játszódott le. A kimerült ioncserélőt  $\text{NaNO}_3$  és  $\text{NaCl}$  oldatokkal, amelyek pH-ját 2 körüli állították, regenerálták. A regeneráló oldatból a fémionok mésztejjel kicsaphatók. A dinamikus oszlop kísérletekben a bemenő oldat pH-ját és ionkoncentrációját változtatva meghatározták az optimális kimerítési és regenerálási körülményeket.

### **Vízlágyítás**

Ismeretes, a vizek keménységét okozó  $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{Mg}^{2+}$  ionok káros hatása. Ez abban jelentkezik, hogy az ilyen vizet forralva oldhatatlan karbonátok válnak ki és az edény falán vízkő formájában lerakódnak. Ez káros azért, mert a vízkő rosszul vezeti a hőt, tehát az ilyen edényben a víz felmelegítéséhez több energia kell, ami manapság egyáltalán nem közömbös. De ennél nagyobb baj is keletkezhet. A karbonátok hőtágulása más, mint az edény (pl. gőzkazán) falát alkotó fémé, ezért a vízköréteg időnként megreped és a víz a túlhevült fallal érintkezve hirtelen gőzzé alakul. Ha ez nagyobb területen következik be egyszerre, akkor még kazánrobbanáshoz is vezethet.

A mosószeres használata a másik terület, ahol a vizek keménysége káros. A mosószeresek aktív komponensei hosszú alkállancú savak alkáli sói, így vízben oldódnak. A hagyományos szappan, melyet dédanyáink még állati zsíradékok lúgos főzésével készítettek, 16 vagy 18 szénatomos karbonsavak nátrium sói. A szintetikus mosószereseket általában szénhidrogének szulfonálásával állítják elő, majd ennek képezik a nátrium sóját.

A vízben lévő  $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{Mg}^{2+}$  ionok a mosószer aktív komponensével oldhatatlan sók képeznek, így azok nem tudják kifejteni tisztító (emulgeáló) hatásukat. Ez a folyamat addig tart, amíg az összes  $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{Mg}^{2+}$  ion el nem fogy, tehát a kemény víz többlet mosószerfogyasztást eredményez. (A mosóporos dobozon lévő használati utasítás szerint is figyelembe kell vennünk a víz keménységét az adagolásnál.)

Hogyan távolíthatók el a vízből a keménységet okozó  $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{Mg}^{2+}$  ionok, azaz hogyan történik a vízlágyítás?

Az ipari vizek lágyításának legolcsóbb módja a kicsapásos eljárás. Meszet,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  és szódát,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  adva a lágyítandó vízhez a keménységet okozó ionok rosszul oldódó karbonátok alakjában kicsapódnak és szűréssel eltávolíthatók. A módszer előnye, hogy nagy mennyiségű vizet lehet olcsón lágyítani, hátránya, hogy a karbonátok oldhatóságának megfelelő  $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{Mg}^{2+}$  ion marad a vízben.

Tökéletes lágyítás, akár ionmentes víz is ioncserével érhető el. Az első vízlágyításra használt ioncserélők a permutitok voltak. Ezek amorf Na-Al-szilikátok, amelyek  $\text{Na}^+$  tartalmukat cserélik ki  $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{Mg}^{2+}$  ionokra. Ezeket a hatékonyabb műgyanták váltották fel, amelyek szerves polimerek, szénláncukon kation ill. anioncserélő aktív csoportokkal. Lágyításhoz általában elég a nátrium forma alkalmazása, de ivóvíznél szükséges lehet az anionok eltávolítása is pl. nagy nitrátszennyezettségű vizeknél. Teljesen ionmentes víz pedig úgy állítható elő, ha hidrogén formájú és hidroxid formájú gyantán egyaránt átengedjük a vizet, amikor is a kationok helyett  $\text{H}^+$  ion, az anionok helyett  $\text{OH}^-$  ion kerül a vízbe, és a kettő közömbösítve egymást ugyancsak víz eredményez.

Az ioncserélő műgyanták használata vízlágyítás céljára hatásos, de drága módszer, ezért általában úgy járnak el, hogy a meszes-szódás eljárással előlágyított vizet vizzik ioncserélő oszlopokra.

A harmadik, széles körben használatos vízlágyítási módszer nem távolítja el a vízből a keménységet okozó ionokat, hanem komplexbe viszi és így a vízben maradnak ugyan, de nem tudnak káros hatásukat kifejteni. A II. világháború után terjedt el a nátrium-tripolifoszfát ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ), mint komplexképző használata. Ilyen foszfát adalék volt a Szolnokon gyártott TOMI mosóporokban is.

A 80-as évekre egyértelművé vált, hogy a természetes állóvizek, így a Balaton algásodásáért (eutrofizáció) is, elsősorban a foszfor-szennyezés a felelős, ami műtrágyákból és nem utolsósorban a mosószerekből kerül a vízbe. Az az ellentmondásos

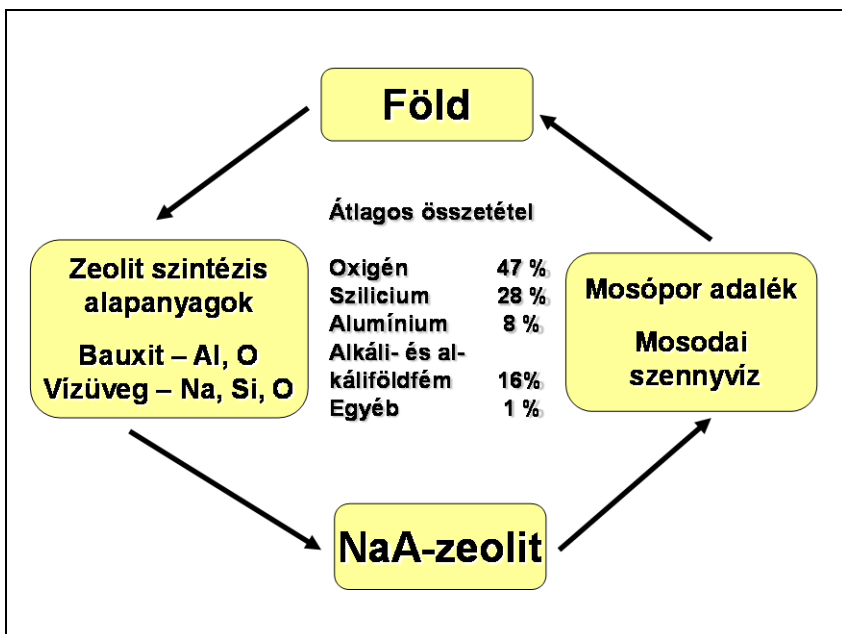
helyzet alakult ki, hogy az egyébként hatékony tisztítószeres komoly környezetszennyezők.

Mivel lehet helyettesíteni a foszfátokat? Nem komplexképző, hanem ioncserélő adalékanyagokat kell tenni a mosóporokba a keménységet okozó ionok eltávolítására. Az Egyesült Államokban és Nyugat-Európában ma már több százezer tonna zeolitot használnak mosópor adalékként. Néhány éve, a nyugati mosóporok hazai áradatának egyik oka az volt, hogy a szigorúbb előírások szerint Nyugat-Európában már nem forgalmazhattak csak foszfátmentes árut, a magyar piac pedig még nyitva állt a környezetszennyező, de egyébként kiváló minőségű termékek előtt. A nagy cégek ezt agresszív reklámhadjáratokkal is használták. Ma már a Henkel által megvásárolt szolnoki gyár is zeolitos mosóport gyárt.

#### ***A Zeolon P4 használata***

Fenti célra, a már említett "A" típusú zeolit Na-formájának (Zeolon P4) használata terjedt el, mivel tömegegységre vonatkoztatva ennek a legnagyobb az ioncsere kapacitása. A zeolit, a mosópor részeként a vízbe szórva gyorsan kicseréli a keménységet okozó ionokat Na<sup>+</sup> ionokra, és így biztosítja a mosószer hatékonyságát Szakal, T. (2021).

Széleskörű, alapos vizsgálatok bizonyítják, hogy sem használatkor, sem utána a környezetre nem fejt ki káros hatást. A természetes vizekbe jutva, mint alumínium-szilikát fokozatosan a talaj részévé válik, mivel alkotórészei a földkéregben legnagyobb mennyiségben előforduló elemek. Ezt mutatja az 5. ábra.

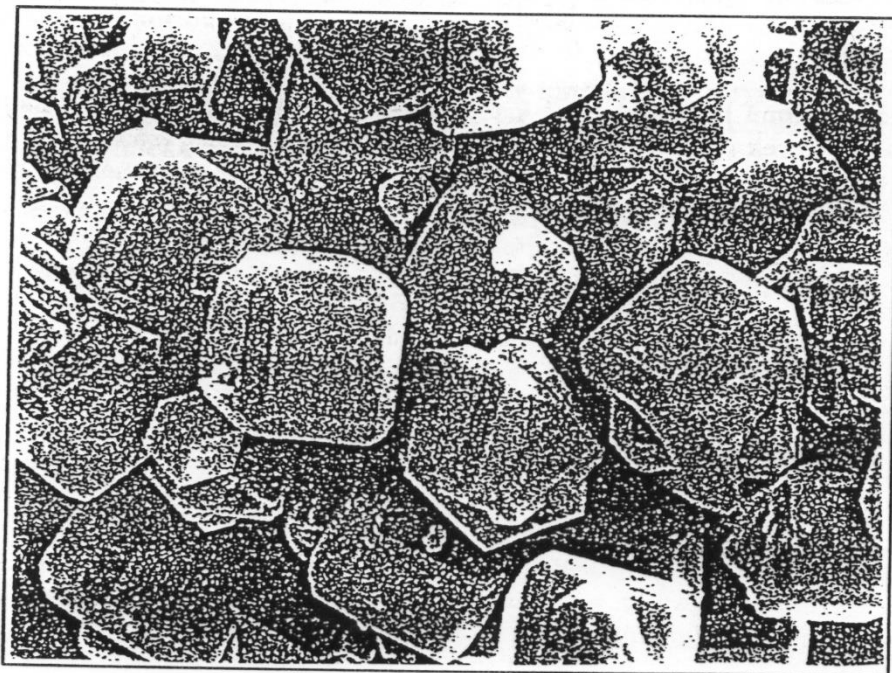


5. ábra: A zeolitok környezetbarát visszakerülése a természetbe

Figure 5: Environmentally friendly return of zeolites to nature

Az eddig ismertetett előnyös tulajdonságai ellenére a NaA zeolit nem tudja tökéletesen helyettesíteni a foszfátadalekokat. A  $\text{Ca}^{2+}$  ion megkötő képessége kiváló, de a  $\text{Mg}^{2+}$  ionokat kinetikai okok miatt egy mosás ideje alatt nem tudja tökéletesen eltávolítani. Ennek döntően az az oka, hogy a  $\text{Mg}^{2+}$  ion kisebb ugyan, mint a  $\text{Ca}^{2+}$  ion, de hidrát burka nagyobb és erősebben kötött, ezért diffúziója az A zeolit pórusaiban lassúbb. Ezen a problémán más típusú, pl. NaX zeolit hozzáadásával lehet segíteni.

A mosás utáni öblítés során jelentkezik egy másik gond. Az ugyanis, hogy az A zeolit köbös, kocka alakú szép, szabályos kristályai a határozott élek és csúcsok miatt könnyen megtapadnak a textíliák szálain, nehezen távolíthatók el és mechanikailag is roncsolják az elemi szálakat. Ezt azonban sikerült a szintézis során bevezetett módosításokkal úgy megoldani, hogy levágott élű és csúcsú kristályok keletkezzenek, amelyek már nehézség nélkül kiöblíthetők a ruhából. (6. ábra).



6. ábra: A mosóporadalekként használt zeolit textíliát kímélő, levágott élű és csúcsú kristályai

Figure 6: Crystals with cut edges and tips that save zeolite textiles used as washing powder additives

### **Mezőgazdasági hasznosítás**

A természetes zeolitok keletkezésük során sokféle fémiont kötöttek meg ioncsere pozícióban, azaz nagy a nyomelem tartalmuk. Ezen tulajdonságuk az alapja annak, hogy a nagy bányászható készletekkel rendelkező országokban (USA, Japán, Kuba, stb.) talajjavítóként ill. állati takarmányok adalékanyagaként is széles körben használják. *Dyer, A. (1988)*. Magyarországon is folytak néhány éve biztató kísérletek ezen a téren. Hannus és munkatársai  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  műtrágya beépülését vizsgálták természetes és szintetikus mordenitbe különböző termoanalitikai és spektroszkópiai módszerekkel. Megállapították, hogy a beépült műtrágya kioldódása lassú, így a természetes mordenit alkalmazható, mint töltőanyag, kötőanyag és megnyújtott hatású műtrágya adalék. *Hannus I. et al. (1987)*. Kocsis és munkatársai zeolit-lignit örleményt tartalmazó trágyák alkalmazását vizsgálták a talajerőgazdálkodásban. Arra a következtetésre jutottak, hogy az örlemény adalékanyagként stabilizálja a nagy tápanyagtartalmú szerves szuszpenziós

műtrágyákat Szakal, T. (2018), a talajba kerülve javítja annak szerkezetét, a tápanyag érvényesülését. Kocsis I. et al. (1987). Gaál és munkatársai állattartó telepek hígrágyáját kezelték természetes zeolitokkal. Megállapították, hogy a kapott termék nem fertőző, nagy stabilitású, tixotróp tulajdonságú, mikroelemeket tartalmazó, nagy aktív felülettel rendelkező, hosszan ható műtrágya. Gaál L. et al. (1987). A mezőgazdaság átalakulásával ezek a kísérletek abbamaradtak, és ma főleg a kisállattenyésztők találkozhatnak természetes alapú zeolit alapú termékekkel.

Szakál Pál és munkatársai vizsgálták különböző réz vegyületek, mint életfontosságú metalloenzim alapanyagok bejuttatását növényi szervezetekbe. Az anyagtakarékos és hatékony pótlási célból a levélzetre juttatnak ki réz-komplexet réz-tetramin-szulfát formájában, melynek alkalmazásával az őszi búza hozamát és minőségét sikerült javítani Szakal (2021). A retardáció biztosítása céljából a kedvező hatása a réz-tetramin kationt a szintetizált zeolitba (Ajkan gyártott Zeolon P4, Na A típusú zeolit) vitték be ioncserével Szakal et al. (2021). Az ilyen típusú komplex alkalmazásával az őszi búza minőségi paramétereinek javulását kapták Giczi et al. (2020). A kiváló fungicid hatása eredményeként a Fusarium toxinjainak mennyiségét közel 50 %-kal sikerült csökkenteni Giczi et al. (2021).

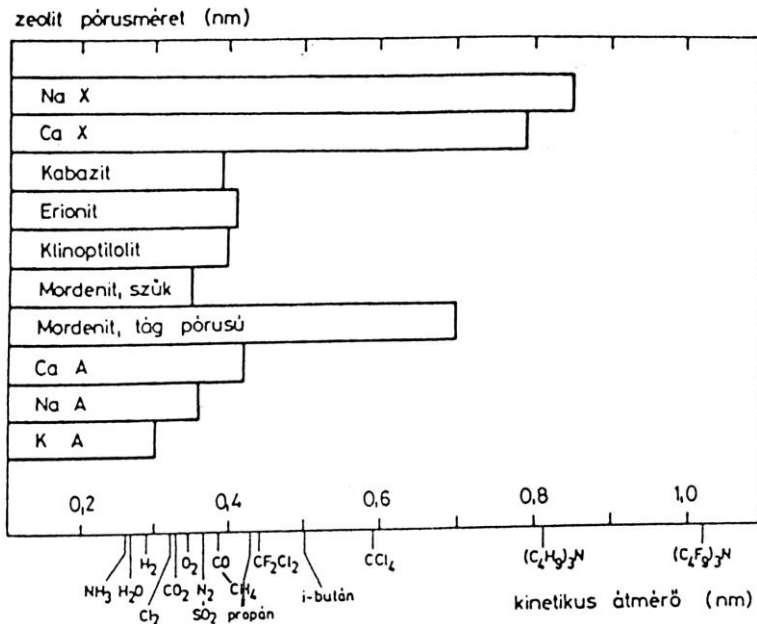
### ***Zeolitok, mint adszorbensek***

#### *Szárítás, adszorpciós tisztítás és elválasztás*

A zeolitok egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy a vázukat alkotó  $\text{AlO}_4$  és  $\text{SiO}_4$  tetraéderek térbeli kapcsolódása úgy jön létre, hogy a zeolitok kristályrácsa csatornákat és üregeket tartalmaz, amiket a természetbeni keletkezés és a mesterséges előállítás során egyaránt vízmolekulák töltenek ki. Ha a zeolitokat 300-400 °C-ra melegítve a vizet eltávolítjuk (aktiválás), több száz  $\text{m}^2/\text{g}$  felületű szelektív adszorbenshez jutunk. Az egyedülálló szelektivitás annak köszönhető, hogy egy típusú zeolitra csak egyfajta pórusméret jellemző, ellentétben más, klasszikus adszorbensekkel (pl. szilikagél, aktívszén), amelyek széles pórusméret eloszlással rendelkeznek.

Ebből adódik a zeolitok szelektív adszorpciós képessége, az ún. "molekulaszűrés", ugyanis az a molekula, amelyik befér az adott zeolit pórusába ott adszorbeálódik, amelyik nem, az pedig áthalad az adszorbens szemcsék között az oszlopon.

A 7. ábra különböző zeolitok effektív pórusméretét mutatja néhány egyszerű molekula kinetikus átmérőjéhez viszonyítva. Az ábrából jól látszik, hogy a méretek alapján egy adott elválasztási feladathoz kiválasztható a megfelelő zeolit. Például a kálium-A zeolit, (3A molekulaszűrő) segítségével szinte minden gáz vízteleníthető, szárítható, mert molekuláik nem férnek be a zeolit pórusaiba, így csak a víz kötődik meg. Különböző, zeolit tartalmú patronokat használnak a hűtőszekrények hűtőfolyadékának, a járművek fékrendszerének, légkondicionáló berendezéseknek a zárt cirkulációs körében és transzformátor olajoknál az esetlegesen bekerülő víz megkötésére. Zeolitokat használnak szárító anyagként duplafalú ablakoknál is, ahol a két légmentesen összeragasztott üveg közé különböző gázokat, pl. argont tesznek a hő és hangszigetelés javítására. A növekvő energiaárak mellett az ablakok hőszigetelése egyre fontosabb, így az itt használt zeolitok iránti igény is nő.



7. ábra: Különböző zeolitok effektív pórusmérete és néhány egyszerű molekula kinetikus átmérője

Figure 7: Effective pore size of different zeolites and kinetic diameter of a few simple molecules



Nagyobb léptékű szárításnál, pl. hidrogén vagy oxigén gázáramok esetében golyókká vagy kis hengerekké formázott zeolitot használnak. Ezek a dinamikus műveletek folyamatos regenerálást is feltételeznek. Az adszorpciós-deszorpciós ciklus lejátszására az egyik lehetőség az, hogy az alacsonyabb  $T_2$  hőmérsékleten történik az adszorpció, míg a magasabb  $T_1$  hőmérsékleten a deszorpció. A másik lehetőség azonos hőmérsékleten, de különböző nyomáson végezni az ad- ill. deszorpciót. A fűtő-hűtő ciklus neve hőmérsékletváltó (thermal swing), míg a nyomás csökkentésével regenerálóé nyomásváltó (pressure swing) eljárás.

Van egy harmadik lehetőség is, inert leszorító gáz alkalmazása. Ezt a módszert általában a hőmérsékletváltó eljárással kombinálva alkalmazzák.

Mind a 3A, mind a 4A zeolitot világszerte használják csepfolyósított propán, halogénezett szénhidrogének és földgáz szárítására. A 3A alkalmasabb olefineket (etilén, propilén) tartalmazó krackgázok és más olajfinomítói gázáramok szárítására, mint a 4A, mert utóbbi pórusaiba ezek a kis szénatom számú olefinek beférnek és megkötődnek. A 4A nagyobb szénatom számú szénhidrogének, benzol, alkoholok szárítására használatos, és akkor, ha a vízzel együtt szén-dioxidot is el kell távolítani pl. a földgázból.

A legismertebb a földgáz tisztítása 4A zeolittal, amely magában foglalja a  $H_2S$  eltávolítását is. Ez nagyon fontos környezetvédelmi szempontból.

Amikor a megszokottnál nagyobb kén- vagy nitrogéntartalmú molekulát kell adszorpcióval eltávolítani, akkor a nagyobb pórusméretű 13X zeolitot használják.

A szárítás mellett, a kén-dioxid és a nitrogén-oxidok megkötésére a magyar természetes zeolitok, a mordenit és klinoptilolit is alkalmas.

Klasszikus, zeolitokkal megvalósítható feladat a normál- és izoparaffinok szétválasztása. Bizonyos célokra, pl. benzinek oktánszámának javítására az elágazó, más célokra, pl. mosószergyártásra az egyenesláncú szénhidrogének a kívánatosak, ezek könnyebben elbonthatók (miután évszázadokon keresztül az állati zsíradékok lúgos hidrolízisével főzött szappanokban lévő palmitin- és sztearin-sav fogyasztásához szoktak hozzá a természetes vizekben található mikroorganizmusok.)

### ***Katalizátorok***

A zeolitok első katalitikus alkalmazására 1959-ben került sor, amikor a Union Carbide Co. kutatói izomerizációs reakciókban tesztelték az Y-zeolitot. 1960-ban javasolták az "alakszelektív katalízis" elnevezést annak a váratlan katalitikus aktivitásnak a

megjelölésére, amelyet kalcium ioncserélt A zeolit (5A) esetében tapasztaltak. A 4-5 Å pórus átmérőjű zeoliton szelektíven krakkolódtak az egyenes szénláncú n-paraffinok ugyancsak egyenes láncú termékeket adva.

Az X zeolit krakk katalizátorként való alkalmazására 1962-ben került először sor, amikor kis mennyiségű zeolitot téve a klasszikus amorf alumínium-szilikáthoz jelentős katalitikus aktivitás növekedést tapasztaltak.

A hatvanas évek végén és a hetvenes években jelentős előrelépést jelentett a zeolitok szintézise területén új, nagy szilícium tartalmú, közepes pórusméretű anyagok (főleg a Mobil cég ZSM sorozata) előállítására. Ezek az anyagok addig nem ismert, alakszelektív átalakulásokra kifejlesztett technológiák megvalósításához vezettek.

Ezzel párhuzamosan a zeolitok módosításában is történt előrehaladás. Fémek és fém-oxidok beépítésével, új dealuminálási technikák kidolgozásával, ioncserével, mint a legfontosabb szintézist követő módosításokkal sikerült jelentősen befolyásolni a zeolitok aktivitását és szelektivitását.

Később, a 80-as években kifejlesztett új szintézis módszerekkel sikerült a Si-ot és az Al-ot is más elemekkel helyettesíteni a zeolit rácsban. Ez és a szerkezetvizsgáló módszerek fejlődése lehetővé tette számos új szerkezetű és összetételű zeolit felfedezését és a konkrét alkalmazásoknak jobban megfelelő anyagok előállítását.

Végül, a katalitikusan aktív helyek kialakítási technikájának fejlődése révén, pl. fémek bevitelével és a fémkomplexeknek a zeolitok csatornáiban, üregeiben való létrehozásával a kémiai tulajdonságok olyan finoman változtathatók, hogy reálissá vált a lehetőség az enzim katalízis utánzására.

### ***Ipari folyamatok zeolit alapú katalizátorokkal***

#### *Katalitikus krakkolás*

Ez volt az első ipari eljárás, amelyben zeolitokat katalizátorként alkalmaztak, és az elkövetkező években is még ez marad a zeolit katalizátorok fő hasznosítási területe. Jelenleg a kevésbé értékes nyersolaj frakciók krakkolása, a nagyobb szénhidrogének C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub> molekulákká alakítása az egyik legfontosabb gazolin forrás. Napjainkban a katalitikus krakkolást fluid ágyas technológiával végzik.

Ebben az előmelegített nyersolaj a regenerált katalizátor porral találkozik és együtt kerülnek a 450-500 °C hőmérsékletű reakció zónába. Rövid érintkezés után (néhány

másodperces kontaktidő) a használt katalizátort és a termékeket egy következő zónában elválasztják egymástól. Itt gőzöléssel távolítják el a katalizátor felületéről az adszorbeált szénhidrogéneket, majd a regenerátorban 600-800 °C-on levegővel leégetik az erősebben kötődött ún. "szénlerakódás"-t. Ezután a regenerált katalizátort újra visszavezetik krakkolásra. A szeparátorban kapott termék szénhidrogéneket különböző frakciókra választják szét: C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> gázok, C<sub>4</sub>, gazolin, krakk benzin, könnyű olaj, nehéz olaj és recirkulációs olaj. A nehezebb frakciókat visszavezetik krakkolásra. Az előzőekben leírt folyamatot a 8. ábra mutatja. *Venuto, P.B. és Habib, E.T. (1979).*

A jelenleg használatos katalizátor a faujazit (zeolit) komponens (HY, ultrastabil Y, ritka földfém Y) és a mátrix anyag keveréke. A különböző komponensek jól beállított arányával lehet megfelelő termikus/hidrotermális stabilitást, mérgeződéssel szembeni ellenállást (pl. fém Ni vagy V adalékkal), a zeolit és a mátrix mennyiségének kiegyensúlyozásával pedig megfelelő mechanikai tulajdonságokat (jó fluidizáló képesség, kopás állóság, kismértékű porlódás) elérni.

Hazánkban Százhalombattán működik ilyen technológia.

## **PRESENTATION OF NATURAL AND SYNTHESIZED ZEOLITES AND THEIR APPLICATIONS, ESPECIALLY FOR AGRICULTURAL USE**

ISTVÁN HANNUS

University of Szeged, Department of Applied and Environmental Chemistry, Szeged

### **ABSTRACT**

Zeolites are crystalline alkali and / or alkaline earth metal aluminum silicates. SiO<sub>4</sub> tetrahedra are dominant in their structure, they can be substituted by aluminum, they are connected to each other through common oxygen atoms. The crystal lattice of zeolites contains channels and cavities and contains hydrated charge compensating cations and water molecules.

An important property in terms of usability is the high ion exchange capacity, especially of Zeolon P4.

Agricultural utilization: Natural zeolites have formed a wide range of metal ions during their formation. It is also widely used as an additive in animal feed.

Its environmental significance: its important role in water treatment and wastewater treatment, in terms of water softening, ion exchange additives (zeolite) should be added (instead of phosphate) to the washing powders to remove the ions that cause hardness.

The selective adsorption capacity of zeolites, the so-called "molecular filtration" has a role in drying, adsorption purification and separation.

The most important industrial applications are catalytic cracking, at the end of the process the hydrocarbons are separated into different fractions: C1-C3 gases, C4, gasoline, cracked gasoline, light oil, heavy oil and recycled oil. The currently used catalyst is faujazite (zeolite).

**Keywords:** natural zeolites, synthesis, ion exchange, adsorption, catalysis, agricultural utilization.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by the Interreg V-A, SKHU/1802/3.1/023 Co-Innovation Program.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM:

*B. Nagy, J. - Bodart, P. - Hannus, I. - Kiricsi, I.* (1998): Synthesis, characterization and use of zeolitic microporous materials, DecaGen Ltd., Szeged, Hungary

*Colella, C.* (1999): Natural zeolites in environmentally friendly processes and application, Stud. Surf. Sci. Catal., 125 641.

*Czárán L-né. - Mészárosné Kis Á. - Domokos E. - Papp J.,* (1987): A klinoptilolit és a mordenit ioncserélő sajátságainak vizsgálata, (Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása II., Szerk. Hlavay József), MTA VEAB, Veszprém, 89. o.

*Dyer, A.* (1988): An introduction to zeolite molecular sieves, John Wiley, New York

*Gaál, L. - Varró, T. - Bodnár, S. - Márton, M.* (1987): Állattartó telepek szennyvizének kezelése zeolittal, (Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása II., Szerk. Hlavay József) MTA VEAB, Veszprém, 206.o

*Giczi, Zs. - Kalocsai, R. - Vona, V. - Szakál, T. - Lakatos, E. - Ásványi, B.* (2021): Study of the antifungal effect of a copper-containing foliar fertilizer. Cereal Research Communications 49, (2) 337-341.

Giczi, Zs. - Kalocsai, R. - Vona V. - Szakál, T. - Teschner, G. - Lakatos, E. (2020): Réz kezelések hatása őszi búza (*Triticum aestivum* L.) hozamára és nyersfehérje tartalmára, *Acta Agronomica Óváriensis* 61. (1) 23-32.

Guangsheng, Z. - Li. Xingzheng, - L. Guangju, - Z. Quanchang (1988): Removal of copper from electroplating, effluents (potch water) using clinoptilolite, (Occurence, properties and utilization of natural zeolites, Szerkesztők: D. Kalló, H.S. Sherry), Akadémiai kiadó, Budapest, 529. o.

Hannus, I. - Tasi, Gy. - Kiricsi, I. - Fejes, P., (1987): Magyar természetes zeolitok talajjavító tulajdonságának fokozása (Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása II., Szerk. Hlavay József) MTA VEAB, Veszprém, 187. o

Hannus I. - Kiricsi I. (2003): Zeolitok a XXI. század küszöbén, *Természet Világa*, 134, 452. o.

Hlavay, J. - Vigh Gy. - Olaszi V. - Inczédy J. (1982): Vizek ammónia tartalmának eltávolítása klinoptilollal, (Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása, Szerk. Hlavay József), MTA VEAB, Veszprém, 211. o.

Kocsis, I. - Kazó, B. - Varró, T. (1987): Zeolit-lignit őrleményt tartalmazó trágyák alkalmazása a talajerőgazdálkodásban (Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása II., Szerk. Hlavay József) MTA VEAB, Veszprém, 195. o

Polyák K. - Hlavay J. (1987): Klinoptilolit szelektivitása néhány nehézfémionra, (Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása II., Szerk. Hlavay József), MTA VEAB, Veszprém, 73. o

Semmens, M.J. - S. Seyfath (1978): The selectivity of clinoptilolite for certain heavy metals, (Natural zeolites: Occurence, Properties, Use, Szerkesztők: L.B. Sand, F.A. Mumpton), Pergamon Press, New York, 517. o.

