

ISSN 1336-300X



# Acta Facultatis Ecologiae



FAKULTA EKOLÓGIE  
A ENVIRONMENTALISTIKY

Journal of Faculty of Ecology and Environmental Sciences  
Technical University in Zvolen

Volume 40  
2019 – 1

PŮVODNÉ VEDECKÉ PRÁCE / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

- RÉTEALVI-SZABÓ, P. & RÉTEALVI, T.  
MICROALGAE AS NITROGEN SOURCE OF ANAEROBIC DIGESTION OF SUGAR BEET PRESSED PULP ..... 7
- TRAUTENBERGER, M., PONDELÍK, R. & OLAH, B.  
ANALÝZA DOSTUPNOSTI VYBRANÝCH EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽIEB V MESTE ZVOLEN  
THE ANALYSIS OF DEMAND FOR SELECTED ECOSYSTEM SERVICES IN THE CITY OF ZVOLEN ..... 13
- TURČÁNIOVÁ, E.  
OBSAH ŽIVÍN V LISTOCH *CALAMAGROSTIS EPIGEJOS* V OKOLÍ SKLÁDOK GUDRŇONOV  
NUTRIENT CONTENT IN ASSIMILATORY ORGANS OF *CALAMAGROSTIS EPIGEJOS*  
IN GUDRON LANDFILLS SURROUNDING ..... 23
- PREHEADOVÉ PRÁCE – REVIEWS
- ĎURICOVÁ, A. & VACEK, O.  
VYUŽITIE MATLABU PRE VÝSKUM A VZDELÁVANIE  
USING MATLAB FOR RESEARCH AND EDUCATION ..... 29

## INŠTRUKCIE AUTOROM PRE PUBLIKOVANIE V ACTA FACULTATIS ECOLOGIAE

**Acta Facultatis Ecologiae** je vedecký časopis Fakulty ekológie a environmentalistiky Technickej univerzity vo Zvolene, ktorý vychádza ako periodikum a od roku 2007 je členený na dve sekcie: ekologickú a environmentálnu. Uverejňuje **pôvodné** recenzované vedecké práce tematicky zamerané v **sekcii Ekológia** na krajinnú ekológiu, krajinné plánovanie a tvorbu krajiny, ekológiu populácií a v **environmentálnej sekcii** na problematiku antropogénnych vplyvov na prostredie, ako aj filozofické aspekty vzťahov človeka a prírody. Okrem **vedeckých prác** je v časopise možné publikovať teoretické a syntetické práce, **Prehľadové články (reviews)** a **Recenzie** knižných publikácií z uvedených oblastí.

*Príspevky na uverejnenie schvaľuje redakčná rada, ktorá zároveň určuje recenzentov príspevkov. Recenzent zhodnotí obsah práce, jej prínos a formálne náležitosti a odporúča príspevok na publikovanie. V prípade nesúhlasu autora s posudkom recenzenta rozhoduje o uverejnení príspevku redakčná rada.*

### Všeobecné pokyny

1. Príspevok musí byť svojim zameraním **v súlade s obsahovým zameraním časopisu**.
2. Vedecký príspevok musí byť **pôvodnou prácou**, t.j. nesmie byť publikovaný alebo zaslaný na publikovanie do inej redakcie. Za pôvodnosť práce i za vecnú správnosť zodpovedá autor.
3. Cieľ práce má byť jasne formulovaný. Príspevok má tvoriť ucelený, logicky usporiadaný prehľad nových pôvodných poznatkov a ich kritické hodnotenie s konkrétnymi závermi.
4. Experimentálny alebo teoretický prístup má byť primeraný. Pracovný postup má byť opísaný spôsobom, umožňujúcim jeho reprodukciu. Experimentálne údaje majú byť štanovené so spoľahlivosťou zodpovedajúcou súčasnej technike a majú byť správne interpretované.
5. Rozsah práce má zodpovedať jej vedeckému prínosu a **nemal by prekročiť 15 strán A4** napísaných v textovom editore podľa predlohy, vrátane tabuliek a grafov. Ilustrácie a tabuľky majú byť úsporné a výstižné, pričom rovnaké údaje nemožno uvádzať duplicitne v oboch formách.
6. **Príspevok** môže byť napísaný v slovenskom, českom alebo v anglickom jazyku. Za úroveň jazyka zodpovedá autor. **Abstrakt** sa uvádza vždy v anglickom jazyku. **Súhrn** je uvedený v slovenskom jazyku, len ak je celý príspevok napísaný v anglickom jazyku.

*Rukopis príspevku ako i konečná verzia príspevku (t.j. rukopis po recenznom a redakčnom pripomienkovaní a následnom spracovaní pripomienok autorom) musia byť zaslané v tlačenej forme a zároveň doručené v elektronickej podobe, resp. zaslané e-mailom na [journalafezv@gmail.com](mailto:journalafezv@gmail.com), resp. výkonným alebo technickým redaktorom príslušnej sekcie (vid. web stránku [http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna\\_struktura/fakulta\\_ekologie\\_a\\_environmentalistiky/veda\\_a\\_vyskum/acta\\_facultatis\\_ecologiae/acta\\_facultatis\\_ecologiae.html](http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struktura/fakulta_ekologie_a_environmentalistiky/veda_a_vyskum/acta_facultatis_ecologiae/acta_facultatis_ecologiae.html))*

*Termín dodania rukopisov je 31. január a 15. júl príslušného roku.*

*Recenzie je možné zasielať priebežne. Publikované budú v najbližšom čísle časopisu.*

# Acta Facultatis Ecologiae

Journal of Faculty of Ecology and Environmental Sciences  
Technical University in Zvolen

Volume 40  
**2019**

## **Editorial Board**

Editor-in-Chief  
Michal Wiezik

Vice-Editor-in-Chief  
Dagmar Samešová

Executive Editor  
Andrea Diviaková – Ecological Section  
Andrea Zacharová – Environmental Section

Technical Editors  
Anna Ďuricová, Miroslav Vanek

### **Members**

Magdaléna Bálintová, Barbara Białecka, Ján Gáper, František Hnilička, László Miklós, Volodymyr Nykyforov, Branislav Olah, Peter Ondrišík,  
Andrej Oriňák, František Petrovič, Magdaléna Pichlerová, Artur Radecki-Pawlik, Tamás Rétfalvi,  
Dagmar Samešová, Marián Schwarz, Branko Slobodník, Slavomír Stašiov,  
Jaroslava Vrábliková

### **List of Reviewers Acta Facultatis Ecologiae 40**

Igor Gallay, Helena Hybská, Tomáš Lepeška, Hana Ollerová, Zuzana Perháčová, Andrea Zacharová

© Technická univerzita vo Zvolene

ISSN 1336-300X

Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.

## OBSAH / CONTENT

### PÔVODNÉ VEDECKÉ PRÁCE / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

RÉTFALVI-SZABÓ, P. & RÉTFALVI, T. Microalgae as nitrogen source of anaerobic digestion of sugar beet pressed pulp.....	7
TRAUTENBERGER, M., PONDELÍK, R. & OLAH, B. Analýza dostupnosti vybraných ekosystémových služieb v meste Zvolen The Analysis of Demand for Selected Ecosystem Services in the City of Zvolen .....	13
TURČÁNIOVÁ, E. Obsah živín v listoch <i>Calamagrostis epigejos</i> v okolí skládok gudrónov Nutrient content in assimilatory organs of <i>Calamagrostis epigejos</i> in gudron landfills surrounding.....	23
PREHLADOVÉ PRÁCE – REVIEWS	
ĎURICOVÁ, A. & VACEK, O. Využitie MatLabu pre výskum a vzdelávanie Using MatLab for Research and Education .....	29



PÔVODNÉ VEDECKÉ PRÁCE  
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES





# MICROALGAE AS NITROGEN SOURCE OF ANAEROBIC DIGESTION OF SUGAR BEET PRESSED PULP

PIROSKA RÉTFALVI-SZABÓ<sup>1\*</sup> - TAMÁS RÉTFALVI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Sopron, Faculty for Forestry, Institute of Chemistry, Bajcsy-Zs. u. 4., H-9400 Sopron, Hungary

\*Correspondence: szabo.piroska@uni-sopron.hu; Tel.: +36-99-518-176

## ABSTRACT

Rétfalvi-Szabó, P., Rétfalvi, T.: **Microalgae as nitrogen source of anaerobic digestion of sugar beet pressed pulp**

The anaerobic digestion of sugar beet pressed pulp (SBPP) can be characterised by incomplete carbon/nitrogen ratio, because of the low nitrogen content. Current technologies apply urea dosage as nitrogen source to balance the process; our aim was to study the possible replacement by microalgae addition. The laboratory-scale, semi-continuous anaerobic co-digestion of SBPP-*Chlorella vulgaris*-used cooking oil (70-20-10% of volatile solid, respectively) was carried out and monitored by pH value, ammonium content, total phosphorus content, titrated volatile fatty acid (tVFA) content and chemical oxygen demand (COD). The mono-digestion of SBPP was performed as the control trial. The results showed 18.1% benefit of the specific methane yield; the volumetric methane yield increased by 27% compared to the mono-digestion of SBPP. Because of the followed parameters, stable run was observed and no inhibition effect was found.