Szakál, P. – Schmidt, R. – Barkóczy, M. – Szakál, T. – Schmidt, P. (2012): Effect of copper containing ion- exchanged syntethesised zeolite ont he yield and quality parameters of winter wheat, *Növénytermelés* 61, 157-160.

Szakál, T. (2021): A réz-tetramin-komplex és a réz-aminnal ioncserélt szintetizált zeolit lombtrágyaként történő alkalmazása az őszi búzában (*Triticum aestivum* L.), hatása annak beltartalmi paramétereire. Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer-tudományi Multidiszciplináris Doktori Iskola.

Szakál, T. (2018): Réz-tartalmú mikroelektronikai hulladékból előállított réz-ioncserélt zeolit mezőgazdasági felhasználása. In: Szalka, Éva (szerk.) XXXVII. Óvári

Tudományos Napok, 2018. november 9-10.: Fenntartható agrárium és környezet, az Óvári Akadémia 200 éve - múlt, jelen, jövő. Mosonmagyaróvár, Magyarország: VEAB Agrártudományi Szakbizottság, Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar. 482, 448-454.

*Szakál, T. – Barkóczy, M. – Szakál, P. – Schmidt, R. (2015):* Agricultural use of composts prepared from trace element enriched sewage sludge of municipal waste water. In: Peter, Nemecek (szerk.) The 5th International Scientific Conference : Applied Natural Sciences Perspectives in V4 Countries Trnava, Szlovákia : University of SS. Cyril and Methodius in Trnava 204, 141-145.

*Szakál, T. - Szüle, B. - Kalocsai, R. - Korim, T. - Szalka, É. - Tóth, E. - Szakál, P. (2021):* Ion exchange with copper-tetraamine on NaA (LTA) type synthesised zeolite, Nova Biotechnologica et Chimica 20 : 1 Paper: 886.

*Szász, Á. - Inczedy J., (1987):* A mádi klinoptilolit-tartalmú kőzet ioncserélő tulajdonságai (Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása II., Szerk. Hlavay József), MTA VEAB, Veszprém, 89. o.

*Venuto, P.B. - E.T. Habib (1979):* Fluid catalytic cracking with zeolite Catalysts, Marcel Dekker, New York

*A szerző levélcíme – Address of the author:*

HANNUS ISTVÁN

Szegedi Tudományegyetem

Alkalmazott és Környezeti, Kémiai Tanszék

6720 Szeged, Rerrich tér 1.

e-mail: I.Hannus@chem.u-szeged.hu



## A MINŐSÉGI ÉLELMISZER ELŐÁLLÍTÁS KOCKÁZATAI A HÍGTRÁGYA ÖNTÖZÉS SORÁN

PLUTZER JUDIT

Nemzeti Népegészségügyi Központ, Közegészségügyi Főosztály, Budapest

### ÖSSZEFOGLALÓ

A nagyüzemi állattartó telepek létesítésével párhuzamosan új melléktermék, a hígtrágya jelent meg a mezőgazdaságban. Szántóföldi felhasználása jó megoldás ettől a mellékterméktől megszabadulni szándékozó gazdálkodók számára és hasznos a mezőgazdasági földtulajdonosoknak is, mivel biztosítja a tápanyag utánpótlást. A hígtrágya-felhasználás engedélyezési eljárása során a tápanyagtartalmát, oldott sóit és egyéb elemeit (pl. fémeket) mérik, de nem tartalmaz sem ökotoxikológiai vizsgálatokat, sem a hormonhatású anyagok mennyiségének vizsgálatát. Kevés az információ arról is, vajon a hígtrágyakezelés milyen hatással van a fenti összetevőkre. Az iszapfrakció elkülönítésével nagymértékben csökkenthetjük a hormonhatást. A laboratóriumi körülmények közt elvégzett csíranövény teszt elősegíti a hígtrágya gazdaságos alkalmazását a tudatos gazdák számára. Az általa kapott eredmények ismeretében lehetséges minimalizálni, kezelni, figyelemmel kísérni és ellenőrizni olyan nem kívánatos események valószínűségét vagy hatását, mint például a rossz csírázás és a növények növekedésére gyakorolt negatív hatás.

**Kulcsszavak:** hormonhatású anyagok, hígtrágya, toxikológia

### A MINŐSÉGI ÉLELMISZER ELŐÁLLÍTÁSÁNAK FELTÉTELEI

Az élelmiszerbiztonság kérdése világszerte az érdeklődés központjába került. Természetes elvárás, hogy az elfogyasztott élelmiszer ne tartalmazzon egészségre ártalmas anyagokat, hanem támogassa a szervezet működését. Az egészségtudatos

emberek jelentős részét aggasztják az élelmiszerekben esetlegesen megtalálható kórokozók és vegyi anyagok, beleértve a növényvédőszer-, állatgyógyszer-maradékokat, az elszennyeződött környezetből bekerülő vegyszereket. A fejlettebb országok magas színvonalú higiéniai viszonyai között is nagy számban vannak élelmiszer eredetű, kórokozó baktériumok, vírusok és paraziták okozta megbetegedések, növekszik a mikotoxinok és különböző vegyi anyagok okozta élelmiszer-biztonsági veszély (*WHO*, 2021).

A talaj olyan szilárd természeti erőforrás, amely mindig megújulni képes. Ha védjük az elsavasodástól, a pusztulástól, fenntartjuk a benne élő és mikro- és makro-életközösséget, megőrizzük szerkezetét, pótoljuk a növénytermesztéssel kivont humuszt, a makro- és mikroelemeket, akkor a talaj képes újra és újra megújulni és biztosítani a rajta termesztett egészséges ételmet *Giczi et al.* (2021), *Matus et al.* (2021). A rendszeres, okszerű talajművelési eljárások talajművelési rendszereket alkotnak. Ezek célja, hogy a talaj termőképességét megőrizzük, illetve javítsuk. A termőképességet fokozhatjuk úgy, ha a javítjuk a talaj fizikai tulajdonságait (pl. megfelelő hézagterefogat kialakítása), javítjuk a kémiai jellemzőket (pl. trágyázás) vagy a vízkészletet pótoljuk (pl. öntözés) *Beke et al.* (2012). A talaj tápanyagtartalmát növelő anyagokat összefoglalóan trágyának nevezzük. A mezőgazdaság fejlődése során számtalan anyagot használhatunk trágyázásra, talajjavításra (*Szarka*, 2008).

## A HÍGTRÁGYA KELETKEZÉSE ÉS FELHASZNÁLÁSA

A hígtrágya az almozás nélküli állattartás folyékony halmazállapotú mellékterméke, amely állati bélsárból, vizeletből, elcsurgó ivó- és technológiai vízből, valamint kis mennyiségben egyéb hulladékanyagokból áll. Kémiai szempontból bonyolult kolloid rendszer, illetve koncentrált szuszpenzió; összetétele nagymértékben függ az állat fajtától, nemétől, korától, a takarmány összetételétől, minőségétől, az ivóvíz mennyiségétől és minőségétől. Értékes anyagai a fehérjék, az aminosavak, az emulzióban lévő zsírok, az oldott sók (főleg ammónium-, kálium-, nátrium-kloridok, foszfátok, szulfátok, nitrítok és nitrátok), amelyek a meg nem emésztett tápláléknak az ürülékkel távozó maradványai, az emésztés bomlástermékei és a hozzákeveredő víz és egyéb anyagok komponensei (*Kocsis*, 2011). Ennek a trágyaféleségnek a megjelenése hazánkban az 1970-es évek elejére tehető a nagyüzemi állattartó telepek létesítésével párhuzamosan (*Vermes*, 2005).



A hígtrágyával való öntözés jó megoldás az állattartási mellékterméktől való megszabadulásra törekvő gazdálkodók számára, és hasznos a mezőgazdasági földtulajdonosok számára is, akik növények tápanyag-utánpótlásaként használják. A kijuttatás célja olyan szerves és szervetlen anyagoknak a talajba juttatása, amelyek a talaj kémiai és fizikai tulajdonságait, biológiai állapotát javítják, a talaj termékenységét növelik (*Kismányoki, 1994, Eriksen et al. 2008*).

A nem szakszerűen végzett hígtrágyaöntözés környezetvédelmi szempontból kockázatos beavatkozás ezért a hígtrágya-kijuttatáshoz a termőföld védelméről szóló 2007. évi CXXXIX. törvény alapján a talajvédelmi hatóság engedélye szükséges. Az engedélyezés alapja a hígtrágyaöntözést megalapozó talajvédelmi terv. A talajvédelmi tervben kell meghatározni a hígtrágyaterhelés mértékét, valamint javaslatokat kidolgozni a hígtrágyaöntözés esetleges káros hatásainak elkerülése érdekében (90/2008. (VII. 18.) FVM). A nitrátérzékeny területekre még szigorúbb szabályozás vonatkozik (27/2006 (II.7), 59/2008 (IV.29) rendelet). A Tanács 91/676/EGK irányelve (1991. december 12.) a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméről elősegíti a helyes gazdálkodási gyakorlatok alkalmazását azáltal, hogy szabályozza a mezőgazdasági eredetű nitrátok okozta környezetszennyezést, és védi a víz minőségét.

A hígtrágya értékes szervestrágya, de alkalmazása számos veszélyt rejt magában: fertőző mikroorganizmusok tömege mutatható ki egyetlen milliliterében. Mivel egyes kórokozók több hónapos tárolás után sem pusztulnak el, így a hígtrágya potenciális fertőző forrást jelent (*Csávás et al. 1975, Vermes 2005*).

A hígtrágya felhasználás engedélyezési eljárása során az iszap tápanyagtartalmát, oldott sóit és egyéb elemeit, azok mennyiségét (pl. N formák, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu, Zn) azonosítják és mérik, de az engedélyezés nem tartalmaz sem ökotoxikológiai, sem parazitológiai vizsgálatokat, sem pedig a hormonhatású anyagok mennyiségének/jelenlétének vizsgálatát. Bár a hígtrágya tápanyagtartalma magas, tartalmazhat fertőtlenítőszereket, gyógyszermaradványokat, hormonokat, kórokozókat, amelyek negatív hatással lehetnek a növényekre, a talajra vagy közvetve más élő szervezetekre és ezáltal az emberre is (*Petersen et al. 2012, Bloem & Kratz 2016, Adeel et al. 2017, Chen et al. 2021*).

A keletkező hígtrágyát gyűjtik, rövid ideig tárolják, melynek célja az, hogy teljes mennyiségét és értékes anyagait minél kisebb beavatkozással, de homogenizálva juttassák ki a hasznosítás területére (*Kocsis, 2011*). A kezelés nélküli hígtrágya veszít

tápanyagtartalmából a tárolás során és gyakran kellemetlen szaga van (*Petersen et al.* 2012). A hígtrágyakezelések közül a szétválasztási eljárások közös jellemzője, hogy a hígtrágya szilárd és híg fázisát elkülönítik. A hígtrágya fázisainak szétválasztására több megoldás is létezik, de alapelvüket tekintve két fő csoportra oszthatók: gépi mechanizmus nélkül működő és gépi berendezésekkel működő módszerek. Az első csoportba az ülepítő-szűrő rendszerek tartoznak, amelyek közül Magyarországon a földmedencés ülepítőket, a nagy felületű szűrőberendezéseket és a szűréssel kombinált ülepítőket használják. A második csoportba sorolhatók a fázisbontó gépek, amelyek közül hazánkban előbb a vibrációs szűrők, majd az ívszíták és a centrifugák terjedtek el.

A szilárd fázist minden esetben trágyázásra igyekeznek felhasználni. Újabb kísérleti jelleggel komposztálásra, anaerob rothasztással történő biogáznyerésre és takarmány alapanyaggá való földolgozására is hasznosítják (*Kocsis, 2011*).

A híg fázist nagyobb arányban mezőgazdasági területek öntözésére használják, egyes helyeken a hígtrágya híg részét a hasznosítás, illetve az elhelyezés előtt tisztítják, hogy korlátozott méretű mezőgazdasági területen nagy adagokban, vagy települések környezetében is kiöntözhető legyen. Ha öblítővízként visszaforgatják az istállóba, csak részleges tisztításon, valamint aerob kezeléssel átesett híg fázis használható fel, amelynek bakteriológiai minősége megfelel a rá vonatkozó állategészségügyi előírásoknak (*Kocsis, 2011*). A hígtrágyakezeléshez gyakran olyan baktériumtörzseket vagy azok keverékét adagolják melyek aerob, anaerob vagy fakultatív módon termelnek a szerves anyagok lebontásához szükséges enzimeket, illetve felfalják a szennyező anyagokat, és szervezetükbe beépítik, vagy energiaforrásként lebontják (*Kocsis, 2011*). Ilyen hígtrágyakezelő szer például a Free Flow. A Freeflow tablettá speciálisan kiválasztott, a természetben is előforduló 12 féle aerob és fakultatív anaerob talajbaktériumot tartalmaz: *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis* (4 féle), *Bacillus licheniformis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus amyloliquefaciens* (2 féle) *Bacillus simplex* (2 féle). Ezeket a mikroorganizmusokat azért izolálták a környezetből, mert rendkívül hatékonyak azon szerves anyagok lebontásában és szagtalanításában, amelyek az iszapcsatornáknak, tároló tartályokban és lagúnákban találhatóak. Az iszapot hasznosítva a baktériumok folyékonyabb és homogénebb elegyet hoznak létre, csökkentve az ammóniatartalmat és a kellemetlen szagot (*Kapuvári, 2013*).

**HORMONHATÁSÚ ANYAGOK ÉS HORMONOK A HÍGTRÁGYÁBAN*****Hormonhatású anyagok környezetünkben***

Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége (EPA) által meghatározott hormonhatású anyagok (endocrine disrupting compounds = EDC-k) olyan exogén anyagok, amelyek megzavarják a természetes hormonok szintézisét, szekrécióját, szállítását, anyagcseréjét, receptorhoz kötődését vagy eliminációját. Akadályozhatják a normális endokrin funkciókat, megváltoztathatják az anyai és a magzati endokrin környezetet, ezáltal felelősek a homeosztázis egyensúlytalanságáért, a rendellenes szaporodásért és a fejlődési folyamatokért (*Diamanti-Kandarakis et al. 2009, Gore et al. 2015, USEPA 2015*). Bár bizonyos vegyi anyagok a 20. század közepére ismertek voltak hormonhatásukról, az endokrin diszruptor kifejezést először az 1991-es Wingspread konferencián használták (*Hotchkiss et al. 2008*). Az EDC-kkel kapcsolatos kezdeti kutatások főként a szteroid hatású vegyi anyagokra összpontosítottak, de mostanra kiterjedtek egyéb vegyi anyagokra is. Az EPA listát vezet az Egyesült Államokban gyártott, feldolgozott vagy importált vegyi anyagokról, amely körülbelül 86 000 vegyi anyagot tartalmaz. Az Egészségügyi Világszervezet 2012-es becslése szerint körülbelül 800, a mindennapi életben használt vegyi anyag rendelkezik hormonhatást zavaró tulajdonságokkal (*Bergman et al. 2013*). 2021-ben az „Endokrin Disruption Exchange” adatbázis (<https://endocrinedisruption.org/interactive-tools/edx-list-of-potential-endocrine-disruptors/search-the-edx-list>) 1482 endokrin rendszert károsító vegyi anyagot sorolt fel. Általánosságban elmondható, hogy a hormonhatással rendelkező anyagok köre természetes és antropogén vegyi anyagokat is tartalmaz, amelyeknek az emberek ki vannak téve a mindennapi életben (*Gore et al. 2015, Sargis et al. 2019*). A természetben előforduló, endokrin rendszert károsító vegyületek közé tartoznak egyes fémek és metalloidok, a parabének, a poliaromás szénhidrogének (PAH) és a fitoösztrogének. A mesterségesen előállított szintetikus EDC-eket gyakran használják a mezőgazdasági gyakorlatban (peszticidok, rovarirtók és gombaölő szerek), csomagolásokban (élelmiszertároló dobozok és zacskók), az iparban (oldószerek, égésgátlók, tartósítószerke, emulgeálószerke, frakcionáló vegyszerek, építőanyagok), háztartási cikkekben (háztartási vegyszerek, kozmetikumok, gyermekjátékok, elektronikai termékek, edények) és orvosi ellátásban (fogamzásgátló tabletták, biocidok, infúziós tasakok és csövek, eldobható kesztyűk, fertőtlenítőszerke). Bár egyes vegyi

anyagok, például a fémek és a PAH-ok természetes módon is jelen vannak környezetünkben, expozíciójuk növekedése az emberi tevékenység, például a fémek kitermelése és a fosszilis tüzelőanyagok elégetése miatt következik be (*Padmanabhan et al.* 2021).

### ***Az ösztrogénkibocsátás fő forrása a hígtrágya***

Az EDC-k csoportján belül az ösztrogénhatású anyagok kiemelt figyelmet kaptak, számos káros hatást kötnek ezekhez a vegyületekhez emberek és állatok esetében is: csökkentik az immunrendszer hatékonyságát, fejlődési rendellenességeket okoznak, valamint a leggyakoribb negatív hatás a reprodukív rendszer működési zavara (csökkent termékenység, rendellenes szexuális viselkedés, szexuális vágy és reakcióképesség, nemi azonosulás és szexuális preferencia) (*Kiyama & Wada-Kiyama* 2015, *Adeel et al.* 2017, *Mhaouty-Kodja et al.* 2018).

A kutatások azt mutatják, hogy a környezetben található ösztrogénforrások legnagyobb része állati hulladékból származik. Az elsődleges források közé tartozik a nagyüzemi állattartásból származó ösztrogénvegyületeket tartalmazó trágya és hígtrágya (*Hanselman et al.* 2003, *Rechsteiner et al.* 2020). A szakirodalom szerint a szteroid ösztrogének, mint például az ösztron (E1), az ösztradiol (E2), az ösztriol (E3) és a szintetikus ösztrogén (EE2), mindenütt megtalálhatók a talajban (*Adeel et al.* 2017). Az Egyesült Államokban és az Európai Unióban tartott állatok kibocsátása együttesen meghaladja a 83 000 kg természetes ösztrogént (E1, E2 és E3), ami kétszerese az emberi kibocsátásnak (*Goepfert, et al.* 2014; *Adeel et al.* 2017). Bár a különböző ösztrogének a különböző állatfajokra jellemzőek. A szarvasmarha (*Bos taurus*), az ösztrogének több mint 90% -át szabad és konjugált metabolitként választja ki  $17\alpha$ -E2,  $17\beta$ -E2 és E1 formájában. *Wei et al.* (2011) Kína északkeleti részén található 24 tejtermelő és marhahús-gazdaság ösztrogén kibocsátását vizsgálták. A tejelő gazdaságban a  $17\alpha$ -E2,  $17\beta$ -E2 és az E1 átlagos koncentrációja 194,6, 104,4, illetve 262  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , míg a hústermelésre fókuszáló gazdaságban 104,5, 67,7 és 216,4  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  volt. A  $17\alpha$ -E2 azonban alig fedezhető fel a sertés (*Sus scrofa*) vagy a baromfi (*Gallus domesticus*) ürülékében (*Hanselman et al.* 2003).

Az állati hulladékkal végzett tápanyagutánpótlás komoly veszélyt jelenthet a környező talajvízre és a felszíni vizekre, nemcsak a fent említett parazita szennyezés, hanem a kémiai hormonszennyezés miatt is (*Arnon et al.* 2008, *Laegdsmand et al.* 2009). Az

ösztrogén lefolyása a felszíni trágyával rendelkező parcellákról 640-szer nagyobb volt, mint azokon a parcellákon, ahol a trágyát injektálták, beforgatták. A trágyaféleségek talajba juttatása több időt ad a termőföldnek a trágya megkötésére, és lassítja a szennyezőanyag-kibocsátást (Mina et al. 2017).

### ***Az ösztrogének előfordulása a mezőgazdasági termékekben, azok hatása a növények fejlődésére***

Az ösztrogénszennyezés aggasztó probléma nemcsak az ösztrogén emberi és állati egészségre gyakorolt hatása miatt, hanem a növények növekedésére és fejlődésére gyakorolt hatása miatt is (Janeczko & Skoczowski 2005, Franks et al. 2019). Lu és munkatársai szteroid ösztrogének előfordulását vizsgálták az amerikai Fort Pierce piacán. A zöldségekben (saláta, paradicsom, tök, burgonya, sárgarépa) és a gyümölcsökben (alma, eper, citrusfélék) a 17  $\beta$ -E2 koncentrációja 1,26-3,09  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  volt. A FAO/WHO Élelmiszer-adalékanyagokkal foglalkozó szakértői bizottsága (JECFA) szerint az 17 $\beta$ -E2 napi bevitelének toxikus szintje (ADI) 60 kg-os felnőtt esetében 3,0  $\mu\text{g}$  / nap (Lu et al. 2013).

Bizonyos növények képesek felszívni a környezetükből származó szennyeződések anélkül, hogy azok fejlődésükre negatív hatással lennének. Ezt a mechanizmust fitoextrakciónak nevezzük. Számos olyan növényfajt ismerünk, amelyek alkalmazkodtak a nehézfémekhez, de sajnos kevés információval rendelkezünk azokról a növényekről, amelyek képesek ösztrogénfelhalmozásra. A szennyvízzel végzett folyamatos áramlási tesztek azt mutatják, hogy az algák és a békalencse (*Lemna minor*) kulcsszerepet játszanak az ösztrogén eltávolításában (Shi et al. 2010, Bai & Acharya 2019), ámbar a *Chlamydomonas* fejlődését 7  $\mu\text{M}$  EE2 gátolta (Pocock & Falk 2014). A keskenylevelű fűz (*Salix exigua*) szintén képes ösztrogén felvételére (Franks et al. 2019). Egy Japánban végzett hidroponikus vizsgálat során (amikor a növény nem a talajban növekszik, hanem tápoldatban vagy tápoldattal rendszeresen átjárt anyagban, mint például perlit, kavics, agyaggolyó közetgyapot) több száz különféle növényt vizsgáltak, de csak a kövér porcsin (*Portulaca oleracea*) volt az egyetlen növény, mely 24 órán belül eltávolította a fenoltartalmú vegyszereket, köztük a 17 $\beta$ -E2-t (Imai et al. 2007).

A burgonya (*Solanum tuberosum*) gyökérnövekedését és a gumó méretét az ösztrogénhatás (17 $\beta$ -E2) csökkentette (Brown, 2006), míg a kukorica (*Zea mays*) palántáinak növekedését 10 mg. L-1 koncentráció gátolta, viszont 0,1 mg. L<sup>-1</sup>

növekedésserkentőként hatott (Bowlin, 2014). Kukoricával (*Zea mays*) végzett kísérletek kimutatták, hogy szintetikus és természetes ösztrogének (17 $\beta$ -E2) megjelennek a kukorica gyökereiben, de a szárban is (Card *et al.* 2012). Mungóbab (*Vigna radiata*) és csicseriborsó (*Cicer arietinum*) esetén az E1 és E2 alacsony (0,1  $\mu$ M) koncentrációnál fokozott csírázást és vegetatív növekedést mutatott, de magas (60  $\mu$ M) koncentrációnál gátolta a fejlődést (Guan & Roddick 1988, Erdal & Dumlupinar 2011). A lencse (*Lens culinaris*) esetében a 17 $\beta$ -E2 kezelés fokozott növekedést és jobb csírázást eredményezett a kadmium és a réz stressz alatt (Chaoui & El Ferjani 2013).

### **KEZELÉSEK HATÁSA A HÍGTRÁGYA ÖSSZETÉTELÉRE**

A földekre kijuttatott műtrágyaféléket, annak tudatában választják ki a gazdák, hogy ismerik a talaj tulajdonságait, és annak hiányosságait igyekeznek a megfelelően választott műtrágyával pótolni. Azonban a hígtrágya esetén nem ismerjük ugyanilyen pontossággal az összetevőket, mivel a hígtrágya összetétele rendszeresen változhat és nagymértékben függ az állattartás technológiájától és az adott állatfajtól, az állategészségügyi kezelésektől (antibiotikumok, gyulladáscsökkentők), a hígtrágyakezelés típusától is.

A Gubó *et al.* (2021) által publikált tanulmány a hígtrágyában megtalálható ösztrogénhatású anyagokat követte nyomon. Az ösztrogénhatású anyagok csoportjába tartozó vegyületek kémiai sokfélesége nagyon megnehezíti a vizsgálatukat, mivel különböző analitikai módszerek szükségesek kimutatásukhoz, így egy-egy minta igen részletes vizsgálata esetén sem lehet egyértelműen kizárni, hogy valamelyik vegyület észrevétlen marad. Ezt a problémát hidalják át a hormonhatású anyagok jelenlétét hatásoldalról vizsgáló módszerek, mint például a humán ösztrogén receptort termelő élesztősejt tenyészetten végzett vizsgálat, amellyel a különböző típusú vizek vagy a vízből készült koncentrátumok esetleges hormonhatása laboratóriumi körülmények között tesztelhető (YES teszt). Ez a teszt ebben a tanulmányban kimutatta, hogy az iszap folyékony és szilárd fázisainak elválasztása hozzájárul az ösztrogén anyagok redukciójához a folyékony fázisban, azaz a hígtrágya folyékony és szilárd fázisának elválasztása kedvező hatással van a folyékony hígtrágya összetételére és ezáltal a biztonságosabb termőföldre juttatásra. A 30 napig tárolt minták esetében egyértelműen látható, hogy a teljes ösztrogén anyag mennyiségének 71-95% -a kerül át a szuszpendált szilárd fázisba és az abszorbeált mennyiség meghaladta a folyékony fázisát. Gubó *et al.*

számításai alapján szeparátor használata nélkül körülbelül 162-szer több ösztrogénhatású anyagot bocsátunk ki a környezetbe. Ezt alátámasztja, *Amin et al.* (2012) tanulmánya is, miszerint a fizikai elválasztás során az ülepedési és centrifugálási folyamatban az E2 50-75% -a távozik az iszappal.

A toxikológiai vizsgálatokhoz ISO 18763 standardnak megfelelő Phytotoxkit mikrobiotestet (MicroBioTests Inc., TK62 L Phytotoxkit) használtak a mezőgazdasági vetőmag csírázásának és a fiatal gyökerek növekedésének vizsgálatára a termőtalajban, a hígtrágya különböző mértékű hígításainak alkalmazása során. Egyszikű (tarka cirok; tritikálé) és kétszikű (fehér mustár, kerti zsázsa, hajdina) növényeket választottak ki tesztelésre. A növényi magvak csírázásának gátlását tapasztalták, mikor nyers, fázisválasztás nélküli hígtrágyát használtak a tesztalajok átítatására. A fázisok szétválasztása után 97-160% közötti kontrollhoz viszonyított relatív gyökernövekedést értek el, következésképpen a csírázásra káros anyagokat a szuszpendált szilárd fázissal eltávolították. Míg ez a tanulmány egy adott szarvasmarha-gazdaságban egy adott év (2017) hígtrágya ökotoxicitásának értékelésére összpontosít, felhívja a figyelmet a hígtrágya folyékony és szuszpendált szilárd szeparáció fontosságára, mielőtt azt mezőgazdasági célokra felhasználnák, és kiemeli a növényi vetőmagok tesztjeinek szükségességét, amelyek nyilvánvalóan segítik a hígtrágya-felhasználás kockázatbecslését (*Gubó et al.* 2021).

Pordán-Háber 2021-es tanulmánya a baktériumkezelés hatását vizsgálja a hígtrágya összetételére. Az előző vizsgálathoz hasonlóan, az élesztőtesztet használta a hígtrágya minták hormonhatásának mérésére, az ökotoxicitás méréséhez pedig szintén a phytotoxkit-et alkalmazta egyszikű (kukorica, tritikálé, olaszperje), és kétszikű (fehér mustár, lucerna) növényekkel. Eredményei azt mutatják, hogy az ösztrogénhatás megléte számottevő maradt a kezelés végére is. A fitotoxicitási vizsgálat alapján elmondhatjuk, hogy mindegyik növény növekedésére pozitív hatással volt a trágyakezelés, 100×-os hígításnál a kontrollhoz viszonyított többszörös gyökernövekedést értek el (133%-os serkentéstől 345%-os serkentésig) (*Pordán-Háber*, 2021).

## KONKLÚZIÓ

A fenti tanulmányok és kísérletek eredményeinek ismeretében a hígtrágya iszap és folyékony frakciójának elkülönítése, a folyékony frakció baktériumos kezelése lenne

ideális megoldás környezetvédelmi, egészségügyi és gazdasági szempontból is, ámbar további vizsgálatok szükségesek ennek alátámasztására.

Az ökotoxikológiai vizsgálatok célja, hogy viszonylag egyszerű biológiai tesztekkel az ökoszisztéma egészére kivetíthető eredményt kapjunk, közvetlenül mutatják a hígtrágya minták aktuális toxicitását és egyéb káros hatásait. Az fitotoxikológiai teszt eredménye magában foglalja a környezeti mintában, hígtrágyában található, különféle módokon és erősséggel kötődő szennyezőanyagok hozzáférhetőségét, a hatások eredőjét mutatja, melyben az egymást erősítő, összeadó és kioltó hatások egyaránt megjelennek. Ezek a növényi tesztek segítenek meghatározni a hígtrágya gazdaságos alkalmazását, minimalizálni, figyelemmel kísérni és ellenőrizni olyan nemkívánatos események valószínűségét vagy hatását, mint például a rossz csírázás és a növények növekedésére gyakorolt negatív hatás.

## **RISKS OF QUALITY FOOD PRODUCTION DURING SLURRY IRRIGATION**

PLUTZER JUDIT

National Public Health, Department of Public Health, Budapest

### **ABSTRACT**

In parallel with the establishment of large-scale livestock farms, a new by-product, the slurry, appeared in the agriculture. Its field use is a good solution for farming that seeks to get rid of by-products and it is beneficial to agricultural landowners as it provides nutrient replenishment. During the authorization procedures for the use of the slurry, the nutrient content, the dissolved salts and other elements (e.g. metals) are measured, but the authorization does not include either ecotoxicological studies or the quantification of hormonal substances. There is also little information on the effect of slurry treatment on the above ingredients. Studies support that hormone content can be greatly reduced by separating the sludge fraction. A seedling test (PhytoTox test) performed under laboratory conditions facilitates the application of slurry to conscious farmers. With the knowledge of the test results, it is possible to minimize, treat, monitor, or control adverse events such as poor germination and plant growth.