**Keywords:** anaerobic co-digestion, sugar beet pressed pulp, microalgae, *Chlorella vulgaris*, used cooking oil

## INTRODUCTION

According to the most recent projections, the world's energy demand will be increased in the next decades [8], but the intensity will be lower compared to the previous period [10,12], as a result of the technological developments, higher energy efficiency and environmental anxieties.

The European Council agreed a target in year 2014, binding at European Union (EU) level of at least 27 % of renewable energy in final energy consumption by 2030. To address this, the Energy Union roadmap includes a proposal for a new renewable energy directive and a bioenergy sustainability policy. This action includes measures, which encourage the use of financial instruments to support the development of renewable capacities and the promotion of cooperation between the EU members [16].

To achieve these imposing aims, the promotion of different mixtures of renewable energy sources is necessary [9,11]. One of this energy mixes could be anaerobic digestion (AD) [23], while on the one hand, the produced methane is suitable for developing electricity, generation of

heat or applicable for using as biofuel. On the other hand, the secondary derivate from digestion - the digester effluents could provide the essential nutrients for the terrestrial plants, applicated as organic fertilisers [24, 1, 19].

The AD complies with sustainable requirements by processing of wastes from agricultural and/or industrial sector [15]. The operation with sugar beet pressed pulp (SBPP) is a beneficial way to abrogate sugar production waste [20]; nevertheless, SBPP is known as a nitrogen-deficient material, because during the sugar production, the leftover molasses accumulate the majority of nitrogen [7]. The replacement of nitrogen is performed by addition of urea in the recent digestion technology in Hungary (0.0015% of wet SBPP). The main purpose of the present study was to find an environmental-friendly and economic method to substitute the urea dosage.

The microalgal production offers many favourable properties in various aspects over the use of terrestrial plants, because they are characterised by higher photosynthetic efficiency and higher biomass yields. In addition, the non-conventional rural areas can be used for algal cultivation [13, 2].

The most forward-looking usage is the complex application in energy conversion, in the particular biofuel production, completed with anaerobic digestion. The conversion rate of biomass greatly depends on the species of algae and the pre-treatment method [5]. In AD-application of microalgal biomass, one of the greatest problems is the unfavourable macronutrient composition; optimal C/N ratio (w/w %) for AD varied between 25–30. This ratio is only 6.7 in *Chlorella* sp. and *Scenedesmus* sp. cultures [4, 25, 5, 22]. Thereby, mono-digestion of microalgae is limited. Other problems may occur from high water content; thus, not all energy conversion process can be applied [6].

In our co-digestion trials, we have targeted the maximum organic loading rate (OLR) applied in full scale anaerobic digesters (7.2 gVSL-1d-1) [21], while *Chlorella vulgaris* and used cooking oil were added as co-substrates. In the present case, the microalgae and used cooking oil functioned as the nitrogen supplement and carbon source, respectively. The aim was to investigate the long-term effects of the application. In addition, we have followed the main parameters, such as pH, ammonium content, total phosphorus, titrated volatile fatty acid (tVFA) content and chemical oxygen demand (COD).

## MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Cultivation, harvesting and pre-treatment process of *Chlorella vulgaris* microalgae

The applied biomass of *Chlorella vulgaris* (MACC-755) originated from the Mosonmagyaróvár Algal Culture Collection (MACC), and it was produced in tubular photobioreactors by Agro-Bioferment LLC in Hungary. The algal suspension was harvested by an Alfa Laval Clara 80 separator (Alfa Laval, Sweden). The biomass was oven-dried at the temperature of 40 °C.

To break the algal cells, dried biomass was ground in a porcelain mortar. Afterwards, 20 mg of algal biomass was resuspended in 100 mL distilled water, before and after the cells were disrupted. The proportion of broken cells was determined in a Brücker chamber under microscope; the number of intact cells in both samples was  $28 \pm 4\%$ .

### 2.2. Anaerobic digestion

The laboratory-scale semi-continuous experiments were carried out by German standard of VDI 4630. The sludge of 1000 mL in 2500 mL

volume bottle (Merck & Co., Germany) was prepared, fed by SBPP (70% of volatile solid-VS), *Chlorella vulgaris* (20% of VS) and used cooking oil (10% of VS) substrate mix, in case of codigestion. The mono-digestion, fed by SBPP, was applied as control. The average levels of total solid (TS) content and volatile solid content of the SBPP were 21.52% and 20.28%, respectively.

The Co-digestion was running in three parallel trials; control fermenters were duplicate. The digesters were incubated in a water bath (MemmertWNB 14 Basic, Memmert GmbH & Co.) at a constant mesophilic temperature (38 °C). The anaerobic digester inoculum was obtained from an SBPP-fed CSTR full-scale mesophilic (38 °C) biogas plant (Sugar Factory, Kaposvár, Hungary) (20 days hydraulic retention time (HRT)). The reactors were manually mixed three times per day. The biogas was collected in Tedlar® gas sampling bags, and the volume was measured daily with Hamilton Gas Tight Syringe (Sigma-Aldrich). The biogas and methane yields were recalculated according to the standard conditions for pressure and temperature. The components of produced biogas were analysed using an Ecoprobe 5-IR (RS Dynamics Ltd., Czech Republic).

A previous study [14] shows that the optimal methane yield from anaerobic digestion can be accomplished by addition of different trace elements based on the microbial consortia. Therefore, the trace element supplement solution was applied, which contained 1,625 mg of zinc, 13,640 mg of manganese, 93 mg of boron, 20,000 mg of nickel, 600 mg of copper, 50,000 mg of cobalt, 228 mg of molybdenum and 113 mg of selenium, in a special organic complex form, per kg of solution (42.2% TS). The dosing of microelements was based on our former experiments [18].

### 2.3. Chemical Analysis of Sludge

The samples of sludges (10 mL) were taken for chemical analysis before feeding. The samples were centrifuged for 10 min at 3420×g (EBA 21, A. Hettich, Germany). From the resulting supernatant, 5 mL was used for the determination of tVFA levels, using a potentiometric pH meter (Eu-Tech PC 510, ThermoFisher Scientific), and were calculated in acetic acid equivalents [17]. The TS contents of substrates and digestion sludges were determined by weight loss drying the samples at 105 °C. The TS% is a measure of the amount of material remaining after all of the water has been evaporated. The VS% was measured by weight loss ignition of the dried samples at 600 °C.

Other chemical parameters (chemical oxygen demand (COD), total P, and soluble  $\text{NH}_4^+$ ) were monitored weekly during the experiment to ensure stable operation. The COD determination was carried out according to the Hungarian standard protocol, MSZ ISO 6060. The method was based on the oxidation of the oxidisable organic matter, by an excess of potassium dichromate solution, in the presence of  $\text{HgSO}_4$  and an Ag catalyst. The excess potassium dichromate is titrated with ferrous ammonium-sulphate. The COD value was calculated from the reduced amount of  $\text{Cr}^{3+}$ . The determination of ammonium and the total phosphorus was carried out according to the Hungarian standard protocols, MSZ ISO 7150-1 and MSZ 488/18:2009, respectively. The methods are based on a manual spectrophotometric measurement. In case of the ammonium measurement, in the presence of nitrosopentaciano-sodium-ferrate, the ammonium reacts with salicylate and hypochlorite ion. The absorbance of the resulting blue compound can be measured by spectrophotometry. The water-soluble orthophosphate was determined directly; all other forms of phosphorus were converted into orthophosphate by hydrolysis and destruction. The orthophosphate gave a blue colour after the reaction of molybdate, in a sulphuric acid medium, in the presence of antimony (III) ion.