**Keywords:** endocrine disrupting chemicals, slurry, toxicology



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a tanulmány az alábbi projekt támogatásával valósult meg: Interreg V-A Slovakia Hungary Cross Border Cooperation Programme CO-INNOVATION SKHU/1802/3.1/023

## IRODALOMJEGYZÉK

27/2006. (II. 7.) Korm. rendelet a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméről.

59/2008. (IV. 29.) FVM rendelet vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges cselekvési program részletes szabályairól, valamint az adatszolgáltatás és nyilvántartás rendjéről.

90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól.

*Adeel, M. – Song, X. – Wang, Y. – Francis, D. – Yang, Y. (2017): Environmental Impact of Estrogens on Human, Animal and Plant Life: A Critical Review. Environment International 99, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.010>.*

*Amin, MG. – Petersen, SO. – Lægdsmand, M. (2012): Sorption of 17 $\beta$ -estradiol to pig slurry separates and soil in the soil-slurry environment. J Environ Qual. 41, (1) 179-87. doi: 10.2134/jeq2011.0168. PMID: 22218186.*

*Arnon, S. – Dahan, O. – Elhanany, S. – Cohen, K. – Pankratov, I. – Gross, A. – Ronen, Z. – Baram, S. – Shore, LS. (2008): Transport of testosterone and estrogen from dairy-farm waste lagoons to groundwater. Environ Sci Technol. 42, (15) 5521-5526. doi: 10.1021/es800784m. PMID: 18754470.*

*Bai, X. – Acharya, K. (2019): Removal of seven endocrine disrupting chemicals (EDCs) from municipal wastewater effluents by a freshwater green alga. Environ Pollut. 247, 534-540. doi: 10.1016/j.envpol.2019.01.075. PMID: 30708315.*

*Beke, D. - Schmidt, R. - Csavajda, É. - Schmidt, P. - Szakál, T. (2012): Effect of manuring with compost examined on the organic matter and water management of the soil as well as on the vegetative development and yield of maize: XI. Alps-Adria Scientific Workshop. Smolenice, Slovakia. March 26 - 31. Növénytermelés 61, 247-250.*

- Bergman, A. – Heindel, JJ. – Jobling, S. – Kidd, K. – Zoeller, TR.* (2013): World Health Organization. State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Bloem, E. – Kratz, S.* (2016): Organic Xenobiotics. In: Schnug E., De Kok L. (eds) Phosphorus in Agriculture: 100 % Zero. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7612-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7612-7_13).
- Bowlin, KM.* (2014): Effects of  $\beta$ -Estradiol on Germination and Growth in Zea Mays L. Northwest Missouri State University. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Brown, G.* (2006): The Effects of Estrogen on the Growth and Tuberization of Potato Plants ( *Solanum Tuberosum* Cv .‘ Iwa ’) Grown in Liquid Tissue Culture Media. University of Canterbury, School of Biological Science.
- Card, ML. – Schnoor, JL. – Chin, YP.* (2013): Transformation of natural and synthetic estrogens by maize seedlings. *Environ Sci Technol.* 47, (10) 5101-5108. doi: 10.1021/es3040335. PMID: 23488817.
- Chaoui, A. – El Ferjani, E.* (2013):  $\beta$ -Estradiol Protects Embryo Growth from Heavy-Metal Toxicity in Germinating Lentil Seeds. *J Plant Growth Regul* 32, 636–645. <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9332-x>.
- Chen, X. – Li, Y. – Jiang, L. – Hu, B. – Wang, L. – An, S. – Zhang, X.* (2021): Uptake, accumulation, and translocation mechanisms of steroid estrogens in plants. *Science of the Total Environment.* 753.141979. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.141979.
- Csavas I. – Fekete J. – Kiss O. – Vermes L.* (1975): A higtragya kezelesi modszereinek vizsgálata szakosıtott sertestelepeken. Akademia Kiado, Budapest.
- Diamanti-Kandarakis, E. – Bourguignon, JP. – Giudice, LC. – Hauser, R. – Prins, GS. – Ana Soto, AM. – Zoeller, RT. – Gore, AC.* (2009): Endocrine-Disrupting Chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement, *Endocrine Reviews*, 30, (4) 293–342. <https://doi.org/10.1210/er.2009-0002>
- Erdal, S. – Dumlupinar, R.* (2010): Progesterone and  $\beta$ -Estradiol Stimulate Seed Germination in Chickpea by Causing Important Changes in Biochemical Parameters. *Zeitschrift Fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences* 65, (3–4) 239–244. <https://doi.org/10.1515/znc-2010-3-412>.
- Eriksen, J. – Sorensen, P. – Elsgaard, L.* (2008): The fate of sulfate in acidified pig slurry during storage and following application to cropped soil. *J Environ Qual.* 37, (1) 280-286. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0317>.

- Franks, CG. – Pearce, DW. – Rood, SB. (2019):* A prescription for drug-free rivers: uptake of pharmaceuticals by a widespread streamside willow. *Environ Manage.* 63, (1) 136-147. doi: 10.1007/s00267-018-1120-8. PMID: 30421133.
- Giczi, Zs. – Kalocsai, R. – Vona, V. – Szakál, T. - Lakatos, E. – Ásványi, B. (2021):* Study of the antifungal effect of a copper-containing foliar fertilizer. *Cereal Research Communications* 49, (2) 337-341.
- Goepfert, N. – Dror, I. – Berkowitz, B. (2014):* Detection, fate and transport of estrogen family hormones in soil. *Chemosphere.* 95, 336-345. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.09.039. PMID: 24134891.
- Gore, C. – Chappell, VA. – Fenton, SE. – Flaws, JA. – Nadal, A. – Prins, GS. –Toppari, J. –Zoeller, RT. (2015):* EDC-2: The Endocrine Society's Second Scientific Statement on Endocrine-Disrupting Chemicals, *Endocrine Reviews*, 36, (6) E1–E150. <https://doi.org/10.1210/er.2015-1010>.
- Guan, M. – Roddick, JG. (1988):* Comparison of the Effects of Epibrassinolide and Steroidal Estrogens on Adventitious Root Growth and Early Shoot Development in Mung Bean Cuttings. *Physiologia Plantarum* 73, (3) 426–431. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1988.tb00621.x>.
- Gubó E. – Kiss-Szarvák I. – Erdenebaatar M. – Gubó R. – Horváth B. – Szakál P. – Plutzer J. (2021):* Ecotoxicological investigations of milking cow slurry and changes of oestrogenic compounds in the solid and liquid phase. Nyomtatás alatt, 2021 Energy ecology and environment.
- Hanselman, TA. – Graetz, DA. – Wilkie, AC. (2003):* Manure-borne estrogens as potential environmental contaminants: a review. *Environ Sci Technol.* 37, (24) 5471-5478. doi: 10.1021/es034410+. PMID: 14717153.
- Hotchkiss, AK. – Rider, CV. – Blystone, CR. – Wilson, VS. – Hartig, PC. – Ankley, GT. – Foster, PM. – Gray, CL. – Gray, LE. (2008):* Fifteen Years after “Wingspread” – Environmental Endocrine Disrupters and Human and Wildlife Health: Where We are Today and Where We Need to Go, *Toxicological Sciences*, 105, (2) 235–259. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfn030>
- Imai, S. – Shiraishi, A. – Gamo, K. – Watanabe, I. – Okuhata, H. – Miyasaka, H. – Ikeda, K. – Bamba, T. – Hirata, K. (2007):* Removal of phenolic endocrine disruptors by *Portulaca oleracea*. *J Biosci Bioeng.* 103, (5) 420-426. doi: 10.1263/jbb.103.420. PMID: 17609156.

- Janeczko, A. – Skoczowski, A. (2005):* Mammalian sex hormones in plants. *Folia Histochem Cytobiol.* 43, (2) 71-79. PMID: 16044944.
- Kapuvári OM. (2013):* A sertéslelepi szennyvizek, hígtrágyák tisztításának vizsgálata, Szakdolgozat, Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- Kismányoki T. (1994):* Trágyázás. In.: Iványi et. al.: Növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest; p.53-57., 65-68.
- Kiyama, R. – Wada-Kiyama, Y. (2015):* Estrogenic endocrine disruptors: Molecular mechanisms of action. *Environ Int.* 83, 11-40. doi: 10.1016/j.envint.2015.05.012 PMID: 26073844.
- Kocsis I. (2011):* Hígtrágya és szennyvíziszap kezelés, Szent István Egyetem, Budapest.
- Laegdsmand, M. – Andersen, H. – Jacobsen, OH. – Halling-Sørensen, B. (2009):* Transport and fate of estrogenic hormones in slurry-treated soil monoliths. *J Environ Qual.* 38, (3) 955-964. doi: 10.2134/jeq2007.0569. PMID: 19329684.
- Matus, L. – Schmidt, R. – Lantos, Zs. – Szakál, P. – Szakál, T. (2021):* Impact of soil treatment with alkaline zinc carbonate on the quantity and quality of maize (*Zea mays* L.) yield. *Drc Sustainable Future: Journal of Environment Agriculture And Energy* 2, (2) 132-140.
- Lu, J. – Wu, J. – Stoffella, PJ. – Wilson, PC. (2013):* Analysis of bisphenol A, nonylphenol, and natural estrogens in vegetables and fruits using gas chromatography-tandem mass spectrometry. *J Agric Food Chem.* 61, (1) 84-89. doi: 10.1021/jf304971k. PMID: 23215552.
- Mhaouty-Kodja, S. – Naulé, L. – Capela, D. (2018):* Sexual Behavior: From Hormonal Regulation to Endocrine Disruption. *Neuroendocrinology.* 107, (4) 400-416. doi: 10.1159/000494558. PMID: 30326485.
- Mina, O. – Gall, HE. – Saporito, LS. – Kleinman, PJ. (2017):* Estrogen Transport in Surface Runoff from Agricultural Fields Treated with Two Application Methods of Dairy Manure. *J. Environ. Qual.* (45) 2007-2015. <https://doi.org/10.2134/jeq2016.05.0173>
- Padmanabhan, V. – Song, W. – Puttabyatappa, M. – Perturbatio, P. (2021):* Impact of Endocrine-Disrupting Chemicals, *Endocrine Reviews,* 42, (3) 295–353. <https://doi.org/10.1210/endrev/bnaa035>.
- Petersen, HH. – Enemark, HL. – Olsen, A. – Amin, MG. – Dalsgaard A. (2012):* Transport of *Cryptosporidium parvum* oocysts in soil columns following applications of raw and

separated liquid slurries. *Appl Environ Microbiol.* 78, (17) 5994-6000. doi:10.1128/AEM.07829-11.

*Pocock, T. – Falk, S.* (2014): Negative impact on growth and photosynthesis in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii* in the presence of the estrogen 17 $\alpha$ -ethynylestradiol. *PLoS One.* 9, (10) e109289. doi: 10.1371/journal.pone.0109289. PMID: 25310092; PMCID: PMC4195650.

*Pordán-Háber Kocsisné D.* (2021): Pseudomonas és Bacillus törzsekkel kezelt és kezeletlen hígtrágya összehasonlító ökotoxikológiai vizsgálata, TDK dolgozat, Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Víz és Környezettudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

*Rechsteiner, D. – Schrade, S. – Zähler, M. – Müller, M. – Hollender, J. – Bucheli, TD.* (2020): Occurrence and Fate of Natural Estrogens in Swiss Cattle and Pig Slurry. *J Agric Food Chem.* 68, (20) 5545-5554. doi: 10.1021/acs.jafc.0c00858. PMID: 32364724.

*Sargis, RM. – Simmons, RA.* (2019): Environmental neglect: endocrine disruptors as underappreciated but potentially modifiable diabetes risk factors. *Diabetologia.* 62, (10) 1811-1822. doi: 10.1007/s00125-019-4940-z. PMID: 31451869; PMCID: PMC7462102.

*Shi, W. – Wang, L. – Rousseau, DP. – Lens, PN.* (2010): Removal of estrone, 17 $\alpha$ -ethynylestradiol, and 17 $\beta$ -estradiol in algae and duckweed-based wastewater treatment systems. *Environ Sci Pollut Res Int.* 17, (4) 824-833. doi: 10.1007/s11356-010-0301-7. PMID: 20213308.

*Szarka A.* (2008): Tápanyagutánpótlás. A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának fejlesztése” keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet 1085 Budapest, Baross u. 52. Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063. Felelős kiadó: Nagy László főigazgató.

*United States Environmental Protection Agency. Endocrine Disruption.* (2015): Updated June 24, 2019. Accessed September 24, 2021. <http://www.epa.gov/endocrine-disruption>.

*Vermes L.* (2005): Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. ISBN 963-286-153-1

WHO (2021): <https://www.euro.who.int/en/home>

*Wei, H. – Yan-xia, L. – Ming, Y. – Wei, L.* (2011): Presence and determination of manure-borne estrogens from dairy and beef cattle feeding operations in northeast China. *Bull*

Environ Contam Toxicol. 86, (5) 465-469. doi: 10.1007/s00128-011-0247-6. PMID: 21437787.

*A szerző levélcíme - Address of the author:*

PLUTZER JUDIT

Nemzeti Népegészségügyi Központ, Közegészségügyi Főosztály

1097 Budapest, Albert Flórián út 2-6.

E mail: plujud@yahoo.com



## RÉZ ÉS CINK KEZELÉSEK HATÁSA AZ ŐSZI BÚZA HOZAMÁRA, GAZDASÁGI ELEMZÉS

CSATAI RÓZSA - SZÜLE BÁLINT

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság – és Élelmiszer-tudományi Kar,  
Víz - és Környezettudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

### ÖSSZEFOGLALÁS

A búza hazánk egyik legfontosabb növénye, termesztését gazdasági tevékenységként a "legkisebb ráfordítással legnagyobb haszon" elvének megfelelően kell végezni. A megfelelő minőségű és mennyiségű hozam eléréshez a talaj tápanyagtartalmát biztosítani kell, ami a hiányzó mikroelemek visszapótlását is jelenti. Ennek lehetőségét adja a réz- és a cinktartalmú műtrágyák bokrosodáskori és virágzáskori használata. Ezt követően részletes üzemgazdasági vizsgálatokkal kell áttekinteni ezek hatását a búzatermesztés eredmény-tényezőire: a hozam mennyiségére és ennek pénzügyi vonatkozásaira. Az elemzések alapján javasolható a réz valamint a cink mikroelemtrágyák használata és meghatározható a legnagyobb bevételt illetve nyereséget adó alkalmazott anyag, dózisanagyság és fenológiai fázis – ez segíti a termelőt az optimális döntés meghozatalában.

**Kulcsszavak:** lombtrágya, őszi búza, gazdasági elemzés

### BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

#### 1. *Búza termesztése Magyarországon*

A búza az emberiség egyik legrégebben termesztett, egyik legfontosabb, jó alkalmazkodóképességű gabona növénye. A búza élelmiszerkénti felhasználása széles körű, főleg őrleményei formájában történik.

A legelterjedtebb közönséges búza valószínűleg Délnyugat-Ázsiában jött létre és onnan terjedt el. A Kárpát-medencébe a honfoglaló magyarság már kiterjedt földművelési ismeretekkel érkezett, ősi magyar búzafajtáink az alakor, tönke és a tönköly. A búza nemesítése Magyarországon az 1860-as évektől folyik.

Napjainkban a közönséges búza vetésterülete 245-250 millió hektár a világon, amelyből Magyarország része 1,0-1,1millió hektár. A búza termésátlag a hazai termelőknel általában 5 tonna körüli hektáranként, de nálunk is előfordul 10t/ha is. Magyarország természeti adottságai között magas sikértartalmú, extra minőségű búzát tudunk termelni – az értékesítési árban viszont meg kell térülnie a termelési költségeknek.

Magyarországon 5,38 millió tonna búzát takarítottak be 2019-ben a FAO adatai szerint. A betakarított búza éves mennyisége ingadozik az időjárástól függően: az 1960-as évek 2 millió tonnájától az 1980-as évek végének 7 millió tonnájáig növekvő trend szerinti, az utóbbi időben hazánkban 5 millió és 5,6 millió tonna közötti.

A búza ára a szocialista Magyarországon központilag meghatározott volt. A magyar gazdaság 1990. év óta ténylegesen a világpiac része és kis mérete miatt a nemzetközi gabonapiac legfontosabb szereplői és az ottani búza árak befolyásolják a magyar árakat. Ez 2019-ben 170\$ és 230\$ közötti, a magyar búza felvásárlási ára 2019-ben 50eFt körüli árról év végére kb. 60eFt-ra növekedett, de a tőzsdei ár itt is ingadozásokat mutatott (KSH és BÉT honlap adatai szerint).

Magyarország nyitott gazdaság, ezért a magyar termelőknek úgy kell búzát termeszteni, hogy a külső tényezők által meghatározott áron is jövedelmezően tegyék ezt. Ehhez szükséges a hozamok növelése, amiben segítséget nyújt, ha arányaiban kevés ráfordítást igénylő tényezőt is – mint a mikroelemekkel történő kezelés – igénybe vesznek.

## **ANYAG ÉS MÓDSZER**

Mivel a hazánkban termesztett egyik legjelentősebb növény a búza, ezért a magas hozam és a jó minőségű termék előállításának alapfeltétele a harmonikus növénytaplálás *Szakál* (2021). Az intenzíven művelt talaj minőségének javításához a szerves trágyázás nem elegendő, műtrágyázással hazánkban jellemzően csak a három legfontosabb tápelem került pótlásra. A terméseredmények és a termények minőségi paraméter-értékeinek növelése érdekében a kivont mikroelemek visszapótlási módszereinek kidolgozása is szükséges – elsősorban a réz és cink –, melyek pozitív hatásait a 2000-es évektől folyó



kutatások megalapozták *Giczi et al. (2020)*, *Szakál (2018)*. A kísérletek során réz, valamint cink mikroelem trágyák hatásának vizsgálatára került sor három éven át az őszi búza hozamára és meghatározásra került a legjobb mikroelem tartalmú anyag, az optimális kijuttatási idő. A kísérleteink során a réznek és a cinknek különböző vegyületformáit használták fel a kezelések során *Szakál et al. (2021)*, *Szakál et al. (2012)*. A réz kezelések hatásosságát a réz fungicid hatása is javítja *Giczi et al. (2021)*. A kezelés hatásosságát varianciaanalízissel lehetett bizonyítani. Az optimális kezelésmennyiség meghatározása is megtörtént, amivel sikerült bebizonyítani a Cu és Zn mikroelemek pozitív hatását a hozamra és ez megadta a leginkább hatékony vegyületet. Az elemzések során figyelmet kellett fordítani a minőségi javulásra is: siker, nyersfehérje, zelenyszám, keményítő tartalom vizsgálatára is sor került. A minőségi javulásból eredő haszon nehezen számszerűsíthető az egyébként is jó minőségű búza esetén, ezért a mikroelemek pozitív hatását bemutató elemzésnél ez elfogadottnak tekinthető. A termelőnek nem elegendő a jó minőséget és a nagy mennyiséget elérni, a gazdálkodónak szükséges megfelelő nyereséget is realizálni, ami a jövedelmező gazdálkodáshoz szükséges.

A vizsgálati módszer annak a fő szempontnak a figyelembevételével a szerző által kialakított, hogy agrárszakemberek számára áttekinthető, egyszerűen használható legyen. Szakirodalomként az oktatási-kutatási tapasztalatok alapján a vizsgálathoz szükséges alapvető tudást tartalmazó könyveket jelöltem meg: statisztikából *Szűcs (2002)*, közgazdaságtanból *Samuelson – Nordhaus (1987)*, mezőgazdasági üzemtanból *Steinhaus – Langbehn – Peters (1984)*, az ezekre épülő későbbi kiadott széleskörű ismereteket tartalmazó sok irodalom helyett. Az adatok kétféle forrásból származnak: a kísérleti alapadatok Prof. Dr. Szakál Pál által vezetett kutatásokból, a többi adat a KSH és az AKII honlapjáról származnak.

A vizsgálat menetét a következőképpen határoztam meg, amellyel kimutatható a mikroelem-trágyák hasznossága a búza termés hozamára:

- korrelációs számítással bizonyítható a kapcsolat a kezelés és a hozam között
- varianciaanalízissel igazolható, hogy melyik dózis hatékony
- a csökkenő hozadék gazdasági alapvetésének megfelelő másodfokú termelési függvény regresszióval történő meghatározása után a maximális hozamot adó dózis kiszámítható

- az árbevétel és a költségek megadásával a bevételt és a nyereséget leíró függvény az előzőhöz hasonlóan meghatározható, amiből kiszámolható a maximális hozam illetve a maximális nyereség.

Az elemzések során végzett számítások matematikai megfelelőségének ellenőrzése után a módszer alkalmazható. Mindezek a mezőgazdasági termelő számára áttekinthető, egyszerűen elérhető módon az Excel 7.0 alkalmazásával kivitelezhetők, nem szükséges szakspecifikus programcsomag alkalmazása. A grafikus ábrák segítik az áttekinthetőséget.

Gyakorlati hasznosságát mutatja, hogy:

- megadja a mikroelem műtrágya optimális dózisainak nagyságát, ezzel segíti ezek előállítását
- a termelőnek lehetőséget ad az alkalmazott anyag, dózis és a fenológiai fázis eldöntésére a saját prioritásainak figyelembevételével.

A réz és a cink mikroelem hozamra gyakorolt mennyiségi és pénzügyi hasznossága egy kísérlet elemzésén keresztül kerül bemutatásra.

## **2. Búza hozamváltozása réz és cink mikroelem kezelés hatására**

### *2.1. Jellemző értékek meghatározása a mért adatokból*

A gazdasági vizsgálatok lényege az adatok gyűjtése és az ezeken végzett számítások. A felhasznált adatok a kutatáshoz tartozó „saját adatgyűjtés”, illetve a táblázatok és ábrák adatai „saját számítások” eredményeit tartalmazzák, ezért nem került a forrás feltüntetésre.

Az adatok a statisztikai kiértékelése a következő módszerekkel történik

- külön kell elemezni a réz és cink kezeléseket hatását
- mindkettő elem esetén a két fenológiai fázisban, azaz bokrosodáskor és virágzáskor is

A kísérlet során mért adatok táblázatba rendezése után (1. és 2. táblázat) a szemléletesség miatt grafikusán célszerű ábrázolni. Ki kell számolni a sokaság jellemző értékeit, melyek: a számtani átlag (továbbiakban: átlag), az adatok szórása.

1.táblázat: Réz kezelés adatai

Table 1: Copper treatment data

Rézkezelés	dózis kg/ha	kontroll				Cu 0,1				Cu 0,3				Cu 0,5				Cu 1,0				Cu 2,0			
Bokrosodás	hozam t/ha	4,9	5,3	4,8	5,6	4,8	5,7	5,8	4,7	4,9	5,9	6,1	5,1	5,3	5,9	4,9	6,1	5,7	6,2	5,9	6,3	6,2	5,7	5,9	6,8
	átlag				5,2				5,3				5,5				5,6				6,0				6,2
	szórás				0,32				0,50				0,51				0,48				0,24				0,42
Virágzás	hozam t/ha	4,9	5,3	4,8	5,6	5,1	5,0	4,6	5,5	5,4	4,9	5,7	5,9	6,1	5,8	6,4	6,3	6,1	5,8	6,2	5,4	6,2	5,1	5,4	5,9
	átlag				5,2				5,1				5,5				6,2				5,9				5,7
	szórás				0,32				0,32				0,38				0,23				0,31				0,43

Réznel az egyes kezelés-nagyságokhoz tartozó adatokból kiszámolt variációs koefficiens 10% alatti értéke mutatja, hogy a mért adatok kezelésként homogén sokaságot alkotnak. Így megállapítható, hogy a hozamokra az egyéb tényezők jelentősen eltérő hatást nem gyakoroltak, a kezeléskénti adatok jellemzésére a számtani átlag használható (1. táblázat).

Az alapadatok és a rézzel megegyező vizsgálatok cinknél a következő táblázatokban és ábrákban látható:

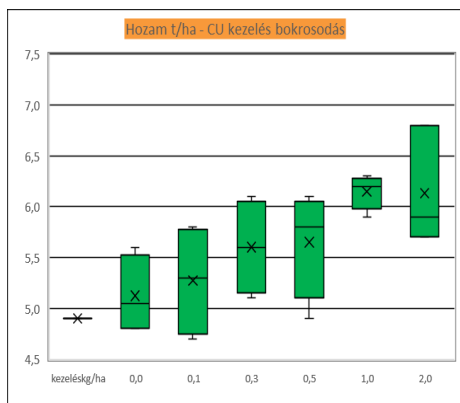
2.táblázat: Cink kezelés adatai

Table 2: Zinc treatment data

Cinkkezelés	dózis kg/ha	kontroll				Cu 0,1				Cu 0,3				Cu 0,5				Cu 1,0				Cu 2,0			
Bokrosodás	hozam t/ha	5,4	4,8	5,6	4,7	4,8	4,9	5,1	5,2	4,8	5,3	5,1	5,2	5,6	5,8	5,1	5,8	6,1	5,9	5,2	6,7	4,9	6,2	5,7	6,2
	átlag				5,1				5,0				5,1				5,6				6,0				5,8
	szórás				0,38				0,16				0,19				0,29				0,54				0,53
Virágzás	hozam t/ha	5,4	4,8	5,6	4,7	5,3	4,9	5,1	5,5	5,8	6,5	5,7	6,7	7,3	6,5	7,3	6,2	7,1	5,8	6,7	7,4	6,9	5,8	5,2	6,8
	átlag				5,1				5,2				6,2				6,8				6,8				6,2
	szórás				0,38				0,22				0,43				0,49				0,60				0,71

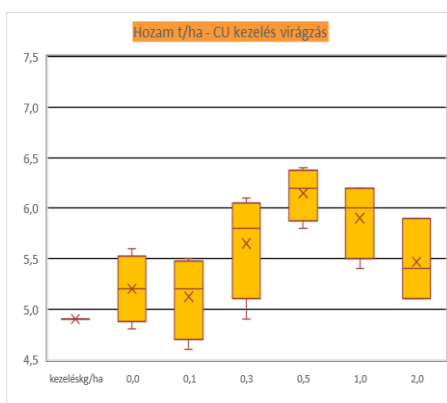
Cink hatóanyag esetén ugyanazok a megállapítások tehetők, mint réznél, így itt is a kezeléskénti adatok jellemzésére a számtani átlag használható. (2. táblázat)

Ezt támasztja alá a sodrófa diagram is, ahol látható, hogy a medián és az átlag között nincs lényeges különbség egyik esetben sem. (1., 2. és 3. és 4. ábra, jelölések: X átlag, – medián)



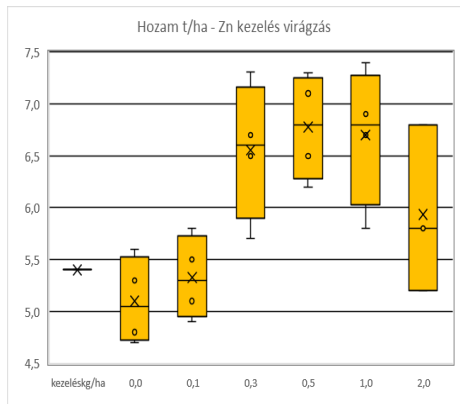
1. ábra: Réz kezelés bokrosodáskor

Figure 1: Copper treatment when bushing



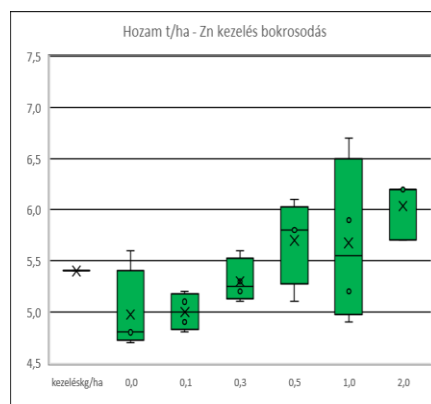
2. ábra: Réz kezelés virágzáskor

Figure 2: Copper treatment during flowering



3. ábra: Cink kezelés bokrosodáskor

Figure 3: Zinc treatment when bushing



4. ábra: Cink kezelés virágzáskor

Figure 4: Zinc treatment during flowerin

## 2.2. A kezelések optimális nagyságának meghatározása termelési függvények segítségével

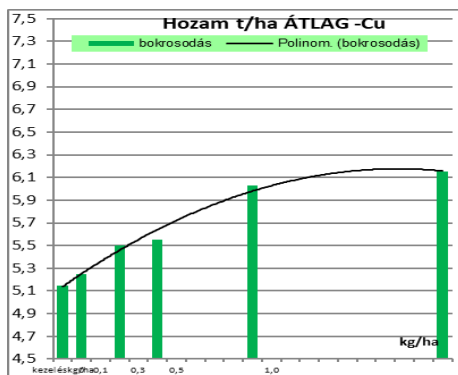
A termelési függvény általánosságban a felhasznált erőforrások és a velük előállítható termékmennyiség közötti kapcsolatot írja le, kizárólag fizikai egységekben mért összefüggéseket mutat be, ezért szokás a termelés magfüggvényének is nevezni. Mezőgazdasági alkalmazásában leggyakrabban a parciális termelési függvényeket használják, egyetlen termelési tényező hatását vizsgálva a hozamra. Ha valamelyik termelőeszköz termésmenvelő hatásának kimutatása a cél - ebben az esetben ez a réz- és a cink mikroelemtrágya hatása a búza hozamára -, akkor kizárólag ennek a termelőeszköznek a felhasználását változtatjuk, miközben a többi hozamképzést

befolyásoló tényező ráfordítását állandó szinten tartjuk. Így a termelési függvény  $y = f(x_1|x_2, \dots, x_n)$ , vagy röviden  $y = f(x_1) = f(x)$ .