#### 2.4. Statistical analysis

The software package STATISTICA 10 (Version 10, StatSoft, Tulsa, OK, USA) was used for performing (analysis of variance) and single factor dispersion analysis to evaluate the results.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

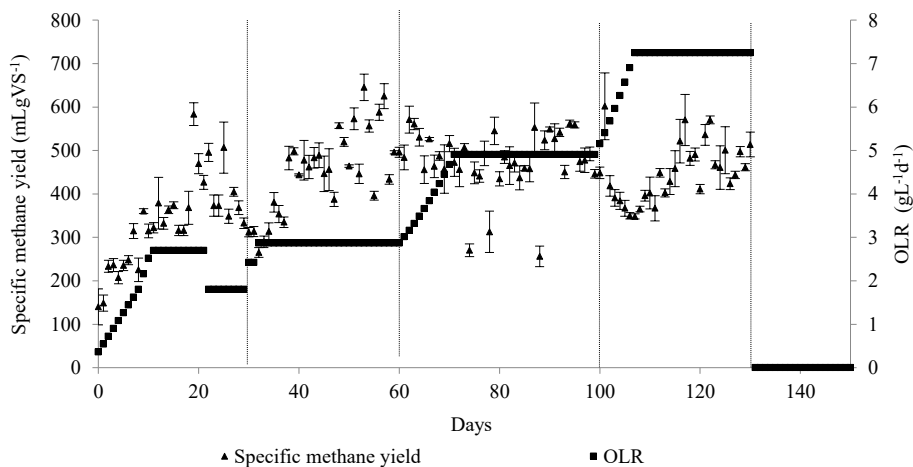
The 150-day experiment was started with adaptation period of 30 days, with 37.5% of maxima OLR, fed by SBPP (Figure 1). Afterwards, *Chlorella vulgaris* and used cooking oil co-substrates addition was applied with  $2.4 \text{ gVSL}^{-1}\text{d}^{-1}$ ; then it was raised to  $2.9 \text{ gVSL}^{-1}\text{d}^{-1}$ , which was 38.8% of maxima OLR. The loading was maintained till the 60<sup>th</sup> day, then the next increase was carried out. On the 70<sup>th</sup> day, we reached at  $4.9 \text{ gVSL}^{-1}\text{d}^{-1}$ . This stage was followed by stable run; after that, we set the last OLR lift. On 107<sup>th</sup> day, 100% of targeted OLR was achieved; the stable run lasted for 30 days. The experiment was closed with an elimination period of 20 days.

During the evaluation, we editorialised the OLR stages; the specific methane yields are shown in Table 1. In stage 1, no significant difference was observed; thus, the adaptation period was the same in both cases. During stage 2, 3 and 4, because of the co-substrate loading, significant alteration was observed compared to the control trial. The highest difference can be determined in stage 2, i.e. 27.69% (Table 1).

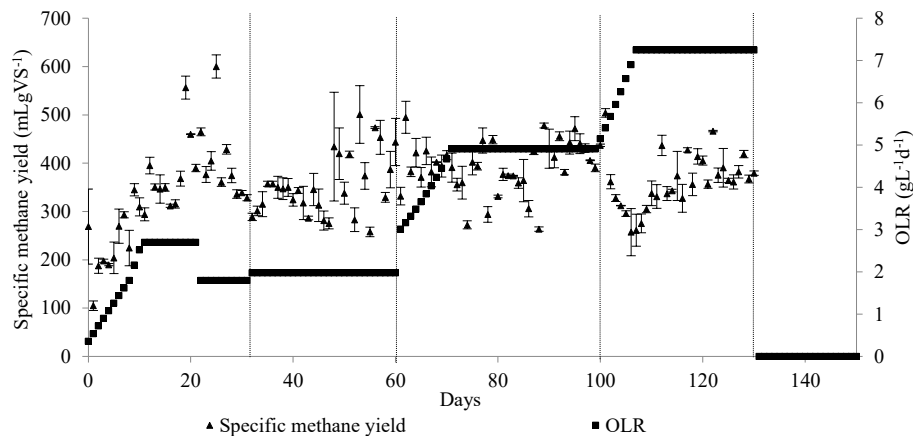
Because of the co-digestion of SBPP-*Chlorella vulgaris*-used cooking oil, the average specific methane yield achieved  $427 \pm 21 \text{ mLgVS}^{-1}$  (Figure 1), meaning 18.1% benefit was achieved compared to the control fermenters (Table 1), fed by SBPP in mono-digestion, regarding the total run. The results indicated significant growth in the methane content of the produced biogas (10.8%); the volumetric methane yield ( $\text{LL}^{-1}$ ) increased by 27%.

**Table 1. Average specific methane yields of co-digestion and control trials (different capital and small letters mean significant difference at  $p \leq 0.05$  in row and column, respectively)**

Specific methane yield ( $\text{mLgVS}^{-1}$ )	Co-digestion	Control	Difference (%)
<b>Stage 1: 1-29<sup>th</sup> day</b>	337.4 <sup>A,a</sup>	336.0 <sup>A,a</sup>	0.43
<b>Stage 2: 30-60<sup>th</sup> day</b>	445.9 <sup>A,b</sup>	349.2 <sup>B,ab</sup>	27.69
<b>Stage 3: 61-99<sup>th</sup> day</b>	478.7 <sup>A,c</sup>	393.6 <sup>B,c</sup>	21.63
<b>Stage 4: 100-130<sup>th</sup> day</b>	447.1 <sup>A,b</sup>	364.5 <sup>B,b</sup>	22.66
Average	427.2	360.8	18.10



**Fig. 1** Alteration of average specific methane yield with OLR during co-digestion of SBPP-*Chlorella vulgaris*-used cooking oil



**Fig. 2** Alteration of average specific methane yield with OLR during mono-digestion of SBPP (control)

The value of the hydraulic retention time (HRT) is one of the key parameters in full-scale AD operation. In our study, the average HRT values were equal; 96 days in co-digestion trial and control fermenters as well.

In relation to the efficiency of organic material degradation, we calculated the volatile solid reduction (VSR%) in co-digestion and mono-digestion trials; the average values were 83% and 82%, respectively.

Based on the tVFA content, the digestion showed stable operation, evidenced by the ammonium concentration, which permanently did not exceed  $5000 \text{ mgL}^{-1}$  (Table 2) – the limit of the inhibition regarding our results in accordance with the literature [3]. However, an outstanding  $\text{NH}_4^+$  value ( $6623 \text{ mgL}^{-1}$ ) was measured in case

of the co-digestion experiment on the 110<sup>th</sup> day; the next determination showed significantly lower concentration (Table 2). Thus, no intervention was necessary.

We observed no significant alteration of total phosphorus content. The relatively high initial COD values ( $11,056 \text{ mgL}^{-1}$ ) were already starting to decrease during the adaptation period in the co-digestion and control sludges as well. The highest level was observed in the stable running of maxima OLR, i.e.  $14992 \text{ mgL}^{-1}$ . Similar tendency can be observed in case of control fermenters; the highest COD concentration was revealed on the 125<sup>th</sup> day.

**Table 2. Concentrations of main parameters (tVFA, COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and total phosphorus) of co-digestion of SBPP-*Chlorella vulgaris*-used cooking oil and SBPP mono-digestion (control)**

Days	tVFA (mgL <sup>-1</sup> )		COD (mgL <sup>-1</sup> )		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mgL <sup>-1</sup> )		t P (mgL <sup>-1</sup> )	
	Co-dig.	Contr.	Co-dig.	Contr.	Co-dig.	Contr.	Co-dig.	Contr.
0.	1463		11056		2545		42	
41.	1792	1545	9590	8423	2462	2246	42	43
47.	1837	1814	7342		2526		28	
61.	1702	1646	7860	7022	3158	1765	43	39
68.	1881	1478	6961	5403	2795	1363	40	39
75.	1702	1396	6407	4156	3086	1618	82	41
83.	2016	1277	6580	4104	2392	1599	81	41
90.	2060	1571	7308	4987	3301	1392	67	41
99.	2060	1262	7768	4411	2895	1275	46	33
104.	2284	1262	8676	5445	3337	1326	44	38
110.	2464	1411	10854	6281	6623	1962	50	43
117.	2642	1314	9220	5935	2205	838	51	38
125.	2866	1262	14992	7405	3577	950	50	42

## CONCLUSIONS

In conclusion, the application of microalgae as the nitrogen source was managed successfully, which was proved to be beneficial by increasing the intensity of methane production. In case of the co-digestion of SBPP-*Chlorella vulgaris*-used cooking oil (70-20-10 % of VS, respectively) the specific methane yield achievement was 18.1% surplus; the volumetric methane yield increased by 27 %, compared to the mono-digestion of SBPP. The monitored parameters, such as tVFA, COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and tP showed stable run in both trials; however, in the co-digestion experiment, the COD values increased up to 10,000 mgL<sup>-1</sup>, which indicated a minor overload of OLR.

## Acknowledgments

This research was supported by EFOP-3.6.2-16-2017-00018 at University of Sopron project.

## REFERENCES

- Achiba, W.B.; Lakhdar, A.; Gabteni, N.; Laing, G.D.; Verloo, M.; Boeckx, P.; Cleemput, O.V. Accumulation and fractionation of trace metals in a Tunisian calcareous soil amended with farm yard manure and municipal solid waste compost. *J. Hazard. Mater.* 2010, 176, 99–108.
- Adenle, A.A.; Haslam, G.E.; Lee, L. Global assessment of research and development for algae biofuel production and its potential role for sustainable development in developing countries. *Energy Policy* 2013, 61, 182–195.
- Chen, Y.; Cheng, J.J.; Creaner, S.K. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresour. Technol.* 2008, 99, 4044–4064.
- Costa, J.C.; Gonçalves, P.R.; Nobre, A.; Alves, M.M. Biomethanation potential of macroalgae *Ulva* spp. and *Gracilaria* spp. and in codigestion with waste activated sludge. *Bioresour. Technol.* 2012, 114, 320–326.
- Dębowski, M.; Zielinski, M.; Grala, A.; Dudek, M. Algae biomass as an alternative substrate in biogas production technologies-Review. *Renew. Sust. Energy. Rev.* 2013, 27, 596–604.
- Demirbas, A. Use of algae as biofuel sources. *Energy Conversion and Management* 2010, 51, 2738–2749.
- Duraisam, R.; Salelgn, K.; Berekete, K.A. Production of Beet Sugar and Bio-ethanol from Sugar beet and it Bagasse: A Review. *International Journal of Engineering Trends and Technology* 2017, 46, 222–233.
- Fan, L-J.; Zhang, X. Energy demand and greenhouse gas emissions of urban passenger transport in the Internet era: A case study of Beijing. *Journal of Cleaner Production* 2017, 165, 177–189.
- Foster, E.; Shah, N. The unstudied barriers to widespread renewable energy deployment: Fossil fuel price responses. *Energy Policy* 2017, 103, 258–264.
- Fotis, P.; Asteriou, D. The relationship between energy demand and real GDP growth rate: The role of price asymmetries and spatial externalities within 34 countries across the globe. *Energy Economics* 2017, 66, 69–84.
- Garrett-Peltier, H. Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-

- output model. *Economic Modelling* 2017, 61, 439–447.
12. Grant, D.; Jorgenson, K.A.; Longhofer, W. How organizational and global factors condition the effects of energy efficiency on CO<sub>2</sub> emission rebounds among the world's power plants. *Energy Policy* 2016, 94, 89–93.
  13. Mussnug, J.H.; Klassen, V.; Schlüter, A.; Kruse, O. Microalgae as substrates for fermentative biogas production in a combined biorefinery concept. *J. Biotechnol.* 2010, 150, 51–56.
  14. Qiang, H.; Niu, Q.; Chi, Y.; Li, Y. Trace metals requirements for continuous thermophilic methane fermentation of high-solid food waste. *Chem. Eng. J.* 2013, 223, 330–336.
  15. Rathmann, R.; Szklo, A.; Schaeffer, R. Land use competition for production of food and liquid biofuels: an analysis of arguments in the current debate. *Renew. Energ.* 2010, 35, 14–22.
  16. Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions 2017, Renewable Energy Progress Report European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52016DC0805> (accessed on 11.02.2019.)
  17. Rétfalvi, T.; Tukacs-Hájos, A.; Szabó, P. Effects of artificial overdosing of p-cresol and phenylacetic acid on the anaerobic fermentation of sugar beet pulp. *International Biodeterioration & Biodegradation* 2013, 83, 112–118.
  18. Rétfalvi, T.; Szabó, P.; Tukacs-Hájos, A.; Albert, L.; Kovács, A.; Milics, G.; Neményi, M.; Lakatos, E.; Ördög, V. Effect of co-substrate feeding on methane yield of anaerobic digestion of *Chlorella vulgaris*. *Journal of Applied Phycology* 2016, 28, 2741–2752.
  19. Tafdrup, S. Viable energy production and waste recycling from anaerobic digestion of manure and other biomass materials. *Biomass & Bioenergy* 1995, 9, 303–314.
  20. Tian, Z.; Chauliac, D.; Pullammanappallail, P. Comparison of non-agitated and agitated batch, thermophilic anaerobic digestion of sugar beet tailings. *Bioresour. Technol.* 2013, 129, 411–420.
  21. Tukacs-Hájos, A.; Szendefy, J.; Maróti, G.; Pap, B.; Szabó, P.; Rétfalvi, T. Monitoring of thermophilic adaptation of mesophilic anaerobe fermentation of sugar beet pressed pulp. *Bioresour. Technol.* 2014, 166, 288–294.
  22. Wang, M.; Sahu, A.K.; Rusten, B.; Park, C. Anaerobic co-digestion of microalgae *Chorella* sp. and waste activated sludge. *Bioresour. Technol.* 2013, 142, 585–590.
  23. Ward, J.A.; Hobbs, J.P.; Holliman, J.P.; Jones, L.D. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresour. Technol.* 2008, 99, 7928–7940.
  24. Zhang, L.; Jahng, D. Long-term anaerobic digestion of food waste stabilised by trace elements. *Waste Manage* 2012, 32, 1509–1515.
  25. Zhong, W.; Zhang, Z.; Luo, Y.; Qiao, W.; Xiao, M.; Zhang, M. Biogas productivity by co-digesting Taihu blue algae with corn straw as an external carbon source. *Bioresour. Technol.* 2012, 114, 281–286.

# ANALÝZA DOSTUPNOSTI VYBRANÝCH EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽIEB V MESTE ZVOLEN

MARTIN TRAUTENBERGER<sup>1</sup> – RADOVAN PONDELÍK<sup>1</sup> – BRANISLAV OLAH<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra aplikovanej ekológie, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, radovan.pondelik@gmail.com

## ABSTRACT

Trautenberger, M. Pondelík, R. Olah, B.: **The Analysis of Demand for Selected Ecosystem Services in the City of Zvolen**

The paper aims to analyze an availability of selected ecosystem services (ES) in the city of Zvolen. Nowadays, the need of benefits from ecosystems is increasing, especially in urban areas. The concept of ecosystem services and green infrastructure plays a key role in achievement of favourable environment and human well-being. In the very first step a map of actual land cover and urban ecosystems was created. It served as a basis for spatial analyses and assessments of ES potential and inhabitants' distribution. Map of population distribution resulted from an overlay of census data and the habitable structures locations. ES supply potential (for CICES v.5.3 ES classes: 1.1.1.2, 4.2.2.2/3, 2.1.1.2, 2.2.1.3, 2.2.2.1, 6.1.1.1, 6.2.2.1.) was assessed by adding attributes of to land cover features following Burkhard and Kroll (2010). As an example, a demand for Air quality regulation ES and a Cultural ES (Recreation) was assessed considering a relation of ES supply potential and the population distribution.

**Key words:** ecosystem services, ecosystem services supply potential, population distribution, demand for ecosystem services

## ÚVOD

Viac než polovica svetovej populácie žije v urbánnych oblastiach a s neustále rastúcou urbanizáciou, sa budú výzvy trvalo udržateľného rozvoja koncentrovať práve na mestá. Táto myšlienka je obsiahnutá aj v jedenástom ciele pre trvalo udržateľný rozvoj OSN, ktorý hovorí, že je potrebné spraviť mestá a ich ekosystémy prístupnými, bezpečnými, odolnými a udržateľnými. Aj z tohto dôvodu je udržiavanie funkčnosti, zdravotného stavu a prístupnosti urbánnych ekosystémov kľúčovým bodom pre budúce plánovanie mestskej krajiny a miestnej legislatívy. Prístup Agentúry Európskych miest je praktickejší a odporúča pracovať na „smart mestách“, mestách odolných klíme, s dobrou sociálnou prístupnosťou. Tiež navrhuje hodnotenie dopadu a monitoring.

K naplneniu vyššie uvedeného môže výrazným spôsobom prispieť koncept ekosystémových služieb, ktoré Costanza et al. (1997) definovali ako úžitky, ktoré priamo alebo nepriamo vyplý-

vajú z ekosystémových funkcií. Štúdia TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) definovala ekosystémové služby ako priame a nepriame prínosy ekosystémov pre ľudský blahobyt. Obdobne definujú ekosystémové služby aj Boyd a Banzhaf (2007). Napriek rozdielom v definíciách, všetky zdôrazňujú spojenie medzi ekosystémami a ľudským blahobytom.