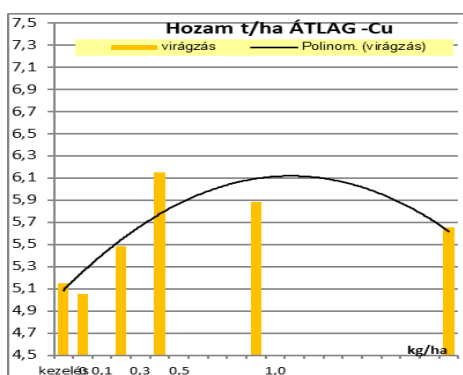
Esetünkben a réz és a cink mikroelemeket tartalmazó anyag különböző dózisnagyságának hatását szükséges nézni a mért átlagos hozam adatokra. Termelési függvényként regressziós görbét kell illeszteni, mivel ez mutatja a számszerű összefüggéseket az adatok között: a hatótényező egységnyi változásának hatását az eredményváltozóra. Minden esetben el kell végezni annak ellenőrzését, hogy valóban van-e kapcsolat a változók között, azaz korrelációs számítás kell végezni. A korrelációs mutatószám (abszolút)értéke minél közelebb van 1-hez, annál szorosabb az összefüggés a hatótényező és az eredményváltozó között. A kapcsolatszorosságot nemlineáris összefüggéseknél a korrelációs index mutatja:

$$I_r = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad \left( \begin{array}{l} \text{ahol } y \text{ eredményváltozó, } \hat{y} \text{ függvényérték,} \\ \bar{y} \text{ eredményváltozók átlaga} \end{array} \right)$$

Szakmai tapasztalatok alapján másodfokú függvény a termelési függvény, amelynek független változója a hatótényező: az egyes dózisdagok, a függő változó a mért fajlagos hozamok átlaga. Normális esetben érvényesül a csökkenő hatékonyság elve, azaz a nagyobb hatóanyagtartalom kevésbé „hatékony” és ez a hatás is csak egy darabig pozitív. A maximális hozam a függvény deriváltjának zérushelyén lesz (ezt a grafikus ábrázolás is mutatja: 5. és 6. ábra)



5. ábra: Réztartalmú kezelés bokrosodáskor  
 Figure 5: Copper-containing treatment when bushing



6. ábra: Réztartalmú kezelés virágzáskor  
 Figure 6: Copper treatment during flowering

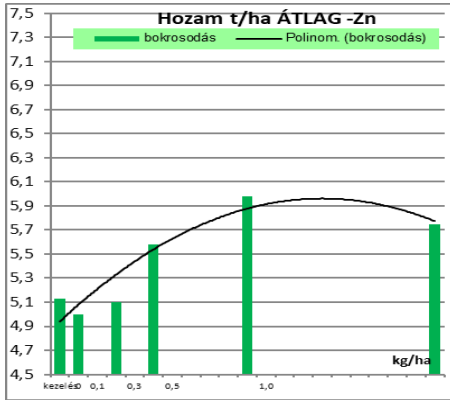
A függvényillesztés eredménye:

- réz-kezelés bokrosodáskor:  $y_{\text{Cubok}} = y = -0,74x^2 + 1,75x + 5,09$  ( $R^2=0,74$ )
- réz-kezelés virágzáskor:  $y_{\text{Cuvir}} = y = -0,33x^2 + 1,18x + 5,14$  ( $R^2=0,98$ )

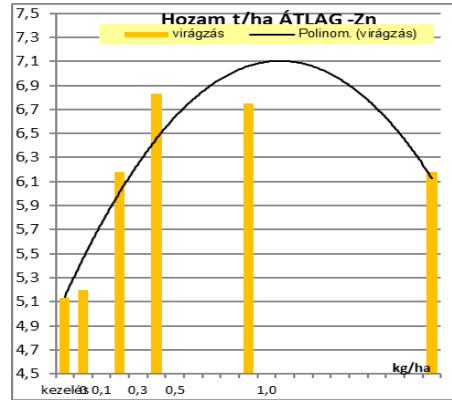
Értelmezés: A függvény képletében a konstans tag a kezelés nélküli összes adat átlaga, ezt növeli a kezelés egységének hatására az elsőfokú tag együtthatója és csökkenti a másodfokú tag együtthatója a dózis négyzetével. Az illeszkedést jellemző ( $R^2$ ) determinációs együttható megmutatja, hogy a független (x) változó mennyire határozza meg a függő (y) változót és értéke minél közelebb van 1-hez, annál jobban illeszkedik a regressziós függvény az adatokhoz.

A fenti képlet alapján a réz-kezelés bokrosodáskori termelési függvényénél  $I_r = 0,99$ , a virágzáskori termelési függvényénél  $I_r = 0,86$ , mindkettő szoros összefüggést mutat. A tényezők közötti szoros kapcsolat alapján megállapítható hogy a termelési függvény így meghatározott képlete jól írja le a kezelés és hozam összefüggését, vagyis a további elemzésekhez felhasználható, megbízható értékeléseket ad.

Ugyanezeket az elemzéseket elvégezve a cinktartalmú kezelésekre (7. és 8. ábra mutatja):



7. ábra: Cinktartalmú kezelés bokrosodáskor  
 Figure 7: Zinc-containing treatment when bushing



8. ábra: Cinktartalmú kezelés virágzáskor  
 Figure 8: Zinc-containing treatment in blooms

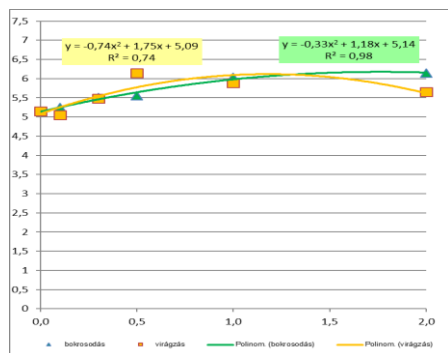
A függvényillesztést ugyanúgy kell végezni, mint réznél és az eredménye:

- cink-kezelés bokrosodáskor:  $y_{Zn_{bok}} = y = -0,52x^2 + 1,46x + 4,94$   
 $(R^2=0,88)$
- cink-kezelés virágzáskor:  $y_{Zn_{vir}} = y = -1,43x^2 + 3,35x + 5,14$   
 $(R^2=0,87)$

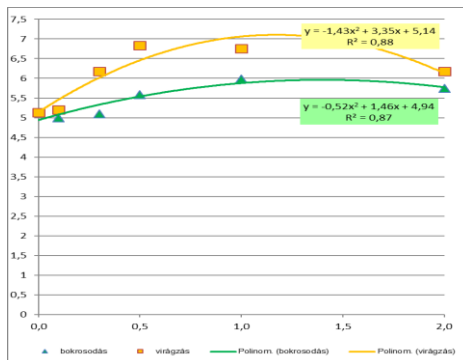
A kapcsolatszorosságot mutató korrelációs indexek  $I_r = 0,93$  bokrosodáskori és  $I_r = 0,94$  virágzáskori kezelésnél, azaz szoros az összefüggés a dózismennyiségek és a hozam mennyisége között.

### 2.3. A bokrosodáskori és virágzáskori kezelések összevetése

A búzatermesztésnél javasolható mikroelemes kezelés kiválasztásához össze kell hasonlítani a különböző dózisu kezeléseket kezelőanyagoként a bokrosodáskori és virágzáskori hozamra gyakorolt optimális hatás kimutatása érdekében. (9. és 10. ábra) Ezzel megállapítható, hogy melyik okozza a legnagyobb hozam-mennyiséget.



9. ábra: Hozamalakulás Cu hatóanyagnál  
 Figure 9: Yield formation for active substance Cu



10. ábra: Hozamalakulás Zn hatóanyagnál  
 Figure 10: Yield formation for the active substance Zn

Réz dózisoknál a két görbe közel azonosan alakul. A virágzáskori hozamokra illesztett parabola metszi a bokrosodáskorit (1,1 kg/ha dózissnál), a legkisebb dózishoz tartozó értéktől kezdve eddig felette, a metszéspont után alatta van. A termelési függvények deriválásával megkapjuk, hogy a maximális mennyiség eléréséhez bokrosodáskor az 1,79 kg/ha (6,04t/ha), virágzáskor 1,11 kg/ha (5,85t/ha) réz tartalmú kezelés szükséges. Megállapítható, hogy virágzáskor a hozam-maximum eléréséhez kevesebb mikroelem trágyára van szükség, amely gazdasági és környezetvédelmi szempontból is kedvezőbb. A vizsgált dózisok közül ezért (az 1,11-hez legközelebbi) 1 kg/ha-os réz dózissal történő virágzáskori lombtrágyázás javasolható a búza termény-mennyiségének növelése céljából.

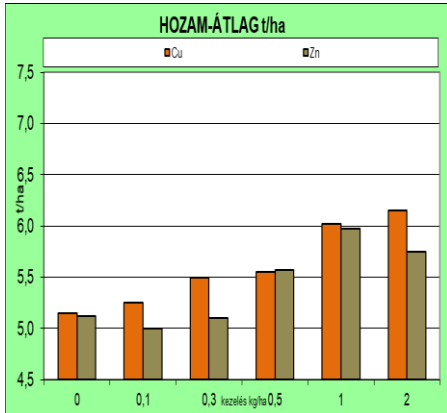
Cink dózisoknál a virágzáskori hozamokra illesztett parabola a legkisebb dózishoz tartozó értéktől kezdve a vizsgálati tartományban mindvégig a bokrosodáskori felett fut, azaz a termékek mennyiségét összevetve a virágzáskori kezeléseknél a termény mennyisége a kezelés hatására nagyobbak adódik.

A termelési függvények deriválásával megkapjuk, hogy a maximális mennyiség eléréséhez bokrosodáskor az 1,40kg/ha (7,03t/ha), virágzáskor 1,17kg/ha (5,94t/ha) cink tartalmú kezelés szükséges. Megállapítható, hogy virágzáskor a hozam-maximum eléréséhez kevesebb mikroelem trágyára van szükség. A vizsgált dózisok közül ezért (az 1,17-hez legközelebbi) 1,0 kg/ha-os cink dózissal történő virágzáskori lombtrágyázás javasolható a búza hozam-mennyiségének növelése érdekében.

#### 2.4. A réz és a cink hatóanyagú kezelésekre összevetése

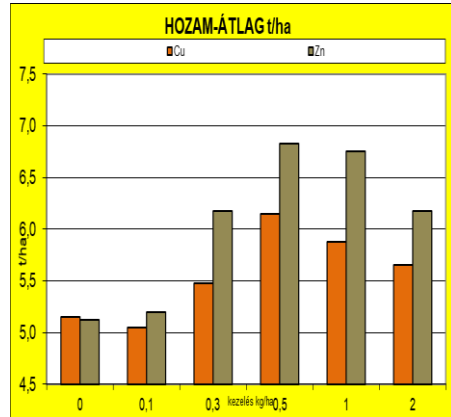


Az előzőek alapján mindkét hatóanyag esetén a virágzáskori kezelések a kedvezőbbek a hozam mennyiségének növeléséhez. Ugyanakkor egy termelő számára fontos, hogy gazdálkodási döntése előtt az alkalmazható lehetőségeket áttekinthesse. Ezért egyszerűen ábrákkal (11. és 12. ábra) szemléltetve áttekinthető a kétféle hatóanyag hozamra gyakorolt hatása.



11. ábra: Átlaghozamok bokrosodáskori kezelések esetén

Figure 11: Average yields for bushing treatments



12. ábra: Átlaghozamok virágzáskori kezelések esetén

Figure 12: Average returns for flowering treatments

Az ábrák szintén azt erősítik meg, hogy a termesztésnél csak a hozammennyiséget tekintve a virágzáskori kezelések kedvezőbbek, mint a bokrosodáskoriak.

### 3. Hozam értékének változása – üzemgazdasági számítások

A búzatermesztés területén kedvező talaj- és éghajlati adottságok mellett a szakmai tapasztalatok, termesztési-nemesítési hagyományok, korszerű technikák alkalmazása a jellemző Magyarországon. A termelésben relatíve alacsony költség szinten tudunk egységnyi terméket (búzát) előállítani, ami természetes versenyképességünket adja.

A búzatermesztés ökonómiai áttekintéséhez a ráfordítások és hozamok mennyiségi számbavételén túl ezek pénzügyi vonzatait is ki kell számolni, hiszen alapvető cél, hogy a termesztés megfelelő jövedelmet biztosítson.

Ráfordítások értéke – költségek

A gazdaságos termesztést leginkább alakító tényezők: termelési cél, termésátlag, értékesítési ár, gazdasági ösztönzők, technológia, ráfordítások színvonala és hatékonysága.

A búzatermesztés költségmenekénti vizsgálata a számviteli nyilvántartás rendszere miatt a legelterjedtebb, a részletes költségvizsgálat alapját jelenti.

Az összes költségen belül az anyagköltség a legnagyobb (majdnem fele), ezen belül a vetőmag, a növényvédőszer (kb. 10-10%), és a műtrágya (kb. 20%) költsége a meghatározó. A másik legjelentősebb költség a segédüzemi költség (kb. egyharmad rész). A közvetlen költségek az egyébekkel együtt az összköltség közel 90%-át teszik ki, a fennmaradó rész az általános költség. A ráfordítások növelésével nő a költség, de bizonyos határig a hozam is, és ezen keresztül a termelési érték is. A magas genetikai és gazdasági értékű fajták potenciális termőképességét a tápanyagellátással és tápanyag-visszapótlással lehet kihasználni, mert alacsony hozam esetén a jövedelem kicsi lesz. A korszerű agrotechnika alkalmazása az agrárrolló nyílásával lassulhat, melyet a támogatások kompenzálhatnak.

### *Árak és jövedelmek*

A termékeket alapvetően értékesítés céljából állítják elő, de az elérhető árat több tényező befolyásolja. Az értékesítési ár nagysága elsősorban a piaci viszonyoktól függ, tiszta piaci verseny esetén leginkább a kereslet-kínálat alakulása befolyásolja, de a termék vagy szolgáltatás jellege, a vállalkozás piaci helyzete, mérete, illetve az ágazat nemzetgazdasági és stratégiai megítélése, a nemzetközi piaci helyzet alapján változhat.

A termelési érték üzemi szinten a hozammennyiség és az egységár szorzata. A mezőgazdasági termékeknél szokásos egységár többféle lehet: a piaci ár mellett szabályozott árak is lehetnek.

### *Jövedelem = Termelési érték – Termelési költség*

A pozitív jövedelem a nyereség vagy profit, a negatív jövedelem veszteséget jelent. Ha egy mezőgazdasági üzem összes teljesítményét vizsgáljuk, akkor többféle jövedelem-mutatót is számolhatunk: nettó, bruttó, fajlagos. A racionális vállalkozó legfőbb célja jövedelmének maximalizálása. Ezt két módon érheti el: vagy növeli a termelési értéket, vagy csökkenti a termelési költségeket – egyidejűleg mindkettőt megtenni általában irreális. A költségek csökkentése a gyakorlatban kismértékben lehetséges, mert megfelelő

jövedelmet adó jó minőségi hozammennyiség eléréséhez a ráfordítások csökkentése technikailag kevésbé megvalósítható, esetleg a piaci pozíciót is veszélyeztet. Ezért leggyakrabban a ráfordítások, azaz a termelési költségek olyan szintű emelésével lehet jövedelemnövekedést elérni, amely emelés mellett a termelési érték a költségnövekedést meghaladó mértékben növekszik.

A mikroelemes kezelések nyereség-növelő hatásának kimutatásához kiindulási feltétel volt, hogy a búzatermesztés az adott területen gazdaságosan végezhető. A búza minősége kezelések nélkül is nagyon jó volt, ezért ebben a gazdasági elemzésben ez nem került részletezésre.

A búzatermesztő gazdálkodást végzők számára is legfontosabb cél a jövedelem növelése. Ehhez termelési ráfordításait és ezek eredményét pénzügyileg is számszerűsíteni kell, aminek alapján racionális gazdasági döntést tudnak hozni. A döntéseknél a gazdasági előny a termelési érték növekedésével és az ehhez felhasznált ráfordításokkal mérhető.

### *3.1. A kezelések hatásának pénzügyi elemzése*

A vizsgálat fő célja a mikroelem-trágyás kezelések, mint ráfordítások hatását kimutatni a hozamra pénzértékben, azaz költség és árbevétel elemzést kell végezni. A cél elérése érdekében csak a legfontosabbakra kell koncentrálni, ezért egyszerűsítéseket kell alkalmazni: nem egy adott üzemre vonatkoznak az adatok, hanem egy az országban átlagos búzatermelőre, a fajlagos (1 ha-ra vetített) pénzzadatokkal. Konkrét adatként szerepel a 2019. év, a réz és cink mikroelemek mennyisége, ezek ára, valamint az általuk elért hozam.

A továbbiakban a számításoknál

- termelési érték a hozam és a felvásárlási ár szorzata: ár a 2019. év KSH adata ezer forintos pontossággal (50eFt/t),
- költség a termelési költségek összessége: alapeset a kontroll, azaz kezelés nélküli terület termelési költsége (közelítőleg a bevétel 85%-a), amihez hozzáadódik a kezelések miatti költség: a mikroelem trágyával való kezelés költsége megnövelve a hozamnövekedésből adódó egyéb költségekkel (ez kb. + 3%).

A kezelés költsége mikroelem trágyánként az anyagköltség 1 kg/ha dózisonál réz esetén 1,260 eFt/ha, cink esetén 2,240 eFt/ha és a kezelés elvégzésének költsége. A

bokrosodáskori kezelésnél nincs külön költség, mert az ilyenkor esedékes növényvédelmi munkálatok során a többi vegyszerrel együtt kijuttathatók az anyagok, külön költség csak a virágzáskori kezelésnél jelentkezik, ami 5 eFt/ha-ral megnöveli a dózisonkénti kezelési költséget.

Az így számított bevételeket, költségeket, ezek különbségeként kapott nyereségeket a 3., 4. és 5., 6. táblázatok mutatják. A részletes elemzéseket a bevétel és a nyereség hatóanyag-mennyiséggel való összefüggését mutató függvények (13., 14. és 15., 16. ábrák) segítségével lehet elvégezni, ami megadja az optimális hatóanyagfelhasználást is. A módszer ugyanaz, mint a termelési függvényeknél: az adatokhoz legjobban illeszkedő regressziós függvény meghatározása után deriválással a maximális értéket megadó kezelismennyiség megkapható. Előnyös, hogy a függvény grafikus ábrázolásával szemléletessé lehet tenni a vizsgált értékeket és eredményeket.

3. táblázat: Réz – bokrosodáskor

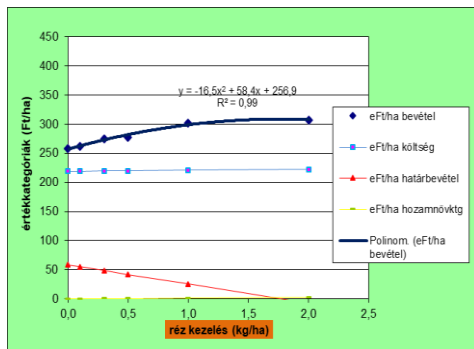
Table 3: Copper - when bushing

Dózis (kg/ha)	eFt/ha	eFt/ha	eFt/ha
	bevétel	költség	nyereség
Cu 0,0	257,5	218,9	38,6
Cu 0,1	262,5	219,1	43,4
Cu 0,3	275,0	219,7	55,3
Cu 0,5	277,5	220,0	57,5
Cu 1,0	301,3	221,3	80,0
Cu 2,0	307,5	222,7	84,8

4. táblázat: Réz – virágzáskor

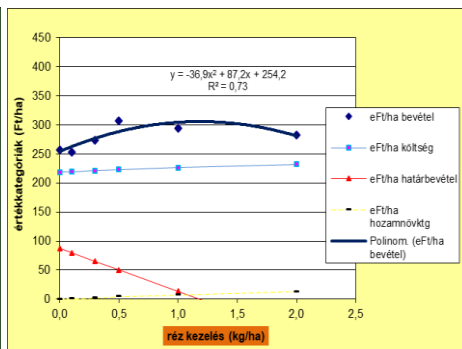
Table 4: Copper - during flowering

Dózis (kg/ha)	eFt/ha	eFt/ha	eFt/ha
	bevétel	költség	nyereség
Cu 0,0	257,5	218,9	38,6
Cu 0,1	252,5	219,4	33,1
Cu 0,3	273,8	221,2	52,6
Cu 0,5	307,5	223,3	84,2
Cu 1,0	293,8	226,1	67,7
Cu 2,0	282,5	232,0	50,5



13. ábra: Réz – bokrosodáskor

Figure 13: Copper - when bushing



14. ábra: Réz – virágzáskor

Figure 14: Copper - during flowering

A réz mikroelemes kezelés bokrosodáskor a legnagyobb bevételt az 1,77-es dózissal éri el, itt a bevételmaximum 308,6 ezer forint tonnánként. Gyakorlati megvalósításnál ez

a 2 kg/ha dózísú réztartalmú trágya használatát jelent. Ekkor a nyereség a táblázat alapján 84,2 eFt/t lesz. Ezzel a kezeletlen termesztéshez képest bevétele 20%-os, nyeresége több, mint kétszeres növekedést ér el.

A réz mikroelemes kezelés virágzaskor a legnagyobb bevételt az 1,18-as dózísnál adja, itt a bevételmaximum 305,7 ezer forint tonnánként. Gyakorlati megvalósításnál ez az 1 kg/ha dózísú réztartalmú trágya használatát jelent. Ekkor a nyereség a táblázat alapján 67,7 eFt/t lesz, ami alacsonyabb a 0,5 kg/ha kezelésnél levő 84,2 eFt/t nyereségnél. Ez már megköveteli a termelő döntését: a termelési érték azaz a hozam, vagy a nyereségnövelés a prioritása. Az 1 kg/ha dózísú kezelésnél a bevétele 14%-kal, nyeresége 18%-kal nő. A 0,5 kg/ha-os kezelésnél ugyanezek az arányok 19% ill. 129% növekedés.

Ez rávilágít a pénzügyi döntéshozatal sarkalatos problémájára: az időtényező fontos szerepére. A termelőnek a jelenben kell meghozni a jövőt meghatározó döntést, ami a növénytermesztésben 1 éves elhatározódást jelent. Ha a nyereség növelése mellett dönt, akkor ez inkább a biztos jövedelem nagyságra irányul. Ha árbevételét maximalizálja, ami a hozam növelése melletti döntés, akkor a több termékkel a későbbi árnövekedést is könnyebben kihasználhatja. Ezen szempontok figyelembe vételével javasolható az 1 kg/ha dózísú kezelés.

#### 5. táblázat: Cink – bokrosodáskor

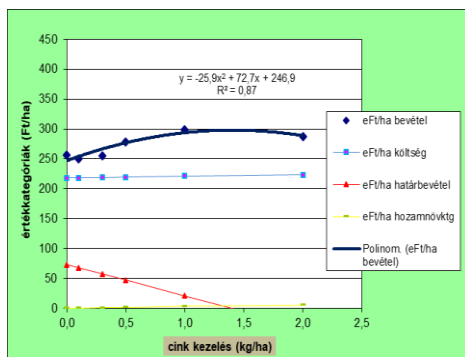
Table 5: Zinc - when bushing

Dózis (kg/ha)	eFt/ha	eFt/ha	eFt/ha
	bevétel	költség	nyereség
Zn 0,0	256,3	217,9	38,4
Zn 0,1	250,0	217,9	32,1
Zn 0,3	255,0	218,5	36,5
Zn 0,5	278,8	219,5	59,2
Zn 1,0	298,8	221,2	77,6
Zn 2,0	287,5	223,1	64,4

#### 6. táblázat: Cink – virágzaskor

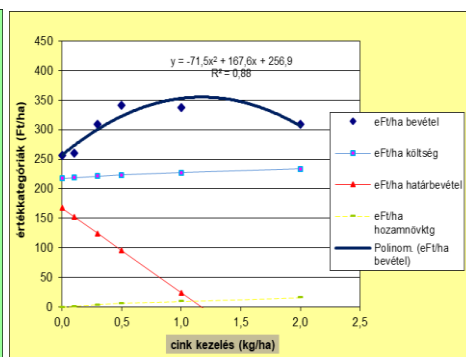
Table 6: Zinc - when flowering

Dózis (kg/ha)	eFt/ha	eFt/ha	eFt/ha
	bevétel	költség	nyereség
Zn 0,0	256,3	217,9	38,4
Zn 0,1	260,0	218,7	41,3
Zn 0,3	308,8	221,4	87,4
Zn 0,5	341,4	223,6	117,7
Zn 1,0	337,5	227,2	110,3
Zn 2,0	308,8	233,7	75,1



15. ábra: Cink – bokrosodáskor

Figure 15: Zinc - when bushing



16. ábra: Cink – virágzáskor

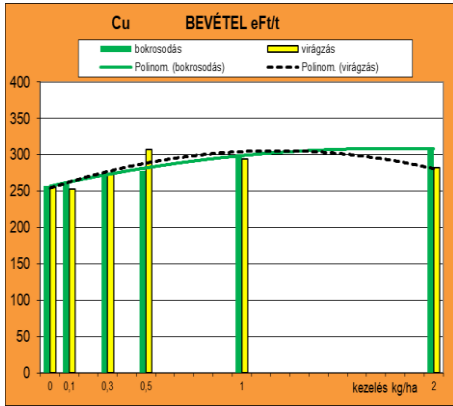
Figure 16: Zinc - when flowering

A cink mikroelemes kezelés bokrosodáskor a legnagyobb bevételt az 1,40-es dózissal éri el, itt a bevételmaximum 297,9 ezer forint tonnánként. Az előzőekben leírt döntéshozatali megfontolások alapján a gyakorlatban javasolható az 1 kg/ha dózisú cinktartalmú trágya használata. Ekkor a nyereség a táblázat alapján 77,6 eFt/t lesz. Ezzel a kezeletlen termesztéshez képest bevétele 16%-os, nyeresége kétszeres növekedést ér el.

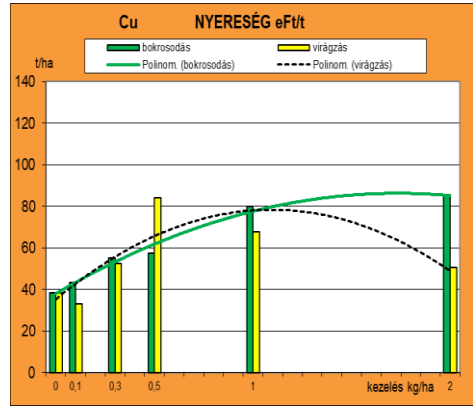
A cink mikroelemes kezelés virágzáskor a legnagyobb bevételt az 1,17-es dózissal éri el, itt a bevételmaximum 354,6 ezer forint tonnánként. A gyakorlatban ez 1 kg/ha dózisú cinktartalmú trágya használatát jelenti, a nyereség a táblázat alapján 110,3 eFt/t lesz, ami nagyon kicsit tér el az elérhető maximális nyereségtől, ezért ez jó választás. Ezzel a kezeletlen termesztéshez képest bevétele 30%-os, nyeresége majdnem háromszoros növekedést ér el.

### 3.2. A bokrosodáskori és virágzáskori kezelések összevetése mikroelemenként

A bokrosodáskori és virágzáskori kezelések eredményeit kell összevetni: a bevételnél, ami a termelés mennyiségi eredményét is mutatja és a nyereségnél, ami a jövedelmet adja. A bevételek és a nyereségek értékeinek közelítésére a másodfokú regressziós függvények alkalmasak (illeszkedésük szoros az adatokhoz, amit  $R^2$  értékük mutat).



17. ábra: Rézkezelés hatása a bevételre  
 Figure 17: Impact of copper treatment on revenue

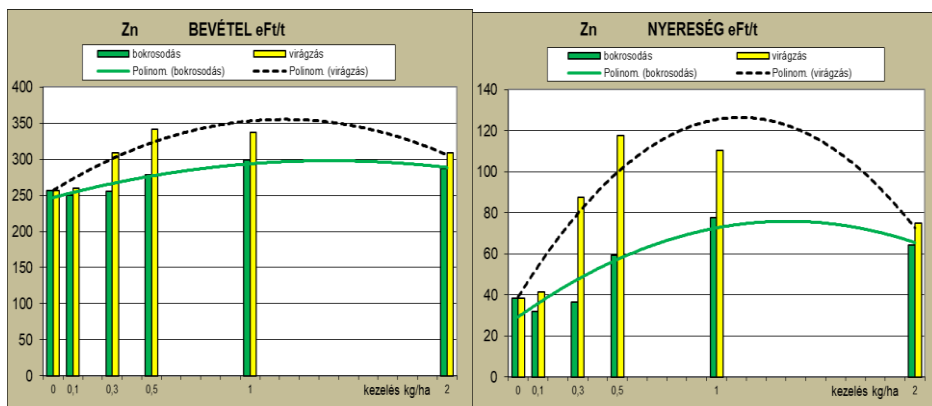


18. ábra: Rézkezelés hatása a nyereségre  
 Figure 18: Impact of copper treatment on profits

A grafikus ábrázolás (17., 18. és 19., 20. ábra) jól szemlélteti mindazt, amit az előző külön-külön elemzések adatainak összehasonlításából következik.

A bevételek alakulásából látható, hogy az eltérő fenológiai fázisban végzett kezelések közel hasonló eredményt mutatnak. Mindkét esetben az 1 - 2 kg/ha réz dózisú anyag a leginkább bevételnövelő hatású. A nyereséget ábrázoló két parabola a vizsgált tartomány elején közel azonos értéket vesz fel, a maximumértékek 80 eFt/t körüliek. A görbék közül a bokrosodáskori kezelést leíró fut meredekebben, ennél a nyereség maximuma a legnagyobb dózisú kezelésnél várható. A virágzáskori kezelésnél kisebb hatóanyagtartalomnál éri el a nyereség maximumát és ez egy plusz trágyázási műveletet is kíván.

Összességében megállapítható, hogy pénzügyileg lényeges különbség nincs a két fenológiai fázisban végzett kezelés hatása között, azaz a termelő döntése, hogy melyiket választja. A réz mikroelemes kezelés mindenképpen pozitív hatású a gazdálkodásra.



19. ábra: Cink kezelés hatása a bevételre

20. ábra: Cink kezelés hatása a nyereségre

Figure 19: Effect of zinc treatment on income

Figure 20: Zinc treatment effect on profits

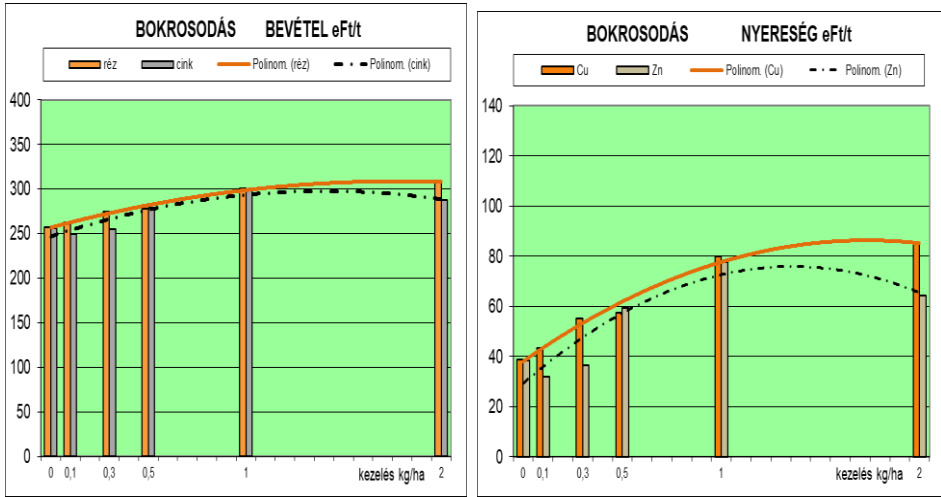
Mindkét esetben az 1 kg/ha-nál nagyobb cink hatóanyag a leginkább bevételnövelő hatású.

A grafikon alakulásából is látható, hogy a virágzáskori kezelések már kisebb dózisoknál is jobban növelik a bevételt, ezért ennek alkalmazása javasolható. A bokrosodáskori és virágzáskori kezelés közül ez utóbbi hozza a magasabb hasznot. A görbék közül a virágzáskori kezelést leíró fut meredekebben, tehát ennél lesz a nyereségek értéke hamarabb nagyobb, és a maximum érték is jelentősen több.

### 3.3. Réz és cink kezelések összevetése fenológiai fázisonként

A táblázatokban szereplő számított adatok grafikus ábrázolása szemléletesen mutatja az egyes mikroelemes kezelések hatását a bevételre és a nyereségre (21. és 22. ábra).

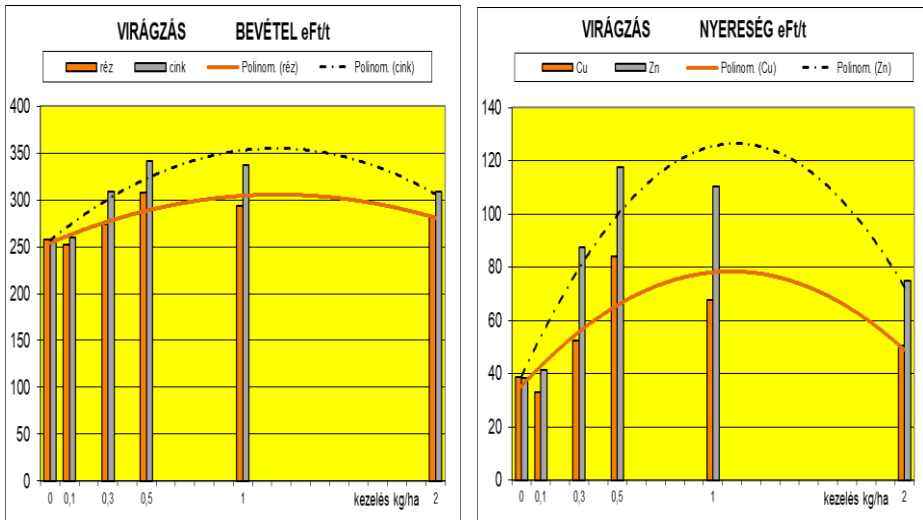




21. ábra: Réz és cink bokrosodáskori kezelések pénzügyi hatása

Figure 21: Financial impact of copper and zinc bushing treatments

Az ábrákból egyértelműen látszik, hogy bokrosodáskori kezeléskor szinte nincs eltérés a bevételben, míg a nyereség esetén a réz hatóanyag kedvezőbb hatása látható. A termelő számára az a racionális döntés, hogy nyereségnövelés céljából a réztartalmú anyag használatát válassza.



22. ábra: Réz és cink virágzáskori kezelések pénzügyi hatása

Figure 22: Financial impact of copper and zinc flowering treatments

A virágzaskori kezeléseknél már jelentősebb az eltérés a két anyag esetén. Mindkét pénzügyi eredménymutató cink-kezelés esetén nagyobb értékű, a növekedése erőteljes 1kg/ha dóziséig, utána is javít a kontrollhoz képest, de csökkenő jelleggel. A termelő számára ez azt jelenti, hogy virágzaskori kezelést cinktartalmú anyaggal célszerű végezni.

#### AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELÉSE

Réz és cink mikroelem trágya esetén a bokrosodáskor és a virágzaskor végzett kezeléseket során is 0,1; 0,3, 0,5; 1,0; és 2,0 kg/ha réz, valamint cink dózis került kijuttatásra és maradt kezeletlen kontrol terület. A 2000-es évtől végzett kutatások adatain végzett vizsgálataim varianciaanalízissel igazolták a kezeléseket hatékonyságát (a búzaminőség jellemzői is itt kerültek elemzésre), ezért egyetlen adatsoporton (2019. évben) be lehet mutatni a kezeléseket hozamra gyakorolt hatását és ennek gazdasági vonatkozásait.

A hozamok mennyiségének kezeléstől való függését leíró termelési függvény segítségével meghatározható az optimális ráfordítási dózisszint és az elérhető optimális hozam. Az elemzés eredményei azt mutatták, hogy réz és cink esetén is 1 kg/ha-nál nagyobb dózisek a leghatásosabbak, a virágzaskori kezeléseket magasabb hozamot adnak, mint a bokrosodáskoriak.

A két hatóanyag közül bokrosodáskori kezelés közel azonos hatású, míg virágzaskori kezeléskor a cink mikroelem erőteljesebb hozamnövekedést okozott.

A termelés eredményének pénzügyi áttekintése - bevételek, kiadások és az ezekből számított nyereség - alapján elmondható, hogy a haszon mértéke mindkét mikroelem hatására megnövekedett. Az emelkedés mértéke a bokrosodáskori kezeléskor is érzékelhető, de közel azonos hatású réz és cink mikroelem esetén. A virágzaskor ezek az értékek magasabbak a bevételeknél és a nyereségnél is – a hozammennyiséghez hasonlóan a cink hatása erőteljesebb volt. A termesztés során a kezeléseketnél a fenológiai fázisek közötti döntéskor a virágzaskor kijuttatás mellett szól az anyagtakarékosság, valamint a nagyobb hozamnövelő hatás, a bokrosodáskor kijuttatás mellett pedig a kevesebb munkamenet. Összességében a hozam mennyiségi és gazdasági vizsgálat pénzügyi eredményei alapján a réz és cink mikroelemtrágyák használata javasolható a búzatermesztéskor.

## EFFECT OF COPPER AND ZINC TREATMENTS ON WINTER WHEAT ECONOMIC ANALYSIS

RÓZSA CSATAI – BÁLINT SZÜLE

Széchenyi István University, Agricultural and Food Sciences, Department of Water and  
Environmental Sciences, Mosonmagyaróvár

### SUMMARY

Wheat is one of the most important crops in Hungary. In order to achieve the right quality and quantity, the nutrient content of the soil must be ensured, which also means the replacement of missing microelements. This is made possible by the use of copper and zinc fertilizers during bushing and flowering. It is then necessary to review their impact on the yield factors of wheat production: the amount of yield and its financial implications through detailed economic studies. Based on the analyzes, the use of copper and zinc microelement fertilizers can be recommended and the highest yielding and profitable material, dose and phenological phase can be determined - this will help the producer to make the optimal decision.

**Keywords:** foliar fertilizer, winter wheat, economic analysis

### ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by the Interreg V-A, SKHU/1802/3.1/023 Co-Innovation Program.

### IRODALOMJEGYZÉK

*Giczi, Zs. – Kalocsai, R. – Vona, V. – Szakál, T. - Lakatos, E. – Ásványi, B. (2021): Study of the antifungal effect of a copper-containing foliar fertilizer. Cereal Research Communications 49, (2) 337-341.*

Giczi, Zs. - Kalocsai, R. - Vona V. - Szakál, T. - Teschner, G. - Lakatos, E. (2020): Réz kezelések hatása őszi búza (*Triticum aestivum* L.) hozamára és nyersfehérje tartalmára. *Acta Agronomica Óváriensis* 61, (1) 23-32.

Szakál, P. – Schmidt, R. – Barkóczi, M. – Szakál, T. – Schmidt, P. (2012): Effect of copper containing ion- exchanged synthesised zeolite on the yield and quality parameters of winter wheat, *Növénytermelés* 61, 157-160.

Samuelson, P. A. – Nordhaus, N. D. (1987): *Közgazdaságtan. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.*

Szakál, T. (2018): Réz-tartalmú mikroelektronikai hulladékból előállított réz-ioncserélt zeolit mezőgazdasági felhasználása. In: Szalka, Éva (szerk.) XXXVII. Óvári Tudományos Napok, 2018. november 9-10.: Fenntartható agrárium és környezet, az Óvári Akadémia 200 éve - múlt, jelen, jövő. Mosonmagyaróvár, Magyarország: VEAB Agrártudományi Szakbizottság, Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar. 482, 448-454.

Szakál, T. (2021): A réz-tetramin-komplex és a réz-aminnal ioncserélt szintetizált zeolit lombtrágyaként történő alkalmazása az őszi búzában (*Triticum aestivum* L.), hatása annak beltartalmi paramétereire. Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszertudományi Multidiszciplináris Doktori Iskola.

Szakál, T. - Szüle, B. - Kalocsai, R. - Korim, T. - Szalka, É. - Tóth, E. - Szakál, P. (2021): Ion exchange with copper-tetraamine on NaA (LTA) type synthesised zeolite, *Nova Biotechnologica et Chimica* 20 : 1 Paper: e886.

Steinhaus, H. – Langbehn, C. – Peters, U. (1984): Bevezetés a mezőgazdasági üzemgazdaságtanba. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Szűcs I. szerk. (2002): *Alkalmazott statisztika.* Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., Budapest.

Központi Statisztikai Hivatal adatbázisai és elemzései

Agrárgazdasági Kutató Intézet adatbázisai és repozitóriuma

*A szerzők levélcíme - Address of the authors:*

CSATAI RÓZSA

Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar

Víz- és Környezettudományi Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár Lucsony utca 15-17.

E mail: csatai.rozsa@sze.hu

SZÜLE BÁLINT

Széchenyi István Egyetem

9026 Győr, Egyetem tér 1.

Email: szulebalint@gmail.com



**MEZŐGAZDASÁGI ÉS IPARI HULLADÉKOK HASZNOSÍTÁSÁNAK JOGI  
SZABÁLYOZÁSA, KIEMELTEN AZ EU ÁLTAL TÁMOGATOTT  
KÖRFORGÁSOS GAZDÁLKODÁSRA**

HORNYÁK MARGIT – PETRÓCZKI FERENC

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Kar,  
Mosonmagyaróvár

**BEVEZETÉS**

Ma már mindannyiunk által megtapasztalt globális kihívás az éghajlatváltozás, amit a vele összefüggésben fellépő természeti katasztrófák: sorra megdőlő melegrekordok, erdőtűzek, villámárvizek, hurrikánok, jégverés és más extrém időjárási viszonyok előfordulásának gyakoribbá válása jelez. A klímaváltozás legfőbb okát a kutatók a termelés és a fogyasztás jelenlegi módjának fenntarthatatlanságában, a természeti erőforrások túlzott kitermelésében és feldolgozásában és az üvegházhatású gázok nagymértékű kibocsátásában látják, vagyis röviden és szemléletesen kifejezve abban, hogy Földünk csak egy van, de 2050-re a világ úgy fogyaszt majd, mintha három lenne. Egy OECD jelentés (OECD 2019) szerint a biomassza, a fosszilis tüzelőanyagok, a fémek és a nem fém ásványi anyagok globális fogyasztása a következő negyven évben (2017-hez képest 2060-ra) várhatóan megkétszereződik, míg az előrejelzések szerint az éves hulladékképződés 2050-re 70%-kal növekszik. Az Európai Unió válasza a riasztó helyzetre egy új gazdasági és társadalmi modellre épülve megalkotott, egymással összehangolt stratégiákból álló **európai zöld megállapodás** (Európai Bizottság 2019), melyben mind a 27 uniós tagállam kötelezettséget vállalt arra, hogy 2050-re az EU-t a világon elsőként klímaseleges kontinenssé alakítja, és a folyamat részeként 2030-ra legalább 55%-kal csökkentik az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását az 1990-es szinthez képest.

Az európai zöld megállapodásban összehangolt stratégiák egyike, egyúttal Európa fenntartható növekedésének új menetrendje a **körforgásos gazdaságra vonatkozó új cselekvési terv** (Európai Bizottság 2020). Ez a cselekvési terv a klímasemlegesség 2050-ig történő megvalósításához olyan gazdasági növekedéssel tervez hozzájárulni, amely növeli az erőforrás-felhasználás hatékonyságát, csökkenti a nyersanyagfogyasztást és megduplázza a körforgásban felhasznált anyagok arányát, részben a hulladékból a lehető legnagyobb mértékben kinyert kiváló minőségű (másod) nyersanyaggal.

**Kulcsszavak:** körforgásos gazdaság, hulladékgyártás, tápelemek

## SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

### *A fenntarthatóságot szolgáló környezetpolitika az Európai Unióban*

Az EU környezetpolitikájában az új cselekvési terv nem előzmények nélküli, sokkal inkább egy hosszabb folyamat eredménye, ami az ENSZ által létrehozott Brundtland Bizottság 1987-ben megjelent "Közös jövőnk" című jelentésének megjelenésétől eredeztethető. A jelentés fő üzenete, hogy a növekedés hajszolása a földi bioszféra összeomlásához vezet, ezért a gazdaság fejlődését fenntartható módon nem mennyiségi, sokkal inkább minőségi növekedésként kell definiálni. Ez az elmélet jelentős hatást gyakorolt a gazdaságra például azzal, hogy környezetbarát fogyasztási szokások és tiszta technológiák elterjesztését, a megújuló erőforrások jelentőségének a felértékelését segítette.

A fenntartható megoldásokra történő átállásban az Európai Közösség már a 6. környezetvédelmi cselekvési programban fontos prioritásokat emelt ki, így – többek között – a természeti erőforrásokkal és a hulladékkal való fenntartható gazdálkodás kérdéseinek előtérbe helyezését. Ezt a politikai szándékot tovább erősítette a 2012-2020 közötti időszakra vonatkozó 7. környezetvédelmi cselekvési program, amely nem kisebb célokat tűzött ki, mint azt, hogy 2020-ig intelligens, fenntartható és inkluzív növekedési pályára állítja az EU gazdaságát, és különböző politikai eszközök és fellépések révén elmozdul az alacsony szén-dioxid-kibocsátás és az erőforrás-hatékonyság irányába, illetve az EU arra törekszik, hogy teljes mértékben szétválassa egymástól a gazdasági növekedést és a környezetkárosítást. A cselekvési programban az EU politikai kötelezettséget vállalt arra, hogy csökkenti a hulladékképződést, a hulladékot úgy dolgozza fel, hogy az fontos és megbízható nyersanyagforrást jelentsen az Unió számára,

kizárólag újra fel nem dolgozható anyagokból nyer ki energiát, és gyakorlatilag megszünteti a hulladéklerakók használatát.

Fontos dokumentuma az EU környezeti stratégiáinak az Európai Bizottság által 2014 szeptemberében kiadott, Úton a körkörös gazdaság felé: „zéró hulladék” program Európa számára c. közlemény, dacára annak, hogy a javaslatot később, az európai parlamenti választásokat követően felállt, új összetételű Európai Bizottság visszavonta és átdolgozta. A bizottsági közlemény kiemeli – többek között – az EU kutatási és innovációs keretprogramja, a Horizont 2020 keretében is támogatott tervezés és innováció jelentőségét, az erőforrás-hatékonysági célértékek és a hulladékgazdálkodási célkitűzések megújítását, a tagállamok hulladék-megelőzési programjai létrehozásának szükségességét. Külön kitér a hulladékokkal kapcsolatos egyedi kihívások kezelésére, különösen a tengereken képződő hulladék, az építési-bontási hulladék, a műanyag hulladék, az élelmiszerhulladék és a veszélyes hulladék kezelése terén, továbbá a kritikus nyersanyagok újrafeldolgozásával kapcsolatban.

2015-ben az Európai Bizottság új, az egy évvel korábbinál átfogóbb javaslatcsomagot terjesztett elő. A csomag két fő részből áll: „Az anyagkörforgás megvalósítása – a körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terv” című közleményből (Európai Bizottság, 2015), valamint a jogszabály-módosítási javaslatokból. A felvázolt intézkedések a termékek teljes életciklusára irányulnak, szemben a korábbi hulladék életciklusra fókuszáló szakasszal. A közlemény melléklete az életciklus egyes szakaszaihoz hozzárendelve, határidőket is megjelölve sorolja fel a feladatokat. A jogszabálycsomag a tagállamok számára új, kötelezően elérendő célértékeket ír elő az újrafeldolgozás arányának a növelése, és ezzel párhuzamosan a hulladéklerakás arányának a csökkentése érdekében. A bizottsági közlemény alapján, elsők között a hulladék-keretirányelv, a hulladéklerakókról szóló irányelv, valamint a kiterjesztett gyártói felelősség alkalmazásán alapuló, a csomagolási hulladékokra, a hulladékká vált gépjárművekre, az elektromos és elektronikai hulladékokra, illetve a hulladékká vált elemekre és akkumulátorokra vonatkozó irányelvek módosítására kerül sor.

### ***A körforgásos gazdaságról röviden***

Az ipari forradalom óta gazdaságainkban a „kinyer–legyárt–fogyaszt–ártalmatlanít” növekedési minta alakult ki. Ez egy **lineáris modell**, amelynek alkalmazása a gyakorlatban sajnos még napjainkban is általánosan elterjedt. Lényege, hogy az egyes





A körforgásos gazdaságban a gazdasági egyensúly az energia-intenzív anyagokról és a nyersanyagok elsődleges kitermeléséről áthelyeződik úgy, hogy technológiai oldalról az újra-használat, a felújítás, az újragyártás vagy az újrafeldolgozás, míg biológiai oldalról az anaerob lebontás, a komposztálás és a lépcsőzetes felhasználás kerül előtérbe. Amikor egy termék eléri az élekciklusának végét, a körforgásos gazdasági rendszerek a gazdaságon belül tartják az erőforrásokat, hogy azokat újra és újra produktívan fel lehessen használni. A körforgásos gazdaság az 'end-of-life' (hasznos élettartam vége) koncepciót a helyreállítással váltja fel, a megújuló energiák felhasználását ösztönzi, a mérgező vegyszerek használatát megszünteti, mert azokat nem lehet hasznosítani vagy a bioszférába biztonságosan visszaengedni, és a hulladék képződését az anyagok, termékek és az üzleti modellek tervezésével kívánja megszüntetni. Ez a korábbi rendszer teljes megváltoztatását jelenti. Innováció szükséges nemcsak a technológiák, hanem a szervezés, a társadalom, a finanszírozási módszerek és a szabályozás terén is. Kétségtelen ugyanakkor, hogy a linearitás egyes elemei még egy szinte teljes mértékben körforgásos gazdaságban is megmaradnak, mivel szükség van új erőforrások bevonására, és sajnos keletkeznek nem hasznosítható hulladékok is.

### ***A hulladékkal, mint erőforrással kapcsolatos jogi szabályozás***

A körforgásos gazdasággal kapcsolatos politikai szándékok gyakorlati megvalósításához a hulladékokra vonatkozó jogszabályok felülvizsgálatára, egyszerűsítésére és hatékonyabb alkalmazására, végrehajtására van szükség.

A hulladékok kezelésének legszélesebb jogi kerete jelenleg az EU-ban a hulladékokról és egyes irányelvek hatályon kívül helyezéséről szóló 2008/98/EK irányelv (URL2), röviden HKI, amely számos formai és lényeges tartalmi változtatást jelent a korábbi keretirányelvekhez képest. Továbbra is megmaradt a hulladéktulajdonos/birtokos szándékát figyelembe vevő hulladékfogalom („hulladék: olyan anyag vagy tárgy, amelytől birtokosa megválnik, megválni szándékozik vagy megválni köteles”) és az egyes hulladékfajták, hulladéktípusok alapvetően eredet szerinti listázása a hulladékjegyzékben, emellett azonban új fogalmak és új jogintézmények születtek azzal a nyilvánvaló jogalkotói szándékkal, hogy ösztönözzék és megkönnyítsék a hulladékhasznosítást, az anyagnak a lehető leghosszabb ideig történő körforgásban tartását. E célt szolgáló két új fogalom: a melléktermék (By-products), illetve a hulladékstátusz vége (End-of-Waste, röviden EoW). Bevezetésükkel és a vonatkozó

általános feltételek meghatározásával lehetővé vált, hogy azok az anyagok és tárgyak, amelyek egy másik termelési folyamatban közvetlenül vagy a hulladék kezelését követően felhasználhatóak, és a felhasználás valóban meg is történik, mentesüljenek a hulladékokra vonatkozó szigorúbb adminisztrációs kötelezettségek, az engedélyezés, ellenőrzés, stb. terhei alól.

A **melléktermékre** vonatkozóan a HKI 5. cikke rendelkezik. Ez alapján – az irányelvben meghatározott feltételek között – nem tekintendők hulladéknak azok az „anyagok vagy tárgyak, amelyek olyan előállítási folyamat során keletkeznek, amelynek elsődleges célja nem ezen anyagok vagy tárgyak előállítása”. A termelés nem elsődleges céljaként egy technológiában szükségképpen létrejövő anyag vagy tárgy tehát mellékterméknek minősül, és kikerül a hulladékkal kapcsolatos jogszabályok hatálya alól, amennyiben

- valamely előállítási folyamat szerves részeként állítják elő,
- a szokásos ipari gyakorlattól eltérő feldolgozás nélkül, közvetlenül felhasználható,
- biztosított a további felhasználása (piacképes),
- a környezetet és az emberi egészséget nem veszélyezteti,
- további használata jogszerű, azaz megfelel az adott termékre, valamint a környezet és az egészség védelmére vonatkozó összes követelménynek, jogszabályi előírásnak.

A mezőgazdaságban klasszikus példái a mellékterméknek a növények betakarításakor vagy azt követően elkülönített növényi részek (kukoricaszár, gabonaszalma, napraforgó tányér, zöldborsószár, emberi fogyasztásra alkalmatlan zöldség-gyümölcs, stb.) vagy az eladásra alkalmatlanná vált termés. De mellékterméknek minősülhet az érlelt, almos istállótrágya vagy a szakosított állattartó telepek hígtrágyája is. Az „irányelvben meghatározott feltételek között” kitétel ez esetben azt jelenti, hogy amennyiben ezeket az anyagokat átalakítás nélkül felhasználják (pl. frissen vagy silózva takarmányozásra, közvetlenül trágyázásra, talajjavításra), akkor mellékterméknek minősülnek. Ezzel szemben hulladékként, a hulladékgazdálkodási jogszabályoknak megfelelően kell kezelni azokat, ha a végső felhasználást megelőzően hulladékkezelő létesítménybe, pl. hulladéklerakóba vagy biogáz-üzembe kerülnek.

Az irányelv 6. cikke tartalmazza azokat a feltételeket, amelyek teljesülése esetén **megszűnik a hulladékstátusz**, vagyis az anyag vagy tárgy többé már nem tekinthető

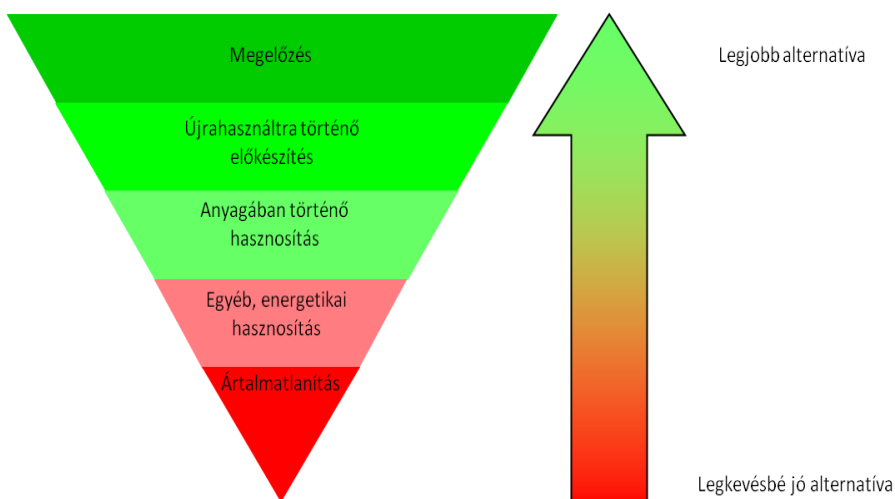
hulladéknak, a feldolgozással elhagyhatja a hulladékkört és így ismét termékké válhat. Előfeltétel, hogy a korábbi hulladék valamely hasznosítási műveleten (pl. újrafeldolgozáson) essen át, továbbá feleljen meg az alábbi általános kritériumoknak:

- adott rendeltetéssel általánosan használják,
- piacképes, illetve van rá kereslet,
- megfelel az adott felhasználási célra vonatkozó műszaki követelményeknek és a termékre vonatkozó hatályos jogszabályoknak, előírásoknak,
- nem veszélyezteti a környezetet és az emberi egészséget.

Ez azt jelenti, hogy megszűnhet a korábbi mezőgazdasági hulladék hulladékstátusza, ha pl. a hulladékot biogáz-üzemben vagy komposztálóban kezelik, a szalmából cellulózt gyártanak, az elhullott állatok tetemeiből vagy vágóhídi hulladékból csont-, hús- vagy vérlisztet állítanak elő. Itt kell megemlíteni, hogy a korábbi szabályozáshoz hasonlóan, a szükségtelen átfedések elkerülése érdekében, csak részben tartoznak a HKI hatálya alá az 1774/2002/EK rendelet (URL3) hatálya alá tartozó állati melléktermékek, hulladékká vált feldolgozott termékek és a nem vágás útján elpusztult állatok tetemei. Az elégetésre, hulladéklerakásra, valamint biogáz- vagy komposztálóüzemben történő felhasználásra szánt melléktermékekre és hulladékokra – az állategészségügyi jogszabályok mellett – a hulladékokra vonatkozó jogszabályok rendelkezéseit továbbra is alkalmazni kell.

A konkrét kritériumrendszerek meghatározása európai szinten – mind a melléktermék, mind a hulladékstátusz vége esetében – a komitológia szabályai szerint (bizottsági eljárásban) elfogadott jogszabállyal, mégpedig a minden tagállamban kötelezően alkalmazandó rendeleti formában történhet meg. Az így elfogadott jogszabály tartalmazza azokat a részletes kritériumokat, amelyek teljesítése esetén bizonyított, hogy a hulladék – a szükséges hasznosítási műveleteken átesve – elért a feldolgozottság olyan fokára, hogy a továbbiakban nem hulladéknak, hanem terméknek, más technológiák nyersanyagának tekinthető. A biológiailag lebomló hulladékokból származó minőségi komposztra és a fermentált anyagra vonatkozóan is zajlik a szakmai előkészítő munka az EoW kritériumok kidolgozására, EU rendelet azonban még nem került elfogadásra. A különböző minőségű komposztokra egyes tagállamokban már születtek jogszabályok azzal a lehetőséggel, hogy amennyiben uniós szinten nem állapítottak meg részletes kritériumokat, lehetősége van a tagállamnak saját jogszabály elfogadására. Erről az Európai Bizottságot értesíteni kell. (Magyarország eddig nem élt ezzel a lehetőséggel.)

A fent ismertetett jogintézmények mellett az új HKI által bevezetett, a körforgásos gazdaság működését segítő általános rendelkezés a megelőzés, az újra-használat és a hulladék újra feldolgozásának elsőbbsége az energetikai hasznosítással és az ártalmatlanítással szemben, amit a korábbi 3 lépcsős **hulladékhierarchia** 5 lépcsőssé bővítésével értek el. Ezt mutatja be az alábbi ábra.



*Forrás:* hulladékhierarchia - Bing images

2. ábra: Hulladékhierarchia

*Figure 2:* Waste hierarchy

A HKI 4. cikke a hulladékhierarchia elsőbbségi sorrendként történő kötelező alkalmazását írja elő. Ebből következően a hulladék tulajdonosának/birtokosának és a hatóságnak egyaránt a kedvezőbb kezelési módszert kell választania, amennyiben biztosítható annak műszaki megvalósíthatósága és gazdasági életképessége. Emellett a támogatási politikáknak a kedvezőbb kezelési módot nyújtó létesítmények kiépítését kell ösztönözniük. A hierarchia alkalmazásától eltérni a legjobb általános környezeti eredmény elérése érdekében kizárólag akkor lehet, ha ezt a hulladék képződésének és kezelésének általános hatásait figyelembe vevő életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment, röviden LCA) alátámasztja.

A fenti rendelkezéseket – a HKI egyéb, itt nem részletezett rendelkezéseivel együtt – a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény ültette át a magyar jogrendbe.

**Hazai helyzetkép**

A hulladékképződés megelőzését a körforgásos gazdaság valamennyi fázisára kiható prioritásként kell kezelni. A **hulladék képződésének megelőzése** érdekében bevezetett intézkedések mennyiségi és minőségi megelőzési célokat egyaránt szolgálhatnak. Mennyiségi megelőzés a hulladék képződésének elkerülése és a képződő hulladék mennyiségének csökkentése, minőségi megelőzés alatt pedig a képződött hulladék környezetre, illetve emberi egészségre való veszélyességének mérséklését értjük. Minden olyan beavatkozás megelőzésnek számít, amely csökkenti a fajlagos anyagfelhasználást, növeli a termelési és szolgáltatási folyamatok hatékonyságát, csökkenti a víz- és energiafelhasználást, vagy csökkenti a képződő összes hulladék mennyiségét.

A HKI előírásainak megfelelően a tagállamoknak országuk egész területére kiterjedő hulladékgazdálkodási tervet és megelőzési programot kell készíteniük, jogszabályban elfogadniuk és végrehajtaniuk. Magyarország ennek a feltételnek első alkalommal a 2014-2020 közötti időszakra vonatkozó Országos Hulladékgazdálkodási Terv (OHT) részét képező **Országos Megelőzési Program (OMP)** elkészítésével tett eleget. (Magyarország Kormánya 2014) **Az OMP egyik fő célja a szükségleteken alapuló, ésszerű gazdasági növekedés és a hulladékképződés által okozott környezeti hatások közötti összefüggés megszüntetése. Ennek érdekében általános célként fogalmazta meg**

- az anyagfelhasználás csökkentését, a hatékonyabb erőforrás-gazdálkodás megvalósítását;
- a termékek életciklusának növelését;
- a környezetre a lehető legkisebb hatást gyakorló megoldások alkalmazását;
- a Program célkitűzéseinek beépítését a szabályozási és a többszintű ösztönző rendszerekbe.