Hodnota prírody pre blahobyt človeka je už dnes všeobecne uznaným faktom a nespochybniteľne si zaslúži pozornosť aj v urbanizovanom prostredí. Chránené oblasti a ekosystémy v mestách a ich okolí poskytujú prírodné riešenia na mnohé mestské problémy, či už je to regulácia kvality ovzdušia, redukcia hlučnosti, zmierňovanie teplotných extrémov alebo povodňového nebezpečenstva. Stromy, parky, záhrady ako prvky zelenej infraštruktúry a mestské lesy pomáhajú regulovať kvalitu ovzdušia, redukovať hlučnosť, zmierňovať teplotné extrémny v letných mesiacoch, či povodňové nebezpečenstvo. Všeobecne nemá mestská vegetácia výrazný vplyv na priemernú koncentráciu polutantov, no na lokálnej

úrovni môže vhodne navrhnutá zelená infraštruktúra výrazne znížiť expozíciu obyvateľstva polutantmi (Maes et al., 2016). Nespevnené povrchy a mestská vegetácia zároveň znižujú hlučnosť absorpciou, vychýlením, odrazom, alebo rozdelením zvuku (Gómez-Baggethun et al., 2013). Tiež ponúkajú nemateriálne statky v podobe rekreačných, vzdelávacích, kultúrnych a sociálnych hodnôt. Ako sa uvádza vo výsledkovej správe (Kardan et al., 2015), ľudia žijúci v štvrtiach s vyššou hustotou stromov, alebo väčším množstvom zelených plôch, sa cítia zdravšie.

Zvýšená urbanizácia by preto mala ísť ruka v ruke so zvýšeným dôrazom na správny dizajn a adaptáciu mestskej zelenej infraštruktúry, aby sa stali mestá udržateľnými a odolnejšími. Integrácia zelenej infraštruktúry vyžaduje v prvom rade zvyšovanie povedomia medzi plánovacími subjektmi, stakeholdermi a obyvateľmi, no stále viac a viac miest si mapuje urbánne ekosystémy aby vytvorili evidenčnú základňu na zhodnotenie všetkých benefitov aktuálnej a prípadnej budúcej zelenej infraštruktúry.

Tento príspevok bol spracovaný so zámerom poskytnúť analýzu dostupnosti vybraných dôležitých ekosystémových služieb v meste Zvolen, a tak ponúknuť podklad pre lepšie rozhodovanie v prípade implementácie prvkov zelenej infraštruktúry. Vychádza z hypotézy, že najväčší dopyt po ekosystémových službách je v tých častiach mesta, kde je najvyššia koncentrácia obyvateľstva a zároveň na druhej strane najnižšie zastúpenie prírodných prvkov.

## CIELE

Hlavným cieľom práce je zhodnotiť potenciál pre poskytovanie vybraných ekosystémových služieb v meste Zvolen a zhodnotiť dostupnosť ekosystémových služieb. Pre dosiahnutie hlavného cieľa bolo potrebné v prvom rade vytvoriť mapu súčasnej krajinej štruktúry s implementáciou rozdelenia urbánnych ekosystémov ako podkladu pre priestorové analýzy a hodnotenia. Ďalším čiastkovým cieľom bolo navrhnutie vhodnej metodologickej kombinácie pre dosiahnutie relevantných výsledkov. Následným priradením kvalitatívnych

hodnôt jednotlivým prvkom bol určený ich potenciál poskytovania ES. Pre splnenie hlavného cieľa bolo tiež nutné získať čo najpodrobnejšie údaje o distribúcií obyvateľstva v meste a digitalizovať mapu, následne vybrať triedy ES, ktoré je relevantné hodnotiť v pomere k rozloženiu obyvateľov, a navrhnuť vhodný spôsob interpretácie výsledkov. Posledným cieľom je samotné vyhodnotenie dostupnosti vybraných ekosystémových služieb formou prehľadnej digitalizovanej mapy a výpočtom.

## MATERIÁL A METÓDY

Objektom nášho výskumu bola dostupnosť ekosystémových služieb v meste Zvolen. Kľúčovým krokom pre požadované hodnotenie ES bola charakteristika a podrobné štúdium skúmaného územia, a následné vypracovanie mapy súčasnej krajinej štruktúry. Na tieto účely bola ako orientačná podkladová vrstva použitá základná topografická mapa. Presnejšie obrysy jednotlivých prvkov boli určené prekryvaním s ortofotografickými snímkami serveru [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz) a spoločnosti Google LLC. Sporné miesta sa preverovali terénnym prieskumom konkrétnych lokalít. Pri mapovaní sa kládol dôraz na prvky s rozlohou nad 10 m<sup>2</sup>, ktoré budú neskôr niesť odlišné hodnoty v posudzovaní potenciálu krajiny pre poskytovanie ekosystémových služieb, čo je dôvodom, prečo nerozlišujeme cestu od vybetónovanej plochy. Pridaným faktorom pre takéto rozhodnutie bola aj celková prehľadnosť samotného mapového listu. Výber mapovaných prvkov sa tiež pridržiaval metodiky LANDEP, rozdelenia prvkov v projekte Corine Land Cover 2000 (posledná aktualizácia 2018), s tým, že o urbánnych ekosystémoch sme uvažovali podľa rozdelenia Bolund a Hanhammar (1999), aby bola relevantná výpovedná hodnota aj samotnej mapy povrchov.

Ďalším krokom bolo rozhodovanie, ktoré ES služby je relevantné hodnotiť v urbanizovanej krajine, konkrétne pre mesto Zvolen, na základe dostupnosti a presnosti údajov. S pridržiavaním sa kapitoly o mapovaní urbanizovanej krajiny publikácie Burkhard, Maes (2017) a uvažovaním podľa metodiky Burkhard, Kroll (2010), sme sa rozhodli hodnotiť potenciál územia poskytovať ekosystémové služby uvedené v Tabuľke č. 1.



**Tab. 1** Prehľad spracovaných ekosystémových služieb  
**Tab. 1** The overview of assessed ecosystem services

kód	ekosystémová služba / trieda	sekcia
1.1.1.2	Materiál z pestovaných rastlín, húb, rias a baktérií na priame použitie	zásobovacie
4.2.2.2	Nepitná povrchová voda ako materiál	zásobovacie
4.2.2.3	Nepitná povrchová voda ako zdroj energie	zásobovacie
2.2.2.1	Opeľovanie	regulačné a udržiavacie
2.2.1.3	Regulácia hydrologického cyklu a kolobehu vody	regulačné a udržiavacie
2.1.1.2	Regulácia čistoty ovzdušia biotou	regulačné a udržiavacie
6.1.1.1	Črty a vlastnosti prírodných prvkov ktoré poskytujú aktívnu, alebo pasívnu interakciu	kultúrne
6.2.2.1	Črty a vlastnosti prírodných prvkov s špeciálnou existenčnou alebo kultúrno-sociálnou hodnotou	kultúrne

Mapovanie ekosystémových služieb v tejto práci sa pridrižiava najmä publikácie Mapovanie ekosystémových služieb (Burkhard, Maes, 2017), ktorá sa drží aktuálnych trendov a ponúka komplexný návod na mapovanie ES.

Mapovanie súčasnej krajinnej štruktúry prebiehalo primárne na základe ortofotosnímkov z portálu www.mapy.cz. Ako georeferenčné body sa využila základná topografická mapa v mierke 1:10 000, a vyskytujúce sa nejasnosti sa spresnili terénnym prieskumom a porovnaním s mapovými vrstvami spoločnosti Google. Digitalizácia prebehla v programe ArcGIS 10.3. Mapová vrstva je tvorená polygónmi s hodnotami konkrétnych prvkov súčasnej krajinnej štruktúry. Priradenie jednotlivých prvkov krajinnej pokrývky k ich

označeniam v legende je uvedené v Tabuľke č. 2. Typy urbánnych ekosystémov sú uvádzané podľa Bolund a Hanhammar (1999).

Na vyhodnotenie potenciálu krajiny poskytovať ekosystémové služby sa jednotlivým prvkom súčasnej krajinnej štruktúry priradili hodnoty potenciálu poskytovať jednotlivé vybrané ekosystémové služby podľa tabuľky hodnôt z publikácie Burkhard, Kroll (2010). V Tabuľke č.2 sú uvedené hodnoty potenciálu poskytovať vybrané ES jednotlivých prvkov súčasnej krajinnej štruktúry použitých v práci v rozmedzí od 0 do 5, pričom 0 označuje žiadny potenciál, 1 = nízky potenciál, 2 = relevantný potenciál, 3 = priemerný potenciál, 4 = vysoký potenciál a hodnota 5 označuje veľmi vysoký potenciál poskytovania služby.