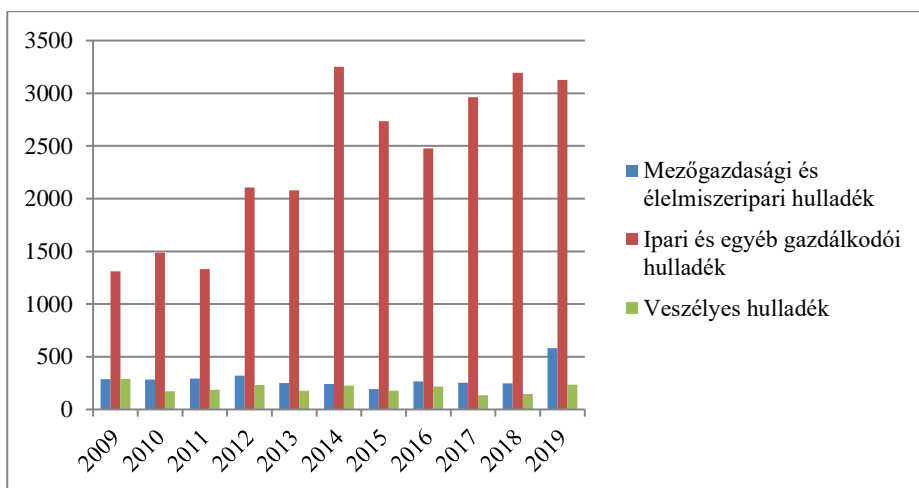
A hulladékképződés megelőzése, illetve csökkentése többek között úgy érhető el, hogy a gyártókat olyan alapanyagok, minőségi termékek gyártására ösztönzik, amelyek biztosítják, hogy az anyag vagy termék élettartama hosszabb legyen, vagy újrahasználni, illetve javítani lehessen, és így később váljon hulladékká. Ezt a célt segíti elő a gyártó felelősségének kiterjesztése is, kiindulva abból, hogy a gazdaság jelenlegi nyílt (lineáris) rendszerének zárttá alakítása nem csak az ipar feladata. A környezeti szempontból kedvező változásokhoz a kereskedők, a szolgáltatók és nem utolsósorban a lakosság együttműködése is szükséges.

Jelenleg a Kormány által 2021. október 6-án elfogadott, a 2021-2027 közötti tervidőszakra vonatkozó OHT és OMP hatályos, melynek az összefoglaló szerint az a középtávú stratégiai célkitűzése, hogy a magyar hulladékgazdálkodási ágazat a körforgásos gazdaság egyik mintáértékű modellje legyen Európában. A tervezési időszak során elsődleges cél az újrafeldolgozás növelése minden hulladékáram tekintetében, valamint a hulladék lerakással történő ártalmatlanításának csökkentése. A beruházásokat és fejlesztéseket az európai uniós hasznosítási célszámok, a Klíma- és Természetvédelmi Akciótervben foglalt célkitűzések és további szakmai célok figyelembevételével szükséges megvalósítani. A körforgásos gazdaságra történő átállás során az államnak a piaci szereplők bevonására és a kölcsönös együttműködésre kell helyeznie a hangsúlyt. Elsődleges cél, hogy az egyre szigorodó EU-s hulladékgazdálkodási célértékek teljesítését az állam országos szinten kontrollálni tudja. Az átalakítás során figyelemmel kell lenni a kialakításra kerülő kiterjesztett gyártói felelősségi rendszerre, valamint a bevezetésre kerülő visszaváltási rendszerre vonatkozó alapvető szabályokra. (Magyarország Kormánya 2021)

Az Országos Megelőzési Program a hazai hulladékképződés megelőzési gyakorlatának fő irányvonalát hivatott kitűzni. A nevével ellentétben nem ad részletes menetrendet az egyes szektorokban megvalósítandó tennivalókról, viszont számos olyan példát mutat be, amelyekben technológiai változtatásokkal sikeresen csökkentették a keletkező hulladék mennyiségét.

A hulladékban lévő anyagok kinyerése és másodlagos felhasználása, vagyis az **újrafeldolgozás** kulcsfontosságú eleme a körforgásos gazdaságnak. Az újrafeldolgozás során a hulladékot annak eredeti használati céljára, vagy más célokat szolgáló terméké vagy nyersanyaggá alakítják át. Az eredményes hasznosítás előfeltétele a hulladék megfelelő, más hulladéktól elkülönített gyűjtése, valamint a hasznosító kapacitások rendelkezésre állása elsősorban itthon, esetleg külföldön.

A KSH adatai (URL4) szerint Magyarországon a 2009-2019 közötti időszakban feldolgozott, tehát anyagában hasznosított mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladék, ipari és egyéb gazdálkodói hulladék, valamint veszélyes hulladék mennyiségét a 3. ábra foglalja össze.



Forrás: KSH

3. *ábra:* Egyes hulladékkategóriák anyagában hasznosított mennyisége [ezer tonna/év]

Figure 3: Quantity of waste recovered in materials of certain categories of waste [thousand tonnes/year]

(A KSH a települési és az építési-bontási hulladékot is vizsgálta, ezek mennyisége viszont e cikk szempontjából irreleváns.)

A fenti ábra alapján a vizsgált hulladékkategóriák esetében a jogi szabályozás hasznosított mennyiségre gyakorolt pozitív hatása elsősorban az ipari hulladéknál figyelhető meg. Annak ellenére nőtt az ipari hulladék anyagában történő hasznosítása, hogy ebben az időszakban a képződött összes mennyisége a 2009 évi 6 186 ezer t/évről 5 644 ezerre csökkent. A mezőgazdaságban és az élelmiszeriparban keletkezett hulladékok, valamint a veszélyes hulladékok feldolgozott mennyisége 2009-2018 között gyakorlatilag stagnált. A mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékok esetében viszont 2019-ben egy ugrás következett be: a 2009-ben feldolgozott 288 ezer t/év mennyiséghez képest több mint duplájára, 583 ezer t/év értékre nőtt az anyagában hasznosított hulladék mennyisége, miközben az összes képződött mennyiség itt is csökkent a 2009 évi 965 ezer t/évről 790 ezerre. Ez valószínűleg összefüggésben van azzal is, hogy az Európai Bizottság a tagállamok és az élelmiszer-lánc érintett szereplőinek részvételével új platformot hozott létre az élelmiszer-hulladéokra vonatkozó fenntartható fejlesztési célok elérésére, a korábbi élelmiszereknek és az élelmiszerláncból származó



melléktermékeknek a takarmány-előállításban történő felhasználása megkönnyítésére anélkül, hogy az veszélyeztetné az élelmiszer- és takarmánybiztonságot.

## **EREDMÉNYEK A TÁPELEMKÉNT TÖRTÉNŐ VISSZAPÓTLÁS CÉLJÁRA ALKALMAS TECHNOLÓGIAI HULLADÉKOK FELHASZNÁLÁSA TERÉN**

A növénytermesztésben és az állattenyésztésben képződő természetes szerves anyagok: hulladékok és melléktermékek a természeti anyagcsere folyamatok részei, a szennyezés kockázata nélkül általában biztonságosan visszavezethetők a mezőgazdaságba. Vannak azonban a mezőgazdaság számára hasznosítható olyan hulladékok is, amelyek az iparban képződnek, ezáltal a pillangóábrán (lásd 1. ábra) bemutatottaktól eltérően a technológiai anyagáramokból a biológiai körfolyamatokba kerülnek át. Felhasználásuk az élelmiszer- és takarmánybiztonság érdekében fokozott ellenőrzést igényel. A növénytermesztésben mikroelem-pótlásra felhasználható, eddig megkutatott és hasznosított hulladéktípusok egy része (pl. a mikroelektronikai iparból származó nagy tisztaságú réztartalmú hulladék) veszélyes hulladék, ami azt jelenti, hogy a hulladék rendelkezik a hulladékgazdálkodásról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény 1. mellékletében meghatározott veszélyességi jellemzők legalább egyikével. Akár veszélyes, akár nem veszélyes hulladékról van azonban szó, a hasznosításhoz első lépésben a hulladékgazdálkodási hatóság, bizonyos kapacitás felett a környezetvédelmi hatóság engedélye szükséges.

### ***Hulladék hasznosításához szükséges engedélyek***

#### *Hulladékgazdálkodási engedély*

Egy hulladék feldolgozása akkor kezdhető meg, ha a hulladékgazdálkodási tevékenységek nyilvántartásba vételéről, valamint hatósági engedélyezéséről szóló 439/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet 9. § szerinti tartalmi követelményeknek megfelelően benyújtott kérelem alapján a hulladékgazdálkodási hatóság által kiadott engedély jogerőssé válik. A kérelmet a hulladékgazdálkodási hatóság kijelöléséről szóló 124/2021. (III. 12.) Korm. rendelet alapján a megyei kormányhivatalnál, mint területi hulladékgazdálkodási hatóságnál kell előterjeszteni. (A területi hulladékgazdálkodási hatóság illetékessége a székhelye szerinti megyére terjed ki azzal az eltéréssel, hogy a

Pest Megyei Kormányhivatal illetékessége Pest megyére és Budapest főváros területére terjed ki.)

Az engedély iránti kérelemnek az alábbiakat kell tartalmaznia:

- a kérelmező neve, székhelye, telephelye, valamint statisztikai azonosító adatai (KÜJ-, KTJ kód, KSH-statisztikai számjel, cégjegyzékszám, adószám), egyéni vállalkozó esetén a vállalkozói igazolvány száma;
- a tervezett hulladékgazdálkodási tevékenység és kezelési művelet megnevezése, a kezelési műveletnél alkalmazandó módszerek, kezelési technológia részletes leírása;
- a hulladék fajtája, típusa, jellege, összetétele, valamint a kezelni tervezett, tonnában kifejezett éves hulladékmennyisége típusonként az adott kezelési művelet megjelölésével;
- a tervezett kezelési művelettel érintett terület megnevezése;
- az alkalmazni kívánt kezelési technológia, a kezelési művelet elvégzéséhez szükséges személyi, tárgyi és közegészségügyi feltételek, továbbá az eszközök, a berendezések és a járművek műszaki jellemzői, azok állapota, minősége és felszereltsége;
- a tervezett kezelési művelettel érintett hulladékgazdálkodási létesítmény, telephely címe, helyrajzi száma, műszaki és környezetvédelmi jellemzői, állapota, minősége, felszereltsége, kapacitása (megjelölve a hulladéktároló hely tárolási kapacitását), a telepengedély száma, ha a kérelmező a kezeléshez használni kívánt eszközöket, berendezéseket, járműveket bérlő vagy lízingeli, akkor e jogviszony igazolása;
- a kezelés technológiájával kapcsolatban: a kezelés során felhasználni kívánt segédanyagok, biológiai kezelés esetében a kezelés helyszínén képződő csurgalék-, illetve csapadékvíz összegyűjtésének és kezelésének módja;
- a kezelés során képződött anyag és hulladék mennyisége, fajtája, típusa, jellege, összetétele, fizikai megjelenési formája, annak tervezett kezelési módja, további felhasználási lehetőségei;
- a kezelés anyagmérlege;
- a kezelési folyamat szempontjából kritikus ellenőrzési pontok;
- a kezelés technológiájának műszaki és környezetvédelmi jellemzői;

- a kezelési művelettel elérni kívánt környezetvédelmi és gazdasági cél; a hasznosítással előállítani kívánt anyag vagy termék előállításával, gyártásával vagy forgalomba hozatalával járó környezetvédelmi és gazdasági előny, haszon, továbbá a hulladékstátusz megszűnésére (EoW) vonatkozó igazolás;
- a kezelési tevékenység végzéséhez szükséges, a kérelmező rendelkezésére álló pénzügyi eszközök, azok garanciái, valamint a meglétükre vonatkozó nyilatkozat; a céltartalék képzésére vonatkozó terv, továbbá a környezetvédelmi biztosítás megkötésének tényét igazoló dokumentum;
- a környezetbiztonságra, az esetlegesen bekövetkező káresemény (havária) elhárítására vonatkozó terv;
- a hulladék telephelyen történő tárolásának módjára és körülményeire vonatkozó adatok, információk;
- különböző, a kormányrendeletben előírt nyilatkozatok és igazolások.

A hulladék hasznosítására irányuló kérelmet – más egyéb hulladékgazdálkodási tevékenységhez hasonlóan – a kérelmező szakirányú végzettséggel rendelkező alkalmazottja, vagy a környezetvédelmi, természetvédelmi, vízgazdálkodási és tájvédelmi szakértői tevékenységről szóló 297/2009. (XII. 21.) Korm. rendelet alapján a hulladékgazdálkodás részterületen szakértői jogosultsággal rendelkező szakértő készítheti el.

A hulladékgazdálkodási engedély határozott időre, de legfeljebb 5 évre adható.

A kezelésre átvett hulladékok **tárolására** szolgáló hulladékártoló helyet az egyes hulladékgazdálkodási létesítmények kialakításának és üzemeltetésének szabályairól szóló 246/2014. (IX. 29.) Korm. rendelet 9. fejezetében előírt módon kell kialakítani és üzemeltetni. A hulladékártoló hely részletes működési és ellenőrzési szabályait üzemeltetési szabályzatban kell rögzíteni, amit az engedélyezési eljárás irataihoz csatolva a hulladékgazdálkodási hatósággal jóvá kell hagyatni.

A hulladékhasznosítási tevékenység során keletkező hulladékok **gyűjtésére** csakúgy, mint a termelő tevékenysége során képződő hulladék gyűjtésére a 246/2014. (IX. 29.) Korm. rendelet 7. és 8. fejezetében előírtaknak megfelelően munkahelyi és/vagy üzemi gyűjtőhelyet kell kialakítani a telephelyen. Üzemi gyűjtőhely létesítésére akkor van szükség, ha a telephelyen kívüli kezelés céljából nem közvetlenül a munkahelyi gyűjtőhelyről szállítják el a hulladékot. A munkahelyi, valamint az üzemi

gyűjtőhely üzemeltetéséhez nincs szükség hulladékgazdálkodási engedélyre vagy nyilvántartásba vételre. A hulladék a munkahelyi gyűjtőhelyen a képződésétől számított legfeljebb 6 hónapig gyűjthető, ezzel szemben az üzemi gyűjtőhelyen 1 évig terjedhet a gyűjtés időtartama, viszont naprakész üzemnaplót kell vezetni az ott gyűjtött minden egyes hulladékról. Az üzemi gyűjtőhely működési és ellenőrzési szabályait üzemeltetési szabályzatban kell rögzíteni, amit a hulladékgazdálkodási hatósággal jóvá kell hagyatni.

#### *Forgalomba hozatali és felhasználási engedély*

A hulladék hasznosításával előállított anyag elérte a hulladékstátusz végét, amennyiben például a növénytermesztésben műtrágyaként, termésnövelő anyagként felhasználható terméket állítottak elő belőle. Ennek bizonyítására számos laboratóriumi vizsgálatot szükséges elvégezni, és a terméként történő felhasználást engedélyeztetni kell a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatallal (NÉBIH), mint hatáskörrel és országos illetékességgel rendelkező hatósággal a termésnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet előírásainak megfelelően. A termésnövelő anyagok csak akkor engedélyezhetők, forgalmazhatók, illetve akkor használhatók fel, ha vizsgálatokkal, kísérletekkel alátámasztott kedvező hatást fejtenek ki a talajra vagy a termesztett növényre, előírászerű és szakszerű alkalmazás során nem okoznak kedvezőtlen mellékhatást a növényre, a talajra, az ember és az állat egészségére, és nem jelentenek megengedhetetlen veszélyt a környezetre és a természetre. Ha a termésnövelő anyag növényvédő szert tartalmaz, alkalmazni kell a növényvédő szerek engedélyezésére vonatkozó külön jogszabályban (89/2004. (V. 15.) FVM rendelet) foglaltakat is.

A forgalomba hozatali és felhasználási engedély iránti kérelem tartalmi követelményei a 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet 1. és 2. mellékletében található meg. Eszerint az alábbi adatokat, dokumentumokat kell megadni a NÉBIH számára:

- A termésnövelő anyag kereskedelmi neve;
- A termésnövelő anyag típusa, az 1. számú melléklet függeléke szerint (pl. műtrágya, szerves trágya, komposzt, talaj- vagy növénykondicionáló, stb.);
- Gyártó és az engedély jogosultjának neve, címe és statisztikai számjele, a gyártás helyszíne, bányagyártás esetén a bányagyártó neve, címe, statisztikai számjele;
- A kérelmező neve, címe és statisztikai számjele;

- A készítmény teljes összetétele, a hatóanyagok, valamint a szennyező anyagok megnevezése és koncentrációja, az alapanyagok származási helye és koncentrációja;
- A gyártó által szavatolt minőségi jellemzők;
- A gyártó által megadott felhasználási lehetőségek és alkalmazási dózisosok, a készítmény hatásmechanizmusa;
- Tűzveszélyességi osztályba sorolás;
- A gyártó által megadott tárolási és eltarthatósági feltételek;
- A gyártó által forgalmazni kívánt kiszerezési egység, a csomagolóeszköz anyaga, címketerv;
- A terméskövető anyag – kérelmező által megadott – vámtarifaszáma hat számjegyjéig;
- Ha a terméskövető anyag a veszélyes áruk szállításáról szóló (ADR/RID) szabályzatok hatálya alá esik, a termék UN száma és ADR/RID osztálya;
- Bányászott termékek esetén a feltérési, kitermelési műszaki üzemi terv jóváhagyásáról szóló bányafelügyeleti határozat;
- A terméskövető anyag gyártástechnológiájának leírása;
- A kérelemhez mellékelendő dokumentumok:
  - o A készítmény vizsgálati eredményei;
  - o A készítmény biztonsági adatlapja, a kémiai biztonságról szóló törvény előírásai szerint;
  - o A külön jogszabály szerint kockázatos anyagot tartalmazó terméskövető anyagok esetén annak bemutatása, hogyan viselkednek a kockázatos anyagok a talajban, milyen hatással vannak a felszín alatti vizekre;
  - o Különböző, a mellékletben részletezett nyilatkozatok, igazolások;
  - o Hulladékok feldolgozása esetén a hulladékkezelési engedély;
  - o Állati eredetű melléktermékek feldolgozása esetén az állategészségügyi hatóság engedélye;
  - o Telepengedély;
  - o A kísérleti engedély másolata.

Az engedély iránti kérelemmel együtt benyújtandó vizsgálati eredményeket és adatokat az FVM rendelet 2. sz. melléklete részletezi. Hulladékot vagy mellékterméket tartalmazó

terménynövelő anyagok esetén az engedélyező hatóság a hulladék és a melléktermék minőségétől függő további vizsgálatokat is előírhat.

Terménynövelő anyag kizárólag az engedélyben foglalt feltételek szerint használható fel.

### *Egyéb engedélyek*

Mind a veszélyes és nem veszélyes hulladékok hasznosítása, mind a műtrágya gyártása, raktározása, tárolása a **telepengedély**-köteles tevékenységek közé tartozik a telepengedély, illetve a telep létesítésének bejelentése alapján gyakorolható egyes termelő és egyes szolgáltató tevékenységekről, valamint a telepengedélyezés rendjéről és a bejelentés szabályairól szóló 57/2013. (II. 27.) Korm. rendelet alapján. A telepengedélyt a telep fekvése szerint illetékes település jegyzője adja ki. A jegyző a telepengedély iránti kérelem elbírálása során köteles meggyőződni arról, hogy a helyi építési szabályzat, illetve annak hiányában az épített környezet alakításáról és védelméről szóló 1997. évi LXXVIII. törvény 18. § (2) bekezdése szerint a kérelemben feltüntetett telepen az adott tevékenység végezhető-e.

A környezetvédelmi engedélyköteles, illetve egységes környezethasználati engedélyköteles tevékenységek körébe sorolt tevékenységek, illetve létesítmények esetén az engedélyezésekor a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendeletben foglaltak szerint kell eljárni. Ebben az esetben nincs szükség telepengedélyre. A kérelemre induló közigazgatási eljárást az illetékes környezetvédelmi hatóságnál kell kezdeményezni. Az eljárás és az annak végén kiadandó engedély típusát az dönti el, hogy a létesítmény, illetve a tevékenység a kormányrendelet mely mellékletében van felsorolva. Az 1. számú – és bizonyos feltételek fennállása esetén – a 3. számú mellékletben szereplő esetekben a tevékenység megkezdéséhez **környezetvédelmi engedély** szükséges, amit környezeti hatásvizsgálatnak kell megelőznie. A 2. sz. mellékletben felsorolt esetekben **egységes környezethasználati engedélyre** van szükség. Szintén egységes környezethasználati engedély kell, ha a létesítmény/tevékenység az 1. és a 2. számú mellékletben egyaránt szerepel és a környezethasználó összevont eljárás lefolytatását kéri.

Ha a nem veszélyes hulladékot hasznosító telep kapacitása meghaladja a 10 t/nap értéket, akkor a tevékenység a 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet 3. számú melléklet 107. pontja alá tartozik, ezért előzetes vizsgálatot kell végezni, és a környezetvédelmi hatóság előzetes vizsgálatban hozott döntése alapján kerülhet sor környezeti

hatásvizsgálat végzésére is. Méretmegkötés nélkül ugyanez vonatkozik a 109. pontban felsorolt veszélyes hulladékot hasznosító és/vagy tároló önálló telepre.

A hulladékkezelési tevékenységek engedélyezésekor az illetékes hatóságoknak olyan kibocsátási határértékeket kell meghatározniuk, amelyekkel biztosítható, hogy normál üzemeltetési feltételek mellett a kibocsátások nem haladják meg a hulladékkezelésre vonatkozó **elérhető legjobb technika** (Best Available Techniques BAT) **referencia dokumentumban** (URL5) meghatározott legjobb technikákhoz kapcsolódó kibocsátási szinteket. A hulladékkezelésre vonatkozóan jelenleg az Európai Bizottság által 2018-ban kiadott 2018/1147 végrehajtási határozattal (URL6) közzétett, több mint 800 oldalas BREF dokumentum érvényes. A BAT-következtetések a 2010/75/EU (IED) irányelv által lefedett hulladékgazdálkodási tevékenységek jelentős részére kiterjednek, azonban nem vonatkoznak a hulladéklerakásra, a hulladékégetésre és együttégetésre. (Ez utóbbiakra külön BREF került kiadásra, a lerakásra vonatkozóan pedig – annak megszűnő jellege miatt – nincs BREF.) Hulladékhasznosítás esetén a kapacitáshatárok: veszélyes hulladéknál 10 tonna/nap, nem veszélyes hulladéknál 75 tonna/nap.

Az IED irányelv előírja, hogy az EU-tagállamok meglévő, a végrehajtási határozattal érintett hulladékkezelő üzeleinek a közzétételtől számított 4 éven belül, vagyis 2022. augusztus 17-ig meg kell felelniük a BAT-követelményeknek. A végrehajtási határozat hatályba lépését követő új engedélyezési eljárások során ezeket az előírásokat már figyelembe kellett venni.

Az elérhető legjobb technika meghatározásánál a 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet 9. számú melléklete szerint különösen a következő szempontokat kell figyelembe venni:

- kevés hulladékot termelő technológia alkalmazása;
- kevésbé veszélyes anyagok használata;
- a folyamatban keletkező és felhasznált anyagok újrahasználatának, és a hulladékok újrafeldolgozásának elősegítése;
- alternatív üzemeltetési folyamatok, berendezések vagy módszerek, amelyeket sikerrel próbáltak ki ipari méretekben;
- a műszaki fejlődésben és felfogásban bekövetkező változások;
- a vonatkozó kibocsátások természete, hatásai és mennyisége;
- az új, illetve a meglévő létesítmények engedélyezésének időpontjai;
- az elérhető legjobb technika bevezetéséhez szükséges idő;

- a folyamatban felhasznált nyersanyagok (beleértve a vizet is) fogyasztása és jellemzői és a folyamat energiahatékonysága;
- annak igénye, hogy a kibocsátások környezetre gyakorolt hatását és ennek kockázatát a minimálisra csökkentsék vagy megelőzzék;
- annak igénye, hogy megelőzzék a baleseteket és a minimálisra csökkentsék ezek környezetre gyakorolt hatását;
- a magyar környezetvédelmi közigazgatási szervek vagy a nemzetközi szervezetek által közzétett információk, továbbá az Európai Bizottság által a tagállamok és az érintett iparágak között az elérhető legjobb technikákról, a kapcsolódó monitoringról és a fejlődésről szervezett információcserének a Bizottság által közzétett tapasztalatai.

### ***Esszenciális mikroelemek jelentősége***

Jó minőségű és megfelelő hozamú mezőgazdasági termék biztonságos termesztésének alapvető feltétele a növények megfelelő, harmonikus tápanyagellátása, érteve ez alatt nemcsak a legfontosabb makro tápelemek (N, P, K), hanem az egyes növények igényeihez igazított mikroelemek megfelelő biztosítását is. Évtizedek óta folynak kutatások a SZE Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Karán Dr. Szakál Pál vezetésével arról, hogy miként lehet nagy tisztaságú ipari hulladékokat új vegyületek, termésmnövelő anyagok, növényvédő szerek és azok kijuttatási módszereinek kifejlesztésére használni, egyúttal megfelelni a körforgásos gazdaság igényeinek, csökkentve a hulladékok elhelyezéséből eredő problémákat és növelve az energiahatékonyságot. A cél, hogy ezek révén javuljon a megtermelt, előállított élelmiszerek minősége *Szakál et al. (2018), Giczi et al. (2021)*.

A mikroelemek a növényekben csak csekély mennyiségben fordulnak elő, ennek ellenére a növényi életfolyamatokban betöltött szerepük alapvető jelentőségű, hiányuk vagy feleslegük biokémiai változásokat okoz. A növények számára élettanilag fontos, ún. esszenciális mikroelemek többségükben fémionok. Ezek közül a réz, a cink és a vas jelentőségét *Szakál et al. (2015), Szakál et al. (2021)*. nyomán az alábbiakban mutatjuk be.

A **réz (Cu)** a növényekben átlagosan 2-20 mg/kg szá. mennyiségben fordul elő, specifikus élettani hatását a szakirodalom kis ionátmérvőjével, nagy atomtömegével, változó vegyértékével és komplexképző hajlamával magyarázza. Enzimek



alkotórészeként részt vesz az elektrontranszportban és légzési anyagcserében, fontos szerepet játszik a fehérjeszintézis és a szénhidrát-anyagcsere folyamataiban. A réz felvétele két vegyértékű kation ( $\text{Cu}^{2+}$ ) formájában vagy szerves anyagokhoz kötve történik Szakál *et al.* (2012) Giczi *et al.* (2020). A talajokban a huminsavakkal és a fulvósavakkal alkotott komplexekben található.

Rézhiány következtében a növények növekedése lassul, a levelek szürkés zöldekké válnak, klorotikusak lesznek. A hiánytünetek mindig a fiatal növényeken jelentkeznek. Gabonaféléknél a rézhiány a levelek kifehéredésével kezdődik, jellegzetes tünet az ún. „fehérkalászság”. A rézhiányos állományok gátolt buga-, illetve kalászképzése, valamint a léha szemek részarányának növekedése jelentős veszteségekhez vezet. Gabonafélékre jellemző rézhiány-tünetek láthatók a 4. ábrán.

A réz pótlása történhet a talajon keresztül (mikroelem trágyák, egyszerű szervesetlen sók, kelátok), illetve levéltrágyázás formájában.



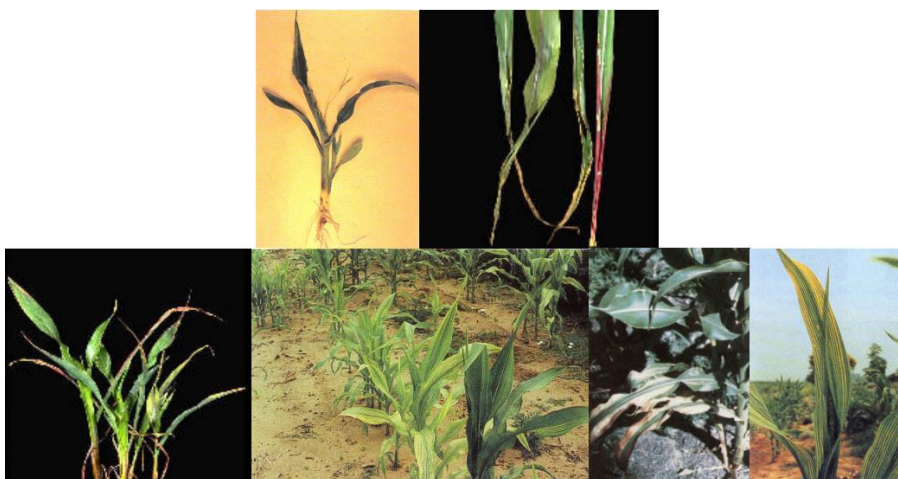
*Forrás: A Mikroelemek Növényáplálási Jelentősége | PDF (scribd.com)*

4. ábra: Jellegzetes rézhiány-tünetek gabonaféléken

Figure 4: Typical copper deficiency symptoms in cereals

A **cink (Zn)** jelentős enzimalkotórész és enzim aktivátor. Részt vesz a fehérje anyagcserében és a növények növekedésszabályozásában. A növények a cinket kation ( $\text{Zn}^{2+}$ ), illetve kelatizált formában veszik fel a talajból. Átlagos előfordulása a növényekben 25 és 150 mg/kg sza. Az állomány elégtelen cinkellátottságára figyelmeztet, ha a levélszövet cinktartalma 20 mg/kg sza. alatt van.

Cinkhiány esetén a felső levelek érkező klorózisa, majd a levéllemez teljes kifehéredése tapasztalható. A levelek aprók maradnak, és a fellépő auxinhiány miatt rozettásodás, torzulás, valamint törpe szártágúság figyelhető meg. A cinkhiány a kukoricán és a cirkon a legszembetűnőbb.



Forrás: *A Mikroelemek Növénytáplálási Jelentősége* | PDF (scribd.com)

5. ábra: Jellegzetes cinkhiány-tünetek a kukoricán

Figure 5: Typical zinc deficiency symptoms in maize

Jellegzetes cinkhiány-tünetek láthatók az 5. ábrán. A hiány következtében a kukorica növekedése visszafogottá válik, az ízközök lerövidülnek. Az állomány lemarad az adott fenológiai fázisra jellemző növénymagasságtól. A hiány következtében az idősebb leveleken a középér mellett mindkét oldalon fehéres-halványsárgás klorotikus csíkok alakulnak ki. Tartós hiány esetén a levél sötét, bronzszínű lesz, majd nekrotizál. Az egészen fiatal levelek is jellegzetes hiánytüneteket mutatnak: világossárgák, közel fehér színűek lesznek. Ezt a jelenséget „rügyfehéredésnek” nevezzük.

Krónikus cinkhiány esetén a virágképződés késik, sőt sok esetben el is marad. A virág- és termésképzési zavarok következtében erős hiány esetén akár 80%-kal is csökkenhet a hektáronkénti termésmennyiség. A cinkhiány a kezdeti tünetek megjelenésekor még orvosolható, azonban gyakorlati szempontból legnagyobb jelentősége a talajvizsgálatokon alapuló megelőzésnek van. A cinkpótlás talaj- és levéltrágyázással

egyaránt megoldható. Az alkalmazható anyagok spektruma a szervetlen cink-sóktól a különböző komplex vegyületekig széles skálán mozog *Matus et al. (2020)*.

A **vas (Fe)** a növényi légzésben, anyagcserében, fotoszintézisben, valamint a fehérjeképző folyamatokban nélkülözhetetlen mikroelem. Legnagyobb része a növények leveleiben, a színtestecskek közelében található. Szerepe a katalázban, citokrómokban és egyéb vastartalmú enzimekben a vas oxidációs-redukciós képességén alapul. A növény a vasat két- és három vegyértékű kationként ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ), valamint komplex szerves sók formájában is képes felvenni, azonban leginkább az  $\text{Fe}^{2+}$  forma felvétele dominál. Átlagos mennyisége a különböző növényi részekben 100-200 mg/kg szá. értékek között változik.

A vashiány jellemző tüneteit mutatja be a *6. ábra*.



*Forrás: A Mikroelemek Növény táplálási Jelentősége | PDF (scribd.com)*

*6. ábra:* Jellegetes vashiány-tünetek gabonafélék, kukorica, repce, szőlő esetében

*Figure 6:* Typical iron deficiency symptoms in cereals, maize, rapeseed, grapes

Vashiány esetén a növény klorofiltartalma csökken és a fehérjeszintézis gátoltá válik. A hiány jellegetes tünete a klorózis. A fiatal levelek érközei világosodnak, sárgulnak, míg az erek zöldek maradnak. Egyszikűeknél jellegetes hosszanti levélcsíkozottság jelentkezik. Súlyos hiány esetén a levelek szinte teljesen kifehérednek és a levelek erezte sem különül el a levéllemez többi részének színétől. Csökkent hajtásnövekedés, levél- és hajtáselhalás, valamint a szőlőnél bogyólerégés alakulhat ki, mely jelentős termésveszteséghez vezethet. A vashiányra a gyümölcsösök és a szőlő ültetvények különösen érzékenyek. Pótlása talaj- és levéltrágyázással egyaránt végezhető.

***Nagy tisztaságú technológiai hulladékok hasznosítása a nyomelem-pótlásban***

Alapvetően a hulladékjegyzékről szóló 72/2013. (VIII. 27.) VM rendelet szerinti 06 főcsoportban, a szervetlen kémiai folyamatokból származó hulladékok között található azok a nagy tisztaságú réz-, cink- és/vagy vastartalmú technológiai hulladékok, amelyek másodnyersanyagként használhatók fel mezőgazdasági célokra alkalmas komplex vegyületek (készítmények) előállításánál. Ezekkel a készítményekkel egyrészt pótolható a termőtalaj esszenciális mikroelem-hiánya, másrészt a növények felületére történő közvetlen kijuttatással megszüntethetőek a réz-, cink-, illetve vashiányból adódó termesztési problémák, ezáltal növelhető a termés hozam és javítható a termés minősége.

A készítmények fizikai-kémiai úton történő előállításához felhasználható, nagy tisztaságú technológiai veszélyeshulladék-típusokat mutat be az 1. számú táblázat.

1. táblázat: Mikroelem-tartalmú készítmények előállításához használható veszélyeshulladék-típusok

Table 1: Types of hazardous waste for the production of microelements

HAK kód	Megnevezés
01 03 07*	Fém-tartalmú ásványok fizikai és kémiai feldolgozásából származó, veszélyes anyagokat tartalmazó egyéb hulladék
06 01 01*	Kénsav és kénessav (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
06 01 02*	Sósav (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
06 01 04*	Foszforsav és foszforosav (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
06 01 05*	Salétromsav és salétromossav (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
06 02 01*	Kalcium-hidroxid (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
06 02 03*	Ammónium-hidroxid (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
06 02 04*	Nátrium- és kálium-hidroxid (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
06 02 05*	Egyéb lúg (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
06 03 13*	Nehézfémeket tartalmazó szilárd sók és oldataik (réz-, vas- illetve cink-tartalommal)
06 03 15*	Nehézfémeket tartalmazó fémoxid (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
06 06 02*	Veszélyes szulfidvegyületeket tartalmazó hulladék (réz-, vas- illetve cink-tartalommal)
11 01 05*	Reve eltávolítására használt sav (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
11 01 07*	Pácolásra használt lúg (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
11 01 08*	Foszfátózásból származó iszap
12 01 14*	Veszélyes anyagokat tartalmazó, gépi megmunkálás során képződő iszap (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
16 03 03*	Veszélyes anyagokat tartalmazó szerves hulladék (réz-, vas- illetve cinktartalommal)
16 05 07*	Használatból kivont, veszélyes anyagokból álló vagy azokkal szennyezett szerves vegyszerek (réz-, vas- illetve cinktartalommal)

*A C-komplex termékcsalád*

A különböző növényi fajoknak és fajtáknak különböző az optimális tápanyagigénye, ezért a növénytermesztési célokra alkalmas készítmények a mikroelem sók és mikroelem komplexek különböző koncentrációit tartalmazzák vizes oldatban, amelyek makro tápanyag (vinasz) hozzáadásával és/vagy cukor (szacharóz) típusú szénhidrát-komplex

kialakításával válnak a mezőgazdaságban levéltrágyaként felhasználható készítménnyé. A stabil szacharóz komplex kialakulását karbamid hozzáadása biztosítja. Az egyszerű fizikai-kémiai módszerekkel előállított mikroelemes műtrágyákkal dúsított szerves trágya kijuttatása közvetlenül a növények felületére történik. A vinasz, a napraforgóolaj és növénykultúránként változó mennyiségű cukor a készítménynek a növény felületén való jobb megkötődését is szolgálja, emellett kedvező a vinasz jelentős a növényi tápelem-tartalma.

A készítményhez felhasznált vinasz szintén ipari hulladék/melléktermék, ami nagy mennyiségben keletkezik a szeszipar fermentációs folyamatai során, az etil-alkoholnak/bioetanolnak a cukortartalmú (cukorrépa, cukornád, cukorcirok, melasz, izocukor), keményítőtartalmú (kukorica, burgonya, gabonafélék), illetve egyéb lignocellulóz-tartalmú anyagok, mint alapanyagok felhasználásával történő előállításakor. A vinasz jellemzője a nagy biológiai és kémiai oxigénigény, a mintegy 21% fehérjetartalom és a jelentős szerves sav- és polifenol-tartalom.

A Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság által a termésmenvelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet alapján kiadott forgalomba hozatali és felhasználási engedély szerint a fentieknek megfelelően előállított **C-komplex termékcsalád** egyes készítményei világosbarna színű, jellegzetes enyhe vinasz szagú folyadékok, és a következő kereskedelmi néven kerülnek forgalomba:

- C-komplex Universal A;
- C-komplex Universal B;
- C-komplex Kalászosok, napraforgó;
- C-komplex Keresztesvirágúak, pillangósok,
- C-komplex Bio;
- C-komplex Kukorica.

Az egyes termékek felhasználási jellemzőit és a javasolt kezelési időpontokat az alábbiak szerint írja elő az engedély.

#### *C-komplex Universal-A*

Valamennyi szántóföldi és kertészeti kultúra *levéltrágyázására* 4-20 l/ha mennyiségben, legfeljebb 0,2 %-os töménységben, a tenyészidőszak alatt két alkalommal, a gyártó szaktanácsadása szerint kijuttatva lehet alkalmazni.

Javasolt kezelési időpontok:

- kalászos növényeknél a bokrosodás végén, majd a kalászosítás kezdetén,
- kukoricánál 4-6 leveles, majd 8-12 leveles állapotban,
- pillangós növényekben az intenzív vegetatív fejlődés megindulása után, majd virágzás előtt,
- olajos magvú növényeknél a kelést követően 5-6 héttel (őszi vetésűeknél márciusban) valamint a bimbós állapot kezdetéig,
- zöldség- és dísznövényekben a kelést követően 3-4 héttel, majd 3-4 héttel később, de legkésőbb bimbós állapotban,
- gyümölcs és szőlő ültetvényekben a levélképződést követően 3-4 héttel, majd 3-4 héttel később, de legkésőbb a virágképződésig kijuttatva.

#### *C-komplex Universal-B*

Gabonafélék, olajos növények, kertészeti kultúrák *levéltrágyázására* 4-20 l/ha mennyiségben, legfeljebb 0,2 %-os töménységben, a tenyészidőszak alatt két alkalommal a gyártó szaktanácsadása szerint kijuttatva.

Javasolt kezelési időpontok:

- kalászos növényeknél a bokrosodás végén, majd a kalászosítás kezdetén,
- kukoricánál 4-6 leveles, majd 8-12 leveles állapotban,
- olajos magvú növényeknél a kelést követően 5-6 héttel (őszi vetésűeknél márciusban) valamint a bimbós állapot kezdetéig
- zöldség és dísznövényekben a kelést követően 3-4 héttel, majd 3-4 héttel később, de legkésőbb bimbós állapotban,
- gyümölcs és szőlő ültetvényekben a levélképződést követően 3-4 héttel, majd 3-4 héttel később, de legkésőbb a virágképződésig kijuttatva.

#### *C-komplex Kalászosok, napraforgó*

- kalászos növények *levéltrágyázására* 4-20 l/ha mennyiségben, legfeljebb 0,2 %-os töménységben, a tenyészidőszak alatt két alkalommal, bokrosodás kezdetén és kalászosítás kezdetén (sörárpa esetén kalászosláskor) kijuttatva,
- napraforgó *levéltrágyázására* 4-20 l/ha mennyiségben, legfeljebb 0,2 %-os töménységben, a tenyészidőszak alatt két alkalommal, 6-8 leveles állapotban és a virágzást megelőző időszakban kijuttatva.

*C-komplex Keresztesvirágúak, pillangósok*

- keresztesvirágú növények *levéltrágyázására* 4-20 l/ha mennyiségben, legfeljebb 0,2 %-os töménységben, a tenyészedőszak alatt két alkalommal, a kelést követően 5-6 héttel (őszi vetésűeknél márciusban) valamint a bimbós állapot kezdetéig,
- pillangósvirágú növények *levéltrágyázására* 4-20 l/ha mennyiségben, legfeljebb 0,2 %-os töménységben, az intenzív vegetatív fejlődés megindulása után, majd virágzás előtt kijuttatva.

*C-komplex Bio*

Valamennyi szántóföldi és kertészeti kultúra *levéltrágyázására* 4-20 l/ha mennyiségben, legfeljebb 0,2 %-os töménységben, a tenyészedőszak alatt két alkalommal a gyártó szaktanácsadása szerint kijuttatva.

Javasolt kezelési időpontok:

- kalászos növényeknél a bokrosodás végén, majd a kalászosítás kezdetén,
- kukoricánál 4-6 leveles, majd 8-12 leveles állapotban,
- olajos magvú növényeknél a kelést követően 5-6 héttel (őszi vetésűeknél márciusban) valamint a bimbós állapot kezdetéig
- zöldség és dísnövényekben a kelést követően 3-4 héttel, majd 3-4 héttel később, de legkésőbb bimbós állapotban,
- gyümölcs és szőlő ültetvényekben a levélképződést követően 3-4 héttel, majd 3-4 héttel később, de legkésőbb a virágképződésig kijuttatva.

*C-komplex Kukorica*

Kukorica *levéltrágyázására* 4-20 l/ha mennyiségben, legfeljebb 0,2 %-os töménységben, a tenyészedőszak alatt két alkalommal, 6-8- valamint 8-12 leveles állapotban.

C-komplex termékcsalád felhasználására vonatkozó környezetvédelmi előírások a forgalomba hozatali és felhasználási engedély szerint a következők:

A készítmény a méhek és egyéb beporzást végző rovarok védelme érdekében virágzási időszakban nem alkalmazható! Virágzó gyomnövények jelenléte esetén nem alkalmazható!



Tilos a készítményt, fel nem használt maradékát, azzal szennyezett csomagolóburkolatát folyókba, állóvizekbe, vízfolyásokba, tározókba juttatni!

Bioszféra rezervátumokban, fokozottan védett területeken felhasználásuk tilos! Természetvédelmi területeken, nemzeti parkokban és tájvédelmi körzetekben kizárólag az illetékes természetvédelmi kezelő előzetes hozzájárulásával juttatható ki.

A vízi szervezetek védelme és a vízminőség biztosítása érdekében tilos a készítményt az álló- és folyóvizek partjától számított 50 m-es távolságon belül tárolni és kijuttatni.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az Európai Unió környezetvédelmi politikáját a fenntarthatóság igénye, a természeti erőforrások védelme, a gazdaság szén-dioxid-kibocsátásának drasztikus csökkentése és versenyképességének növelése, a környezet különböző terhelésektől való megóvása és nem utolsósorban az emberek egészségének, jóllétének védelme jellemzi. Ennek jegyében készült az elmúlt évben elfogadott, a körforgásos gazdaságra vonatkozó új cselekvési terv, amely a klímasemlegesség 2050-ig történő megvalósításához olyan gazdasági növekedéssel tervezi hozzájárulni, amely növeli az erőforrás-felhasználás hatékonyságát, csökkenti a nyersanyagfogyasztást és megduplázza a körforgásban felhasznált anyagok arányát, részben a hulladékból a lehető legnagyobb mértékben kinyert kiváló minőségű (másod) nyersanyaggal.

A körforgásos gazdaság innovatív gyártási technológiák használatára törekszik, ennek egyik, hazánkban már megvalósított formája szervesen vegyipari hulladékok feldolgozása a növénytermesztésben termélnövelő anyagként hasznosítható készítménnyé. Az erre irányuló kutatások évtizedek óta folynak a SZE Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Karán Prof. Dr. Szakál Pál vezetésével. A kutatások lényege röviden az, hogy miként lehet nagy tisztaságú ipari hulladékokat új vegyületek, termélnövelő anyagok, növényvédő szerek és azok kijuttatási módszereinek kifejlesztésére használni, egyúttal megfelelni a körforgásos gazdaság igényeinek, csökkentve a hulladékok elhelyezéséből eredő problémákat és növelve az energiahatékonyságot úgy, hogy az alapvető cél mégiscsak a megtermelt, előállított élelmiszerek minőségének javítása.

Ez a cikk a NÉBIH Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság által a termélnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról

szóló 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet alapján kiadott forgalomba hozatali és felhasználási engedély felhasználásával bemutatja

- a C-komplex termékcsaládot, annak előállítását és felhasználását;
- szabályozási szempontból pedig azt, hogy az ipari hulladék hasznosításával előállított terméskövelő anyag miképpen érte el a hulladékstátusz végét.

## **LEGAL REGULATION OF THE RECOVERY OF AGRICULTURAL AND INDUSTRIAL WASTE, ESPECIALLY FOR EU-SUPPORTED CIRCULAR FARMING**

MARGIT HORNYÁK – FERENC PETRÓCZKI

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Kar,  
Mosonmagyaróvár

### **SUMMARY**

The European Union's environmental policy is characterized by the need for sustainability, the protection of natural resources, the drastic reduction of the economy's carbon dioxide emissions and the increase in its competitiveness, the protection of the environment from various pressures and, last but not least, the protection of human health and well-being. To this end, a new action plan for the circular economy, adopted last year, aims to contribute to economic neutrality by 2050 through economic growth that increases resource efficiency, reduces raw material consumption and doubles the proportion of materials used in the cycle, in part with the highest possible (second) raw material extracted from the waste as much as possible.

The circular economy strives to use innovative production technologies, one of the forms of which has already been implemented in Hungary is the processing of inorganic chemical waste into a product that can be used as a yield-increasing substance in crop production. Research on this has been going on for decades under the leadership of Prof. Dr. Pál Szakál at the Faculty of Agriculture and Food Sciences of the István Széchenyi University. In short, research focuses on how high-purity industrial waste can be used to develop new compounds, crop enhancers, plant protection products and their application methods, while meet with the needs of the circular economy, reducing waste disposal

problems and increasing energy efficiency, however, the original aim is to improve the quality of the food produced.

This article is based on Act No. 36/2006 Coll. (V. 18.) using a marketing authorization issued on the basis of a MARD decree

- the C-complex product family, its production and use;
- from a regulatory point of view, how the crop-enhancing material produced by the recovery of industrial waste has reached the end of its waste status.

**Keywords:** circular economy, waste management, nutrients

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az SKHU\_1802\_31\_023 Co-innovation projekt támogatta.

## IRODALOM

A tisztább és versenyképesebb Európát szolgáló, körforgásos gazdaságra vonatkozó új cselekvési terv (A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe). Európai Bizottság, Brüsszel 2020. március 11.

Az anyagkörforgás megvalósítása – a körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terv; COM(2015) 614 final; Európai Bizottság, Brüsszel, 2015. december 2.

Az Európai Unió 6. környezetvédelmi cselekvési programja; Official Journal of the European Communities, L 242, 10 September 2002.

Az Európai Unió 7. környezetvédelmi cselekvési programja; Az Európai Unió Hivatalos Lapja, L 354, 2013. december 28.

Európai zöld megállapodás. Európai Bizottság; Brüsszel 2019. december The European Green Deal | European Commission (europa.eu)

OECD (2019), „Executive summary” in *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*, OECD Publishing, Paris

DOI: <https://doi.org/10.1787/45f7e5e5-en>

Giczi, Zs. – Kalocsai, R. – Vona, V. – Szakál, T. - Lakatos, E. – Ásványi, B. (2021): Study of the antifungal effect of a copper-containing foliar fertilizer. *Cereal Research Communications* 49, (2) 337-341.

*Giczi, Zs. – Kalocsai, R. – Vona, V. - Szakál, T. – Teschner, G. – Lakatos, E.* (2020): Réz kezelések hatása őszi búza (*Triticum aestivum* L.) hozamára és nyersfehérje tartalmára, *Acta Agronomica Óváriensis*, 61, 23-32.

*Matus, L. – Schmidt, R. – Lantos, Zs. – Szakál, P. – Szakál, T.* (2021): Impact of soil treatment with alkaline zinc carbonate on the quantity and quality of maize (*Zea mays* L.) yield. *Drc Sustainable Future: Journal of Environment Agriculture And Energy* 2, (2) 132-140.

Országos Megelőzési Program (az Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020) részeként; 2055/2013. (XII.31.) Korm. határozat

Országos Megelőzési Program (az Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2021-2027) részeként; 1704/2021. (X. 6.) Korm. határozat

*Szakál, P. – Schmidt, R. – Barkóczy, M. – Szakál, T. – Schmidt, P.* (2012): Effect of copper containing ion- exchanged synthesised zeolite on the yield and quality parameters of winter wheat, *Növénytermelés* 61, 157-160.

*Szakál, T.* (2018): Réz-tartalmú mikroelektronikai hulladékból előállított réz-ioncserélt zeolit mezőgazdasági felhasználása. In: Szalka, Éva (szerk.) XXXVII. Óvári Tudományos Napok, 2018. november 9-10.: Fenntartható agrárium és környezet, az Óvári Akadémia 200 éve - múlt, jelen, jövő. Mosonmagyaróvár, Magyarország: VEAB Agrártudományi Szakbizottság, Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar. 482, 448-454.

*Szakál T. - Barkóczy M. - Szakál P. - Schmidt R.* (2015): Agricultural use of composts prepared from trace element enriched sewage sludge of municipal waste water. In: Peter, Nemecek (szerk.) The 5th International Scientific Conference : Applied Natural Sciences Perspectives in V4 Countries Trnava, Szlovákia : University of SS. Cyril and Methodius in Trnava 204, 141-145.

*Szakál, T. - Szüle, B. - Kalocsai, R. - Korim, T. - Szalka, É. - Tóth, E. - Szakál, P.* (2021): Ion exchange with copper-tetraamine on NaA (LTA) type synthesised zeolite. *Nova Biotechnologica et Chimica* 20, (1) e886.

Úton a körkörös gazdaság felé: „zéró hulladék” program Európa számára; COM(2014) 398 final; Európai Bizottság, Brüsszel 2014. július 2.

URL<sup>1</sup>. Circular economy diagram ([ellenmacarthurfoundation.org](http://ellenmacarthurfoundation.org)) A körforgásos gazdaság irányába; az Ellen MacArthur Alapítvány jelentése 2013. (Letöltve 2021.

09.08.) A pillangóábra magyar fordítása: Zöldgazdaság 2021 tanulmány 59. oldal; Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetsége, Budapest, 2021

URL<sup>2</sup>. 2008/98/EK irányelv a hulladékról;

EUR-Lex - 32008L0098 - EN - EUR-Lex (europa.eu) (Letöltve 2021. 09.11.)

URL<sup>3</sup>. Az Európai Parlament és a Tanács 1069/2009/EK rendelete (2009. október 21.) a nem emberi fogyasztásra szánt állati melléktermékekre és a belőlük származó termékekre vonatkozó egészségügyi szabályok megállapításáról és az 1774/2002/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről (állati melléktermékekre vonatkozó rendelet) (europa.eu) (Letöltve 2021. 09. 11.)

URL<sup>4</sup> 15.1.1.28. Az egyes hulladékfajták mennyisége a kezelés módja szerint (ksh.hu) (Letöltve 2021. 09. 21.)

URL<sup>5</sup> Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control (europa.eu)

URL<sup>6</sup> A BIZOTTSÁG (EU) 2018/ 1147 VÉGREHAJTÁSI HATÁROZATA - (2018. augusztus 10.) - a 2010/ 75/ EU európai parlamenti és tanácsi irányelv szerinti elérhető legjobb technikákkal (BAT) kapcsolatos következtetéseknek a hulladékkezelés tekintetében történő meghatározásáról - (az értesítés a C(2018) 5070. számú dokumentummal történt) (europa.eu)

URL<sup>7</sup> A Mikroelemek Növénytaplálási Jelentősége | PDF (scribd.com)

*A szerzők levélcíme – Adress of the authors:*

Hornyák Margit

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár. Vár tér 2.

e-mail: hornyakmargit@t-online.hu

Petróczki Ferenc

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar  
9200 Mosonmagyaróvár. Vár tér 2.

e-mail: petroczi.ferenc@sze.hu



## REJTETT KÉSZLETEK HASZNOSÍTÁSA

LIGETVÁRI FERENC

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság – és Élelmiszer-tudományi Kar,  
Víz - és Környezettudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

### ÖSSZEFOGLALÁS

Világviszonylatban felgyorsult ipari termelés következményként mind nagyobb mennyiségben keletkezik hulladék. A hulladékok egy része a talajt, vizeket, levegőt szennyezi. A 21. század nagy problémája a keletkező CO<sub>2</sub> károsító hatásainak leküzdése. A CO<sub>2</sub> jelentősen hozzájárul a klímaváltozáshoz, a hőmérséklet emelkedéséhez. Az ENSZ, EU-os határozatok születtek, hogy milyen mértékben kell csökkenteni a CO<sub>2</sub> kibocsátást a föld átlaghőmérsékletének szintet tartása érdekében. Az éghajlatváltozás következtében mind nagyobb területen keletkezik vízhiány, mely a mezőgazdasági termelés hatékonyságát csökkenti. Új utat jelent a termőtalajok vízpótlásában a különböző öntözési módok fejlesztése, mellyel biztosítható a növények takarékos vízellátása. A körforgásos gazdálkodás bevezetésével a környezetünket károsító anyagokat jelentős mértékben tudjuk bevonni a hatékony mezőgazdasági termelésbe.

**Kulcsszavak:** klímaváltozás, szennyvíz, körforgásos gazdálkodás

### BEVEZETÉS

A természeti környezet védelme egyre inkább előtérbe kerülő feladat. A mindennapok újdonságot előidéző termelése mindössze néhány óras használatú termékekkel terheli világunkat. Jellemző példa a pandémia idején mutatkozó szájmazsk használat. A rövid idejű használat után hulladékká változott. A legnagyobb szomorúságunkra „ellepte” a földgolyót. Legnagyobb szomorúságunkra a hegycsúctól a mélytengeri felszínéig mindenütt, egyaránt megjelent. Az úgynevezett magas kultúrával rendelkező országokat

is betakarta. Olyan országban, mint Ausztrália igyekeztek összegyűjteni és az útalapba helyezni. Máshol, ahol találkozunk, vele sok-sok gondot okoz. Igazából nem a termék a hibás. A gond a társadalom tagjainak tudatával van. Ezt a zsebben könnyen elférő darabot minden nehézség nélkül a saját szemetes edényünkbe helyezhetnénk. Nem tesszük. Úton-útfélen elhajítjuk. Pedig a hulladékgyűjtő telepen békésen megférne a többi használatból kivont termékkel

Más a helyzet a néhány másodperces használatú „termékkel”. Az emberi ürülék eltávolítására felhasznált víz néhány másodperc alatt kikerül a tartózkodási helyünkből. Tehát nem kell vele tovább foglalkozni, mivel a megfelelő csőhálózaton keresztül – szervezeten- be kerül a természeti körforgásba. Napjainkban szemléletváltozás mutatkozik. Az eddig gondtalanul elhelyezett „hulladék” tartalma az utóbbi időben megváltozott. Gyógyszerek, hormonok, drogok, xenobiotikumok és mikro műanyagok jelennek meg a korábbi tartalomhoz képest. Ezek az anyagok önállóan, de különösen egymásra hatva jelentős egészség-rombolást idézhetnek elő. Ezért a szennyvizek élővízbe helyezése helyett azok összetevőit lebontani képes, baktériumokban gazdag talajokra kell bízunk. Ezt segíti elő az Európai Közösség által javasolt szürkevíz fogalom szerinti hasznosítás.

Az ENSZ jelentés szerint 2050 helyett már 2030-ban elérjük a másfél Celsius fokos felmelegedést. Az élővilág új kihívásokkal néz szembe. A világ országaiban megváltoznak az életfeltételek. A hollandok, lettek, litvánok, észtek és az EU több országában élők, mivel emelkednek a tengerszintek, így elindulhatnak –többek között- irányunkban is. A világ sok országában jelentős erőfeszítéseket tesznek az életter harmonizálására. Ezt tájformálásnak hívjuk. A megélhetéshez szükséges biodiverzitás megőrzésével képesek vagyunk megőrizni, ill. az elcsépelet divatos szóval fenntartható fejlődést garantáló komfortos megélhetést, amelynek alapja a felmelegedés ütemének csökkentése. Mivel az éghajlatváltozást nem áll módunkban elkerülni ezért fel kell készülni várható káros hatásainak csökkentésére. Az éghajlatváltozás következtében – lényegesen - növekedni fog a vízhiányos, de a víztöbbletes időszakok száma, sőt azok időtartama is. Az életet adó élelem mennyisége és minősége iránt jelentős kereslet fog mutatkozni. Különösen az agrárszakmában válik egyre fontosabbá annak a tudásnak a birtoklása, amely képes a rendelkezésre álló vízkészletek szakszerű hasznosítására. Más gazdálkodásra lesz szükség. Változni fog a víz-műszakiak szerepe is. Közösen kell tanulni és gyakorolni a jelen és a jövő igényeit kielégítő ökológiai elvű vízgazdálkodást,

főleg a vízhasznosítást. A felmelegedés miatt hazánk lakosságának, növényzetének és mezőgazdaságának egyre több vízre lesz szüksége, olyanra, amelyet a lakosság kedvező áron tud megvásárolni, amelyet a növényzet a talajból közvetlenül fel tud venni, amelyet a mezőgazdaság kedvező költségek mellett tud kijuttatni a termőterületre Varga *et al.* (2019), Varga *et al.* (2022). Hazánk aktívan részt vesz a felmelegedés ütemét csökkentő nemzetközi programban Balázs (2019).

## A GLOBALIZÁCIÓ ÉS A KÖRNYEZETTERHELÉS KAPCSOLATA

XX. század második felében a technika és a tudomány fejlődése – a korábbihoz viszonyítva – hihetetlen mértékben felgyorsult, és az informatika fejlődésének következtében, a tudomány eredményei rövid idő alatt átmentek a gyakorlatba. Ez azzal járt, hogy az egész világ globalizálódott (Anthony 2007).

*„A globalizáció a világot átfogó társadalmi kapcsolatok intenzitásának növekedése, amely révén távoli helyek úgy kapcsolódnak össze egymással, hogy az egyik helyen bekövetkező eseményeket sok kilométernyi távolságban lejátszódó folyamatok befolyásolják, és viszont.”*

Anthony Giddens

Az anyagi javak egyre bőségesebben álltak rendelkezésre. Ezeket értékesíteni kellett, és a világ nagy részén létrejött a „fogyasztói társadalom”: *ahol az egyre növekvő számú javak és szolgáltatások fogyasztása az emberi élet társadalmilag elfogadott célja, és egyszersmind sokak legfontosabb személyes motivációja.*

A termelő számára „értékes ember” csak az, aki fogyaszt, és minden lehetséges eszközzel ösztönözték is a fogyasztást. Az egyik legjelentősebb iparággá vált a reklámipar.