**Tab. 2** Prvky SKŠ a ich potenciál pre poskytovanie ekosystémových služieb  
**Tab. 2** The elements of land cover and their potential for providing ecosystem services

zmapované objekty SKŠ	prekategorizované prvky SKŠ	1.1.1.2	4.2.2.2; 4.2.2.3	2.1.1.2	2.2.1.3	2.2.2.1	6.1.1.1; 6.2.2.1
bytové domy, rodinné domy, ubytovne, internáty	obytné stavby	0	0	0	0	0	0
nebytové objekty, industriálne areály, budovy občianskej vybavenosti	komerčné objekty	0	0	0	0	0	0
cesty, železnice, chodníky, parkoviská, vybetónované plochy	komunikácie	0	0	0	0	0	0
trávniky, parky, mestská zeleň	mestská zeleň	0	0	2	0	1	3
športoviská, štadióny, detské ihriská	areály voľného času a športu	0	0	1	0	1	5
veľkoblková orná pôda	veľkoblková orná pôda	5	0	3	1	0	1
sady, vinice, záhrady	pestované plochy a záhrady	5	0	2	2	5	5
maloblková OP, mozaika polí, lúk, TTP	maloblková orná pôda	4	0	2	1	0	2
prieseky, rúbaniská	agrolesnicke plochy	3	0	2	1	3	3
lesy, mestské lesy	lesy	0	0	5	3	5	5
vodné toky	vodné toky	0	5	1	2	0	5
rybníky, nádrže, jazerá	vodné plochy	0	5	2	1	0	5

Pre potreby určenia dostupnosti vybraných ES, bolo nutné spracovať mapu distribúcie obyvateľstva v meste. Táto bola vypracovaná na základe údajov o počte obyvateľov v jednotlivých mestských obvodoch, ktoré spolu so zoznamom ulíc jednotlivých obvodov poskytol na vyžiadanie Mestský úrad mesta Zvolen. Jednotlivé obytné domy sa rozdelili podľa volebných okrskov, následne sa im pridelila hodnota množstva obyvateľov. Následne bol na účely analýzy dostupnosti vybraných ES na obytné budovy aplikovaný 100m buffer, reprezentujúci bezprostredné životné okolie obyvateľov. Po prekrytí vrstiev potenciálu poskytovania ES a distribúcie obyvateľstva s bufferom, bol pre jednotlivé služby, na konkrétnych miestach s odlišnou hustotou osídlenia určený priemerný potenciál, ktorý sa následne vydělil počtom obyvateľov. Tak sa získal približný údaj potenciálu poskytovania daných ES na jedného obyvateľa pre každú mestskú štvrť.

Pre čo najväčšiu aktuálnosť sa v práci využíva klasifikácia CICES v.5.1 (Haines-Young, Potschin, 2018), ako klasifikácia odporúčaná Stratégiou Európskej Únie pre ochranu biodiverzity do roku 2020. Na dosiahnutie tohto cieľa bolo vo väčšine prípadov nutné adaptovať staršie metodi-

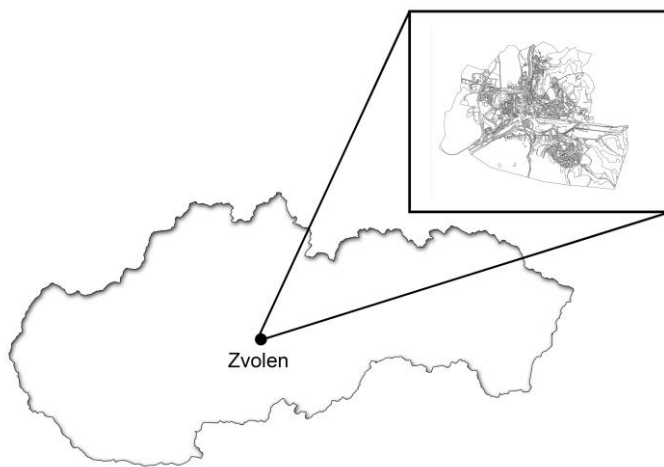
ky na novú klasifikáciu. Toto sa vykonalo pomocou príručky zo sprievodnej publikácii k CICES v.5.1. Digitálne spracovanie prebiehalo v prostredí programu ArcGIS 10.3.

Na všetkých mapových výstupoch je vyznačená z katastrálneho územia mesta Zvolen jeho južná časť, pretože je pokrytá prevažne lesom a neobsahuje žiadne mestské prvky.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Charakteristika záujmového územia

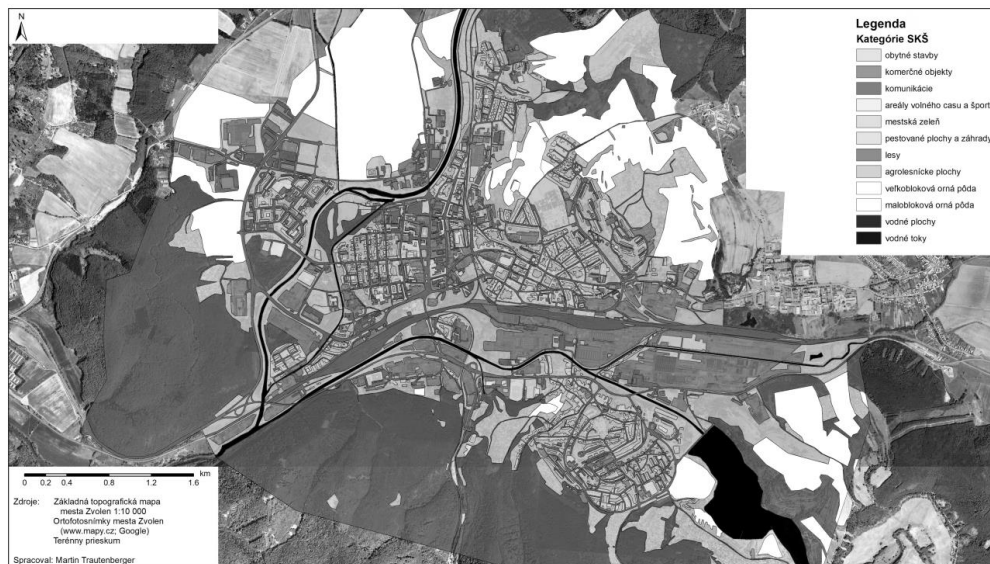
Mesto Zvolen leží v oblasti stredného Pohronia, v juhozápadnej časti Zvolenskej kotliny, na sútoku riek Hron a Slatina. Nadmorská výška najvyššieho bodu, ktorý sa nachádza v lokalite Bakova jama, je 421 m n. m. a najnižší bod, nachádzajúci sa pod Pustým hradom, leží vo výške 278,4 m n. m. Mesto Zvolen tvorí 5 katastrálnych území: Zvolen, Mŕťová, Zolná, Lukové, Kráľová. Celková rozloha mesta je 9869 ha, z čoho je 1294 ha intravilán a 8580 ha extravilán (Vaníková, 1993).



**Obr. 1** Poloha záujmového územia v rámci SR  
**Fig. 1** Location of the area of interest within Slovakia

### Charakteristika SKŠ a urbánnych ekosystémov

Mapa súčasnej krajinej štruktúry je zobrazená na Obrázku č. 2.



**Obr. 2** Mapa súčasnej krajinej štruktúry  
**Fig. 2** Map of the actual land cover

V záujmovom území sú najzastúpenejšie lesy, ktoré zaberajú takmer 30% územia. Druhou najzastúpenejšou kategóriou je mestská zeleň s viac než 20% podielom. Ďalšie prvky SKŠ s ich rozlohou v hektároch a percentuálnym podielom uvádzame v Tabuľke č. 3.

**Tab. 3** Zastúpenie prvkov súčasnej krajinej štruktúry v ha a %  
**Tab. 3** The representation of elements of the actual land cover in ha and %

prvky SKŠ	plocha (ha)	plocha v %
obytné stavby	125,9	4,4
komerčné jednotky	282,6	9,8
komunikácie	266,5	9,2
areály voľného času a športu	21,8	0,8
mestská zeleň	596,7	20,7
pestované plochy a záhrady	170,4	5,9
lesy	859,0	29,7
agrolesnicke plochy	4,4	0,2
veľkobloková orná pôda	378,2	13,1
malobloková orná pôda	91,5	3,2
vodné plochy	55,6	1,9
vodné toky	34,8	1,2

### Potenciál krajiny poskytovať vybrané ES

#### Zásobovacie ES

Prvou analyzovanou triedou zásobovacích ES tejto práce bola 1.1.1.2, ktorú možno zjednodušene interpretovať ako materiál získaný z bioty.