*Jelentős pozitív hatással van az Európai Unió gazdaságára a reklám – ezt eddig is lehetett tudni, azonban a Deloitte által készített felmérés most első alkalommal konkrét számokat is közöl erről. A tanulmány – Value of Advertising – szerint minden, hirdetésre költött euró 7 eurónyi hozzájárulást jelent a GDP-hez. Ez azt jelenti, hogy a 2014-ben 92 milliárdos EU-s reklámpiac 643 milliárd eurónyi többletbevételt hozott, vagyis a közösség GDP-jének 4,6 százalékát.” (összehasonlításként a mezőgazdaság GDP – je 436 milliárd € volt.)*



Ez a folyamat mérhetetlen „energia és anyagéséget idézett elő. Ennek kielégítése egyrészt a föld erőforrásainak egyre nagyobb fokú igénybevételével járt, másrészt a hulladék mennyiségének soha nem látott növekedését eredményezte.

Az életkörülmények javulásával meghosszabbodott az élettartam és csökkent a halálozási arány, így a népesség robbanásszerűen növekedett.

Mindemellett a század végére világossá vált, hogy a föld egy felmelegedési időszak küszöbén áll. (Ilyen folyamatot - a föld történetének utolsó 800 000 évében már kilencet-hitet érdemlően dokumentáltak, amikor ember még a földön nem is élt. ) Sajnálatos, hogy a várható felmelegedés kizárólagos előidézőjeként a „hivatalos vélemény” kizárólag az emberi tevékenység által produkált széndioxid többlet (az összes széndioxid kibocsátás 5%-a) által okozott üvegházhatás növekedését tette felelőssé. (Annak ellenére él ez a feltételezés, hogy ma már bizonyítottan vehető, hogy a korábbi felmelegedési periódusokban a felmelegedést mintegy 700 éves késéssel követte a légkör széndioxid koncentrációjának növekedése és nem fordítva.)

Már korábban számos tudós próbálta felhívni a figyelmet arra, hogy a széndioxid kibocsátás minden áron való csökkentése elhibázott koncepció. (*Karbonkredit* 2011, *Möcsényi* 2008)



*„Tízezrek kutatnak, közölnek, utaznak, tárgyalnak, költenek százmilliókat a CO<sub>2</sub> „fantom” bűvöletében. Vajon miért? Netán azért, hogy az **átokkal** együtt csökkenjen az **áldás**? Ezzel összefüggésben felmerül egy kérdés: hogyan alakul a táj ötven év múlva, ha fűzős reaktorok szolgáltatják az energiát, ha fokozatosan csökken a CO<sub>2</sub> kibocsátás és ezzel a légrágyázás?”*

Dollármilliárdokat költenek világszerte a széndioxid kibocsátás csökkentésére. Határozatok születnek (ENSZ, EU) arra vonatkozóan, hogy mennyivel növekedhet a föld átlaghőmérséklete, és ehhez milyen mértékben kell csökkenteni a széndioxid kibocsátást. (Utána persze rendre megállapítják, hogy a célkitűzés nem teljesült, és további erőfeszítéseket kell tenni.) Eközben a „Karbonkredit” biznisz a világ valaha volt legnagyobb üzletévé válik. (Karbonkredit milliárdosok).

A felmelegedés megállítása, még inkább annak visszafordítása, reménytelen vállalkozás. Ahhoz viszont már rendelkezünk megfelelő ismeretekkel és eszközökkel,

hogyan felkészüljünk a várható hatásaira, a „katasztrófából (?) előnyt kovacsoljunk. (Ez persze koránt sem hoz akkora profitot, mint a CO<sub>2</sub> elleni szélmalomharc.) Cséfalvai (2004).

Az már szinte mindenki előtt világossá vált, hogy a technika (és társadalom) fejlődésével olyan mértékű problémák (ellentmondások) halmozódtak fel, amelyek valóban veszélyeztetik az emberi társadalom létét. Egyre többen foglalkoznak a Fenntarthatóság feltételeivel, mivel felismerték, hogy a jelenlegi „berendezkedés” hosszabb távon nem fenntartható

„A világ – a gazdaság működése, energia- és nyersanyagigénye szempontjából – már elérte, sőt túl is lépte a fenntarthatóság szintjét. Jelenleg évente nagyjából 40-50 százalékkal több környezeti erőforrást használunk fel, mint amennyi 12 hónap alatt regenerálódik.” Dennis Meadows

Sokan fogalmazták meg eddig is, ma is korunk alapvető problémáit, amelyeket sürgősen meg kell oldani, ahhoz, hogy civilizáciánk fennmaradjon.



1. ábra: A jelenkor alapvető problémái

Figure 1: The fundamental problems of the present day

Sokkal együtt magam is úgy látom, hogy a közeljövő egyik legnagyobb problémája (a fentiek megoldása mellett) a bolygó élővilágának megfelelő mennyiségű édesvízzel való ellátása lesz. A bolygó egészének édesvíz készlete természetesen nem fog változni. A várható felmelegedés okozta változások miatt az édesvízhez való hozzáférés válik egyre nehezebbé *Veres (2009)*.

## A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG MEGJELENÉSE

Az évezredek során az emberi célra hasznosított víz visszakerült a hidrológiai körforgásba. Ismert, hogy a tengerek vízből a légkörbe kerülő vízmolekula nem tartalmaz sót *Kuti et al. (2014)*. Mintegy desztillált formában lép a körfolyamatba. Tehát a természet szennyezettség nélküli terméket produkál. A használat során ezt módosítjuk (néha tönkre tesszük).

Jelen viszonyok között bármire is használjuk az „a priori” minőségű folyadékot, minimális szennyezése még a legegyszerűbb használat, mondjuk a gyümölcsmosás során is bekövetkezik. A leginkább veszélynek kitett mennyiség az ipari üzemekbe „tévedettek” éri. Lelkiismeretünk megnyugtatására, másszóval, kulturáltságunk jelenlegi fokán, az éppen elfogadható anyag lehetőségünk szerint, csökkentjük a szennyezés mértékét. Azt is érdemes megjegyezni, hogy sok esetben nem a szennyezést előidézőre, hanem a társadalom többi tagjaira hárul a „közeg” használhatóvá tétele. Ezeket a társadalmi jelenségeket hívja a közgazdaság externáliának, vagyis a környéken vagy távolabb élők általi teherviselésnek.

Tehát a felhasznált (szennyezetté vált) vizet valamiféle tisztítóba juttatjuk, majd a természet által elfogadható vagy elviselt minőségi szinten az élővizekbe vezetjük. A közbenső időben mechanikai és biológiai, esetenként kémiai „műveletekkel” tesszük –a befogadó részére- szalonképessé. A szennyvizek kezelésekor keletkező szennyvíziszap a mezőgazdaság számára értékessé válhat komposztálással. Az előállított komposztok javítják a talajszerkezetet és a talajok vízháztartását *Szüle et al. (2015)*.

Ez az igyekezet leginkább szakmai vezéreltségű, azonban időszakról-időszakra a társadalmi termelés olyan termékeket állít elő, amely átvonul a tisztítási folyamaton, de nem kerül kiválasztásra. Ilyen meglepetése napjainknak a xenobiotikumok után a nano- és mikroméretű műanyag szemcsék megjelenése az emberi test kiválasztó szerveiben (tüdő, máj, vese). Az átalakulás, ill. a FELTÁRÓDÁS ALATTI HATÁSA MÉG NEM

ISMERT. Ez arra utal, hogy még a partiszűrős vízkivétel sem mentes ezektől az idegen (esetleg káros) anyagoktól. Főleg azért, mert akár az állatok, amelyek szervezetében hasonló formában jelennek meg, de az emberek is eltérő sav-koncentrációúak, így a lebontás „milyensége” nehezen prognosztizálható.

A tisztítás során keletkező iszap veszélytelenebbnek tűnik, mivel az nem kerül közvetlen az élővízbe. Hasznosítása során –nyersen vagy komposzt formájában- a talajba kerülhet Szakál et al. (2015), Szakál et al. (2014). Az égetés folyamata a légszennyezés növelését jelentheti. A szigeteletlen hulladék lerakók estében a szivárgás okozhat környezetterhelést.

Érdemi változás nem jelentkezik a biogáztermelés során sem, mivel a gázképződés folyamatában nem bomlana le a műanyagok.

### ***A szennyvízre alapozott energia-fűztermesztés***

Korábban is utaltunk rá, hogy a szennyvízbe számtalan a környezetet és élővilágot károsító anyag kerül. Jelen körülmények között még a gazdaságilag igen fejlett országokban sincs meg az anyagi fedezet ezeknek a „különlegességeknek” az eltávolítására. Az élővízbe, az élővilág táplálkozási láncába kerülve, jelenik meg az emberi szervezetben is. Hatása kevésbé, szinte alig ismert.

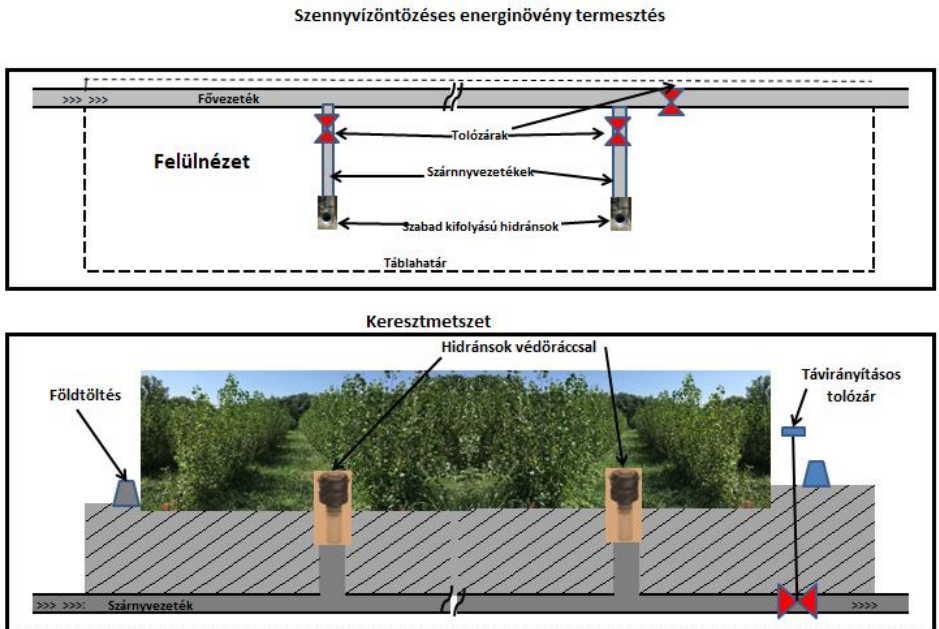
Ez adta a gondolatot, hogy hazánkban ne vezessük vissza az élővízbe a részben tisztított szennyvizet, hanem vezessük el a gyenge termőképességű talajokra. Ebben az esetben a mechanikai tisztítás után, „enyhe” biológiai javítás történjék és hagyjuk el az eutrofizációt előidéző a foszfor semlegesítését (ami rezsicsökkentést eredményez), hanem körforgásos gazdaságnak (amelyet 30 évvel ez előtt „zéró emissziós” termelésnek neveztek) megfelelően hasznosítsuk növényi tápanyagként.

A megfelelő tápanyagellátás következtében a talaj baktérium tömegének gazdag életteret alakítunk ki. S ahogy az Erdészeti Kutató Intézet egykori –Táborfalván végzett- kísérletei (Sitkei Judit tud. főmunkatárs munkája) igazolták, „egy méterrel a felszín alatt -az emberi szervezetre veszélyes mikroorganizmusok- a protozoák és azok cisztái nem voltak kimutathatók”. Ez bátorít bennünket azon javaslat megtételére, hogy –amennyiben lehetséges- az ország összes szennyvizét a bennünket óvó, ill. „oltalmazó” talajra helyezzük el, megakadályozva az élővizek és ebből adódóan az élő szervezetek védelmét, továbbá (és ez is fontos) az erdészet által előállított tűzifa mennyiségével azonos fatömeget állítsunk elő, amelyet megújuló energiaként hasznosíthatunk a fatüzelésű

erőművekben. A keletkező hamu a mezőgazdaságban újra hasznosítható lesz, tehát a tápanyagok körforgása folyamatossá tehető. Különösen az egész világon véges készlet formájában jelenlevő foszfor hasznosítása megoldódik.

Annak érdekében, hogy a vízadagolás a növény igényének megfelelően történjék, a folyómedrekből kikerült fűz állandó ellátását árasztó öntözéssel javasolt megoldani. A szerző javaslata, hogy a rizsöntözést vegyük példaként, de a földcsatornák helyett kőagyag- vagy műanyag csövekben történjék a vízszétosztás. A növény víz igényének megfelelő adagolás automatizálása is megoldható és ennek következtében a működtetési és fenntartási műveletek könnyen ellenőrizhetők lennének (2. ábra).

Ez a zárt csövezeték, de szabad kifolyású csőhálózat kevés felügyeletet, ill. minimális szakmai felkészülést igényel. Megismeréséhez mintatelepek létesítését javasoljuk.



2. ábra: A szennyvízöntözéses energinövény termesztés

Figure 2: Cultivation of energy crops for wastewater irrigation

## UTILIZATION OF HIDDEN STOCKS

FERENC LIGETVÁRI

Széchenyi István University, Agricultural and Food Sciences, Department of Water and Environmental Science, Mosonmagyaróvár

### ABSTRACT

Accelerated industrial production is generating more and more waste worldwide. Some of the waste pollutes the soil, water and air. Overcoming the harmful effects of CO<sub>2</sub> emissions is a major challenge for the 21st century. CO<sub>2</sub> contributes significantly to climate change and rising temperatures. UN and EU decisions have been made on the extent to which CO<sub>2</sub> emissions must be reduced in order to maintain the average temperature of the earth. As a result of climate change, water scarcity is occurring in an increasing area, which is reducing the efficiency of agricultural production. It can be a new way the development of different irrigation methods, that can secure the economical water replenishment of the soils. With the introduction of circular farming, we can significantly involve substances that damage our environment in efficient agricultural production.

**Keywords:** climate change, wastewater, circular farming

### ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by the interreg v-a, skhu/1802/3.1/023 co-innovation program.

### IRODALOM

- Balázs Zs.*(2019): A klímakatasztrófa is egy biznisz, ami tökéletesen illeszkedik a kapitalizmus logikájába. Quibit-Gazdaság
- Cséfalvy Z.* (2004): Globalizáció 1.0.-2.0. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- Giddens A.* (2006): Europe in Global Age. Cambridge, ISBN: 978-0-745-64011-2

*Kuti R. - Szakál T. - Szakál P. (2014): A víz fizikai, kémiai tulajdonságai, felhasználhatóságának korlátai. In: Szlávik, Lajos; Baranyai, Eszter; Szigeti Edit (szerk.) XXI. Ifjúsági Napok, Budapest, Magyarország: Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) 21, 7.*

*Mőcsényi M. (2008): CO<sub>2</sub> –H<sub>2</sub>O – TÁJ. Kézirat*

*Szakál P. - Péntek A. - Barkóczy M. - Szakál T. (2014): Hulladék réz-szulfát oldatból előállított réz-komplex hatása, az őszi káposzta repcére (Brassica napus L.) In: Szlávik, Lajos; Baranyai, Eszter; Szigeti Edit (szerk.) XXI. Ifjúsági Napok, Budapest, Magyarország : Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) 40, 7.*

*Szakál T. - Barkóczy M. - Szakál P. - Schmidt R. (2015): Agricultural use of composts prepared from trace element enriched sewage sludge of municipal waste water. In: Peter, Nemecek (szerk.) The 5th International Scientific Conference : Applied Natural Sciences Perspectives in V4 Countries*

Trnava, Szlovákia : University of SS. Cyril and Methodius in Trnava 204, 141-145.

*Szüle B. - Barkóczy M. - Kuti R. - Szakál T. (2015): The effect of composted sewage sludge on maize*

In: Peter, Nemecek (szerk.) The 5th International Scientific Conference : Applied Natural Sciences 2015. Perspectives in V4 Countries: Trnava, Szlovákia : University of SS. Cyril and Methodius in Trnava 204, 91-95.

*Varga-Haszonits Z. - Lantos Zs. - Szakál T. (2019): Az éghajlat-növény modellek módszertani alapjai. Acta Agronomica Óváriensis 60, 25-46.*

*Veress J. (2009): Gazdaságpolitika a globalizált világban. Typotex*

*Varga-Haszonits, Z. - Szalka, É. - Szakál, T. (2022): Determination of Reference Evapotranspiration Using Penman-Monteith Method in Case of Missing Wind Speed Data under Subhumid Climatic Condition in Hungary. Atmospheric and Climate Sciences 12, (02) 235-245.*

URL

[Karbonkredit.blog.hu/2011/07/12/Kik rendelkezettek eddig karbonkredittel](https://karbonkredit.blog.hu/2011/07/12/Kik_rendelkezhettek_eddig_karbonkredittel)

*A szerző levélcíme – Adress of the author:*

Ligetvári Ferenc

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszer-tudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony utca 15-17.

Email: [ferenc.ligetvari@gmail.com](mailto:ferenc.ligetvari@gmail.com)





## TÁJÉKOZTATÓ ÉS ÚTMUTATÓ A SZERZŐK RÉSZÉRE

### Általános szempontok

1. Csak önálló kutatáson alapuló, más közleményekben meg nem jelent, a növény-tudományok (kertészet, genetika, növénykórtan, állati kártevők, agrometeorológia, növényélettan, agrobotanika, stb.), állattudományok (takarmányozás, állatgenetika, állategészségügy, stb.), élelmiszer- és az ökonómiai tudományok témakörébe tartozó szakcikket közölhetünk. Szemle rovatunkba a fenti tárgykörökhöz tartozó irodalmi összefoglalók, témadokumentációk, módszertani ismertetések, stb. kerülnek.

2. Tudományos folyóiratunkban a dolgozatokat angol vagy magyar nyelven tesszük közzé. Ez attól függ, hogy az új tudományos eredmények nemzetközi vagy inkább hazai érdeklődésre tarthatnak számot. Más nyelven a továbbiakban már nem fogadunk be cikkeket. A közlemények megjelentetésekor, az adott lapszámok összeállításakor az angol nyelvű anyagok előnyt élveznek. A megfelelő nyelvi színvonal fenntartása érdekében angolul írt cikk benyújtásakor anyanyelvi lektor által kiállított igazolást is kérünk csatolni.

3. Csak formailag kifogástalan kéziratot fogadunk el.

4. A kéziratot - annak mellékleteivel együtt - elektronikusan (e-mailben) kell megküldeni Dr. Szalka Éva címére (Acta Agronomica Óváriensis Szerkesztő Bizottsága, 9201 Mosonmagyaróvár, Vár 2.; szalka.eva@sze.hu)

### A kézirat összeállítása

#### 1. Formai követelmények

1.1. A kézirat táblázatokkal és ábrákkal együtt legfeljebb 16-20 gépelt - számozatlan - oldal legyen, Times New Roman betűtípussal 11 pt betűmérettel, körben 2 cm-es margót hagyva. A gépirás fekete betűkkel, irodai (A/4-es) papír egyik oldalára, 1,5-es sorközrel történjék. Fej- és lábléc (másként: élőfej és élőláb) használatát kérjük mellőzni.

1.2. Az alcímeket, fejezetcímeket, egyéb elkülönülő részeket 1-1 üres sorral kell elválasztani a fő szövegtől, aláhúzás és sorszám nélkül.

1.3. Az idegen szavak írását fonetikusán vagy, ha még nem honosodtak meg, eredeti helyesírással kérjük.

A magyar fajnevek mellett a tudományos nevet (esetenként a címben is) fel kell tüntetni és *dőlt* betűvel írni. A fajták nevét (magyar és külföldi) a minősítésben elfogadott név szerint kell írni szintén *dőlt* betűvel (pl.: *Sinapis alba* cv. *Budakalász sárga*).

## **2. A kézirat szerkezete**

2.1. A dolgozat címe alatt a szerző(k) neve, munkahelye(ik) és annak székhelye szerepeljen. Pontos cím megadása itt kerülendő. A tudományos fokozatot és munkahelyi beosztást nem közöljük.

2.2. A tudományos közlemények kialakult rendjének és kézirat felépítését a következő csoportosítás szerint kérjük:

-Bevezetés

-Irodalmi áttekintés

-Anyag és módszer

-Eredmények

-Következtetések

-Összefoglalás

-Irodalom

az Acta Agronomica Óváriensis hagyományainak megfelelően. Egyes fejezetek a téma jellege, terjedelme szerint összevonhatók: Bevezetés és az Irodalmi áttekintés, Eredmények és a Következtetések. Az Anyag és módszer helyett a szerző a Kísérletek leírása címet is használhatja.

2.3. Az Irodalom után kérjük feltüntetni a szerző(k) levélcímét (név, munkahely és annak székhelye a postai irányítószámmal; e-mail cím).

A fentiek szerint csoportosított kéziratot kiegészítik (külön oldalakra gépelve):

·magyar nyelvű közlemény esetén

-magyar nyelvű összefoglalás a végén kulcsszavakkal

-angol nyelvű összefoglalás a dolgozat angol nyelvű címével, a szerző(k) nevével és a munkahely(ük) feltüntetésével, a végén angol kulcsszavakkal

-táblázatok és ábrák

-angol nyelvű táblázat- és ábracímek

-az ábrák feliratait és a táblázatok fejléceit angol fordításban, számozva pl:

*1. táblázat* Az egynyári szélfű előfordulása a Fertő-Hanság-medence  
kukoricavetéseiben

*Table 1 Occurrence of Mercurialis annua L. in maize fields in the Fertő-Hanság-basin*

Felvételezési hely (1)		Egynyári szélfű száma a felvételi négyzetekben (2)				Átlag db/4m <sup>2</sup> (3)
		1.	2.	3.	4.	
1.	Hanságfalva*	46	72	54	36	52
2.	Jánossomorja	38	27	25	30	30
3.	Hanságliget	2	1	4	0	2

\* a tenyészidőszak folyamán sem mechanikai, sem pedig kémiai gyomirtásban nem részesült

(1) location of survey, (2) the number of *Mercurialis annua* L. in sample squares, (3) average pc/4m<sup>2</sup>, \*during the vegetation period neither mechanical nor chemical weed control was carried out

angol nyelvű közlemény esetén

-angol nyelvű összefoglalás a végén kulcsszavakkal

-magyar nyelvű összefoglalás a dolgozat magyar címével, a szerző(k) nevével és a munkahely(ük) feltüntetésével, a végén magyar kulcsszavakkal

-külön-külön oldalakra gépelt táblázatok és ábrák (a címek, feliratok, fejlécek magyarra fordítása nem szükséges)

### **3. Irodalmi hivatkozások**

3.1. Az Irodalmi áttekintés című fejezetbe - hivatkozáskor - egy szerző esetében a szerzők családnévének *dőlt* betűvel történő leírásával és zárójelben közleményének kiadási évszámával szerepeljen, pl. *Pocsai* (1986). Szerzőpárosra történő hivatkozás esetén a két név közé "és" szót tegyen: *Pocsai és Szabó* (1983). Kettőnél több szerző esetében az elsőként feltüntetett szerző neve után *et al.* rövidítést kérjük: *Schmidt et al.* (1983). Egy mondaton vagy témakörön belül, ha több szerzőre hivatkozik, akkor a mondat vagy a témakör tárgyalása végén zárójelben kérjük a szerzők nevének és közleményei kiadási évszámának a felsorolását: (*Ivánicsics* 1971, *Gergátz és Seregi* 1985, *Szajkó* 1987). Tudományos közleményben, könyvben szereplő hivatkozásra történő utalásnál a cit. rövidítést kell használni (*Wagner* 1979 cit. *Fahn* 1982).

3.2. Az Irodalom összeállításakor a dolgozatban idézett szerzők nevét ABC- és megjelenési időrendű felsorolásban kérjük. Minden tanulmányt külön sorban kell feltüntetni.

-Folyóiratban megjelent cikkekre való hivatkozásnál a szerző családneve és keresztnévének kezdőbetűje *dőlten* szedve, a cikk megjelenésének évszáma zárójelben, a cikk címe, a folyóirat megnevezése, az évfolyam száma félkövéren, a lapszám zárójelben és a kezdő-befejező oldal száma kerül felsorolásra.

Pl: *Pocsai K.* (1986): A lóbab vetőmagszükséglet csökkentési lehetőségeinek vizsgálata. *Növénytermelés.* 35, (1) 39-44.

-Ha az idézett hivatkozás könyvben jelent meg, akkor kérjük a szerző nevét, a könyv megjelenési évszámát zárójelben, a könyv címét, kiadóját és a kiadó székhelyét közölni.

Pl: *Schmidt J.* (1995): Gazdasági állataink takarmányozása. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

-Ha olyan szerzőre hivatkozik, aki társszerzőként írt a könyvben, akkor a szerző nevét az általa írt (hivatkozott) fejezet címét kérjük feltüntetni és "in" megjelöléssel a könyv szerkesztőjének a nevét, a könyv címét, kiadóját és a kiadó székhelyét

Pl.: *Gimesi A.* (1979): A lucerna vegyszeres gyomirtása. In *Bócsa I. (szerk.): A lucerna termesztése.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

-Ha az Irodalmi áttekintésben több szerző által írt tanulmányra hivatkozott, az Irodalomban az összes szerző nevét ki kell írni és a nevek közé szóközzel kötőjelet keli tenni.

Pl: *Varga-Haszonits Z. – Varga Z. – Schmidt R. – Lantos Zs.* (1997): The effect of climatic conditions on the maize production. *Acta Agronomica Óváriensis.* 39, (1-2) 1-14.

-Külföldi szerző esetében család- és keresztnév közé vesszőt kell tenni. Magyar szerzőknél ez kerülendő.

#### **4. Ábrák és táblázatok**

4.1. A digitalizált képeket, ábrákat lehetőleg TIF, JPG kiterjesztésű állományként küldjük, és ne a dokumentumba ágyazva.

4.2. Táblázatok esetében kérjük, hogy szintén Times New Roman betűtípust használjanak. Lehetőleg mellőzzék a táblázatok különféle kerettel és vonalvastagságokkal történő tarkítását.

4.3. Kérjük az eredeti ábrák, táblázatok külön állományban (pl. XLS) történő mentését, ezeket se illesszék a dokumentumba.

4.4. Ugyanazon adatsorokat grafikus és táblázatos formában nem közöljük.

Kérjük, hogy a szövegben az ábrákra és táblázatokra (dőlt betűvel írva) minden esetben hivatkozzanak.

### **5. Lektorálás, korrektúra**

5.1. Az angol nyelvű cikkek lektorálása két szinten (anyanyelvi és szakmai bírálat) történik. Mint azt az *Általános szempontokban* említettük, a közlemény beérkezésekor benyújtott anyanyelvi lektori igazolás biztosítja az *előzetes nyelvi ellenőrzést*, amit *szakmai bírálat* követ.

5.2. A szerzők javaslatot tehetnek a két szakmai lektor személyére. A javasolt lektorok tudományos minősítéssel rendelkező személyek legyenek. A javasolt lektorokat a Szerkesztőbizottság hagyja jóvá, illetve jelöl ki új lektorokat. A lektorok nevét az évi utolsó lapszámban a borító belső oldalán – a bírált cikk megjelölése nélkül - feltüntetjük.

5.3. A lektori véleményeket a szerzőknek a kézirattal együtt megküldjük. Kérjük a szerzőket, hogy dolgozatukat a bírálók javaslata alapján módosítva mielőbb küldjék vissza e-mail-ben ([szalka.eva@sze.hu](mailto:szalka.eva@sze.hu)). Csak a végleges összeállítású, hibátlan dolgozatot tudjuk szerkeszteni.

A megjelent dolgozatokért a Szerkesztőbizottság tiszteletdíjat nem tud fizetni.

A kéziratokat a dolgozat megjelenéséig megőrizzük.

A Szerkesztőbizottság

**Kiadásért felelős:**  
Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar dékánja  
**A szerkesztőség címe**  
H-9201 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

## Tartalom

T. Szakál - R. Kalocsai - Zs. Giczi - R. Schmidt - D. Vasas - K. Kukurová - A. Světlíková - M. Polovka: Investigation of an ion-exchanged synthetic zeolite with a copper tetramine ion.....	4
T. Szakál – É. Szalka – Zs. Giczi – D. Vasas – A. Světlíková – K. Kukurová: Effect of the copper-sucrose complex from copper-containing waste on yield and quality of winter wheat.....	22
J. Molnár – R. Kalocsai – É. Szalka – T. Szakál – A. Světlíková – D. Vasas : The role of healthy eating and functional foods in the protection of the immune system, especially the consumption of vegetables and fruits: lifestyle survey among adult population.....	36
R. Kalocsai – É. Szalka – A. Světlíková – K. Kukurová – T. Szakál – Zs. Giczi – V. Vona: The principles of sustainable agricultural cultivation and the supply of nutrients to our cultivated plants.....	51
Zs. Giczi – R. Kalocsai – A. Vér – V. Vona – I. Kulmány – R. Székelyhidi: Determination of iron and sulfur content of cereal samples by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.....	66
F. Dimitrov- E. Panghyova – V. Vargova – K. Marek – S. Baxa – Z. Kovacikova: Compositions of terpenes in essential oils made of juniper berries.....	77
P J. Hecl – B. Šoltysová – I. Danielovič: The effect of tillage to quantify of carbon dioxide emissions from the soil.....	90
B. Šoltysová – M. Danilovič – P. Porvaz: The changes of selected soil chemical parameters in the long-term cultivation of <i>Arundo donax</i> L. and <i>Elymus elongatus</i> Gaertner.....	100
M. Kizeková – J. Martincová – J. Čunderlík – L. Jančová: The use of species rich associations for establishment of grasslands on arable land...	124
Vargová V. – Kováčiková Z. – Medvecký M. – Daniel J.: Analýza stavu trávnych porastov v rôznych oblastiach Slovenska.....	136
Hannus I.: Természeti és szintetizált zeolitok bemutatása és alkalmazási lehetőségeik ismertetése, kiemelten mezőgazdasági célú felhasználás céljából.....	154
Plutzer J.: A minőségi élelmiszer előállítás kockázatai a hígtrágya öntözés során.....	181
Csatai R. - Szüle B.: Réz és cink kezelések hatása az őszi búza hozamára, gazdasági elemzés.....	197
Hornýák M. - Petróczki F.: Mezőgazdasági és ipari hulladékok hasznosításának jogi szabályozása, kiemelten az EU által támogatott körforgásos gazdálkodásra.....	220
Ligetvári F.: Rejtett készletek hasznosítása.....	252
Tájékoztató és útmutató a szerzők részére.....	263