Priamo v osídlených častiach mesta je potenciál tejto služby, ako je bežné, veľmi nízky. Napriek tomu sa v nevelkej vzdialenosti od obytných zón nachádza výrazné množstvo záhradkárskeho osád. Tiež sa v katastrálnom území využíva množstvo poľnohospodárskej ornej pôdy. Podstata zvyšovania plochy, ktorá poskytuje potenciál

na získavanie materiálu z bioty v mestách, sa drží najmä trvalo udržateľného rozvoja a znižovania dopravnej záťaže na prepravu potravy.

Druhou triedou zásobovacích služieb mestského prostredia je voda ako materiál a voda ako energia (4.2.2.2/3). Ide o dve odlišné triedy, ktorým však podľa použitej metodiky prislúchajú rovnaké hodnoty. Toto bolo spôsobené podrobnejšou klasifikáciou v aktualizovanej verzii CICES (2018). Potenciál služieb je vysoký v bezprostrednom okolí vodných plôch a tokov. V modelovom území stojí za zmienku hlavne možnosť využívania energie vodných tokov na tvorbu elektrickej energie. Podľa správy o kvalite povrchových vôd Slovenska je kvalita vodných tokov v lokalite pravidelne v nesúlade s požiadavkami.

#### Regulačné a udržiavacie ES

Prvá hodnotená skupina ES z tejto kategórie – 2.1.1.2 – Regulácia čistoty ovzdušia - je chápaná ako schopnosť ekosystémov zadržiavať, pohlcovať, akumulovať nežiaduce látky v ovzduší, a tým udržiavať zdravšie ovzdušie. V prípade miest majú urbánne ekosystémy významný vplyv na kvalitu ovzdušia, a zákonite aj na zdravie ľudí, a ostatného života v mestách. Mesto Zvolen poskytuje veľké množstvo relevantných a pozitívne vplývajúcich plôch. Za veľmi výhodné možno tiež považovať vysoké zastúpenie lesov v okolí katastrálneho územia mesta. Na druhej strane je podľa údajov zo Správy o kvalite ovzdušia SR (2016) v meste sídlo dvoch výrazných znečisťovateľov - Zvolenská teplárenská, a. s.; Bučina DDD, spol. s.r.o. Správa vykazuje priemerné výsledky kvality ovzdušia v porovnaní s ostatkom Slovenska.

Pod Reguláciou hydrického cyklu (2.2.1.3) rozumieme schopnosť ekosystémov vodu pohlcovať a obnovovať zásoby podzemnej vody. Takúto vrstvu je napríklad v kombinácii so sklonom alebo odtokom možné použiť pri rozhodovacích procesoch v zmysle ďalšej výstavby.

Opelenie (2.2.2.1) je dôležitou ES v mestách nakoľko sa reprodukcia mnohých kultúrnych rastlín viaže na prítomnosť opelovačov a vietor. Hodnoty sú určené na základe priemerných hodnôt množstva a distribúcie rastlín na jednotlivých povrchoch a prístupnosti opelovačov. Z výsledkov sa javí veľká časť mesta ako oblasť s nízkym potenciálom pre opelenie, no pri veľkosti modelového územia, hustoty a prepojenosti mestskej zelene, by bolo pri podrobnejšej analýze možné predpokladať pozitívnejšie výsledky.

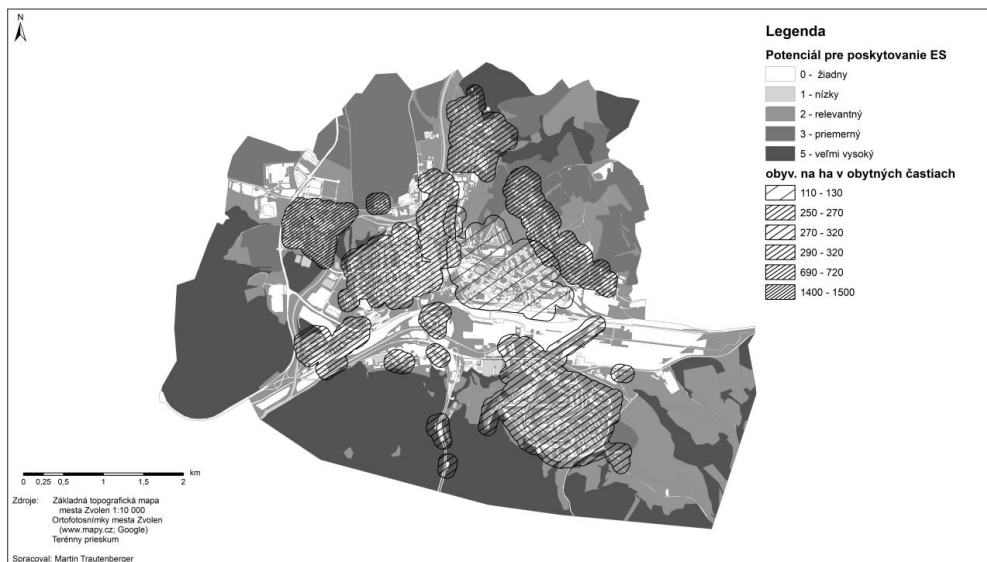
#### Kultúrne ES

Dvoma triedami ES, reprezentovanými hodnotou z tabuľky od Burkhard a Kroll (2010) sú prvky a črty prírodnej krajiny, ktoré buď ľuďom poskytujú pasívnu, či aktívnu interakciu (6.1.1.1), alebo tie s výnimočnou kultúrno-sociálnou hodnotou (6.2.2.1). Po celej ploche územia mesta je distribuovaná zeleň, ktorá zabezpečuje aspoň priemerný potenciál pre poskytovanie týchto ES. Absentujú tu len rozsiahle priemyselné areály, ktoré sú však zeleňou obkolesené. Na obyvateľa by na tomto základe malo mesto pôsobiť ako zdravé a plné zelene. Pri kultúrnych ES je možné brať do úvahy obrovské množstvo indikátorov a preto použitie týchto výsledkov má orientačný zmysel, kde sa zamerať na podrobnejšiu analýzu konkrétnych indikátorov.

#### Dostupnosť vybraných ES

Pre analýzu dostupnosti vybraných ES bola vytvorená mapa distribúcie obyvateľstva. Obytné stavby sme najprv rozriedili do obytných zón, následne sme jednotlivým obytným zónam pridelili počet obyvateľov, podľa údajov získaných z mestského úradu (údaje aktuálne k 3.1.2018). Údaj o hustote obyvateľstva sme získali vydelením počtu obyvateľov zón plochou v hektároch. Na základe výsledkov potenciálu poskytovania vybraných ES v tejto práci, a relevantnosti porovnávania výsledkov s distribúciou obyvateľstva sme sa rozhodli spracovať dve triedy ES. Prvou je Regulácia čistoty ovzdušia (2.1.1.2) na Obrázku č. 3, ktorá ovplyvňuje obyvateľov v bezprostrednej blízkosti, hlavne zachytávaním častíc PM<sub>2.5</sub> a PM<sub>10</sub>. Druhou hodnotenou kategóriou sú Kultúrne ES (6.x.x.x) na Obrázku č. 4.

Aplikáciou 100m buffera na obytné budovy vo vrstve distribúcie obyvateľstva, sme získali obytnú zónu pre hodnotenie dostupnosti ekosystémových služieb pre obyvateľov. Tú sme postupne prekryli s vrstvou potenciálu poskytovania ES 2.1.1.2 a 6.1.1.1/6.2.2.1. Vynásobením plochy prvku s hodnotou jeho potenciálu poskytovania ES, sčítaním hodnôt pre jednotlivé obytné zóny a vydelením celkovou plochou zóny, sme získali priemerný potenciál poskytovania jednotlivých ES pre bezprostrednú obytnú oblasť. Podiel priemerného potenciálu s maximálnou hodnotou (5, ak by celá plocha obytnej oblasti bola plocha pokrytá porastom lesa pri ES 2.1.1.2, pozri Tab. 2) nám dáva koeficient naplnenia potenciálu konkrétnej ES. Dostupnosť ES pre jedného obyvateľa bola vypočítaná ako plocha obytnej zóny vydele-



Obr. 3 Dopyt po ES 2.1.1.2 – Regulácia čistoty ovzdušia



Fig. 4 Demand for ES 6.1.1.1 a 6.2.2.1 – Cultural services

ná počtom obyvateľov a vynásobená koeficientom naplnenia potenciálu. Výsledkom bola dostupnosť plochy s maximálnou hodnotou potenciálu ES na jedného obyvateľa. Ide o teoretické číslo, ktoré slúži len na porovnanie jednotlivých obytných častí navzájom. Výsledky sú zaznamenané v Tabuľke č. 4.

$$D_{ES} = PI * priemP / maxP / N * 10\,000 \text{ (m}^2\text{/obyv.)}$$

Kde:

- PI – plocha obytnej oblasti
- priemP – priemerný potenciál ES v oblasti
- maxP – maximálny potenciál pre ES (5)
- N – počet obyvateľov v oblasti

**Tab. 4 Hodnotenia dopytu po vybraných ekosystémových službách**  
**Tab. 4 Evaluation of demand for selected ecosystem services**

Obytná oblasť	Počet obyvateľov	Plocha oblasti (ha)	Priemerný potenciál (pp) ES 2.1.1.2	Koef. naplnenia ES 2.1.1.2	Priemerný potenciál ES 6.x.x.x	Koef. naplnenia ES 6.x.x.x	Dostupnosť ES 2.1.1.2 na 1 obyvateľa (m <sup>2</sup> /obyv.)	Dostupnosť ES 6.x.x.x na 1 obyvateľa (m <sup>2</sup> /obyv.)
CMZ Západ	9512	220,4	0,93	0,19	1,44	0,29	43,1	12,2
Sídlisko Západ	9706	62,2	1,23	0,25	1,91	0,38	15,8	75,5
CMZ Východ	4417	144,2	0,80	0,16	1,21	0,24	52,2	13,4
Podborová	2186	68,0	1,84	0,37	2,78	0,56	114,5	150,4
Zlatý Potok	5635	85,5	1,45	0,29	1,85	0,37	44,0	62,7
Sekier	9822	231,5	1,57	0,31	2,18	0,44	74,0	29,6

Z Tabuľky č. 4 vidieť, že v oboch triedach ES vyniká ako kritická obytná zóna Sídlisko Západ, ktorá v porovnaní s ostatnými lokalitami vykazuje výrazne nižšie čísla. Obyvateľstvo je tu v pomere k potenciálu poskytovaných služieb najkoncentrovanejšie. Najhustejšie obývané sídlisko tiež susedí s veľkým komerčným a priemyselným areálom, veľkoblukovou ornou pôdou a hlavným komunikačným spojom, ktorý negatívne ovplyvňuje kvalitu ovzdušia, takže aj v širšom vnímaní ide o ohrozenú lokalitu.

CMZ Západ a Zlatý potok dosahujú z hľadiska regulácie čistoty ovzdušia veľmi podobné výsledky, no priemerná hodnota potenciálu poskytovanej ES služby je na území Zlatého potoka vyššia. Obe sídliská sú však v širšom kontexte obklopené pozitívnymi prvkami. Z hľadiska kultúrnych ES vykazuje CMZ Západ mierne lepšie hodnoty.

V poradí ďalším z pohľadu oboch tried ES je CMZ Východ, dobré výsledky sú v oboch prípadoch dosiahnuté hlavne faktom, že väčšina obyvateľstva tejto lokality žije v rodinných domoch, čo spôsobuje nízku koncentráciu obyvateľstva väčší výskyt zelene. Územie však vykazuje najhoršie hodnoty priemerného potenciálu poskytovaných ES, hlavne v prípade Regulácie čistoty ovzdušia ide o veľmi nízke číslo.

Obytná zóna s pozitívnymi výsledkami je sídlisko Sekier, ktoré síce obýva najviac obyvateľov mesta, no zaberá tiež veľkú rozlohu. Množstvo obyvateľov žije v rodinných domoch, zvýšená je koncentrácia záhrad a nachádza sa tu tiež množstvo mestskej zelene a ihrisk. Sídlisko susedí s veľkými záhradkáorskými lokalitami, s lesom aj s vodnou nádržou Môťová, takže v rozsahu nad vypočítavané údaje, môžeme očakávať len pozitívnejšie výsledky.

Ako územie s najvyšším potenciálom poskytovania ES na obyvateľa sa ukázalo sídlisko Podborová, ktoré je bohaté na mestskú zeleň, i voľnočasové a športové ihriská. V bezprostrednej blízkosti sa tiež nachádza záhradkáorská osada a lesy, ktoré síce do výsledných čísel zasahujú minimálne, no v širšom kontexte stoja za zmienku.

## ZÁVER

Príspevok predstavil postup hodnotenia potenciálu pre poskytovania ekosystémových služieb v meste Zvolen. Hodnotili sa nasledovné ES: Materiál z bioty na priame použitie (1.1.1.2), Voda ako materiál a energia (4.2.2.3, 4.2.2.2), Regulácia čistoty ovzdušia (2.1.1.2), Regulácia hydrického cyklu (2.2.1.3), Opeľovanie (2.2.2.1), Interakcia s biotou a kultúrno-sociálna hodnota bioty (6.1.1.1, 6.2.2.1). Hodnotenie vychádzalo z analýzy súčasnej krajinej štruktúry a urbánnych ekosystémov v modelovom území a ich interpretácii z hľadiska poskytovania ES.

Hodnotenie dopytu pre ES (Regulácia čistoty ovzdušia a Kultúrne služby - rekreácia) vychádzalo z priestorovej distribúcie obyvateľstva v meste, čo sa uskutočnilo na základe údajov o počte obyvateľov jednotlivých obytných zónach a už vypracovanej vrstvy SKŠ. Po zostavení metodiky na interpretáciu dopytu, sa tento vypočítal pre triedy ES 2.1.1.2 a 6.x.x.x a následne interpretoval vo výsledkoch práce.

Získané výsledky hodnotenia ES a dopytu po ES sú využiteľné pri plánovacích procesoch v meste, a to najmä navrhovaní zelenej infraštruktúry. Z výsledkov práce vyplýva, že primárne na sídlisku Západ, ktoré vykazuje výrazne najhoršie čísla, by bolo vhodné vypracovať návrh implementácie zelenej infraštruktúry, zvýšiť potenciál poskytovaných ES, a tak stabilitu ekosys-

témov sídliska a kvalitu života jeho obyvateľov. Z výsledkov je tiež zrejmé, že najvyšší potenciál pre poskytovanie vybraných ES je na sídliskách Podborová a Sekier.

### Podakovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu VEGA č. 1/0664/17 „Hodnotenie ekosystémových služieb a návrh zelenej infraštruktúry v urbánom systéme“.

### LITERATÚRA

- Bolund, p., Hunhammar, s. 1999. *Ecosystem services in urban areas. Ecological economics*, 29.2: 293-301.
- Boyd, j., Banzhaf, s. 2007. *What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological economics*. 63. 2-3: 616-626.
- Burkhard, b., Kroll f. 2010. *Maps of ecosystem services, supply and demand*.
- Burkhard, b., Maes, j. (Eds.) 2017. *Mapping ecosystem services*. Pensoft publishers, sofia, 374 p.
- Costanza, r. Et al. 1997. *The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature*387, 253 – 260
- Gómez-baggethun, e., Barton, d. 2013. *Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. Ecological economics*. 86: 235-245.
- Haines-young, r.; Potschin, m. 2018. *Common international classification of ecosystem services (cices), version 5.1. Guidance on the application of the revised structure*.
- Kardan, o. Et al. 2015. *Neighborhood greenspace and health in a large urban center. Scientific reports*, 5: 11610.
- Maes, j. Et al. 2016. *Mapping and assessment of ecosystems and their services. Urban ecosystems*. Publications office of european union, luxembourg, 2016
- Shmú, mžp sr. 2016. *Správa o kvalite ovzdušia slovenskej republiky*.
- Teeb synthesis. 2010. *The economics of ecosystems and biodiversity: mainstreaming the economics of nature: a syntehsis of the approach, conclusions and recommendations of teeb*. Earthscan, london and washington.
- Vaníková, v. 1993. *Zvolen*. Martin : neografia, isbn 80-901392-2-1.





# OBSAH ŽIVÍN V LISTOCH *CALAMAGROSTIS EPIGEJOS* V OKOLÍ SKLÁDOK GUDRÓNOV

ESZTER TURČÁNIOVÁ

Fakulta ekológie a environmentalistiky, Technická univerzita vo Zvolene, Ul. T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

## ABSTRACT

Turčániová E.: **Nutrient content in assimilatory organs of *Calamagrostis epigejos* in gudron landfills surrounding**

The aim of this article was to determine the macroelements (Ca, Mg, K, P, N, C, S) and assess the impact of gudron landfills on the content of elements in the assimilatory organs of one herb (*Calamagrostis epigejos*). The uptake and transport of nutrients from soil to plants depends on a number of factors, soil properties, pH, soil structure, plant physiological factors and so on. Samples were taken at the end of the vegetation period in 2018 from three plots - from the close surrounding of both landfills Predajná I and Predajná II. The third plot was the control one between landfills Predajná I and II. Samples were taken from several individuals of *Calamagrostis epigejos*. Macroelements were determined spectrophotometrically: P (UV - VIS), Ca, Mg, K by the AAS method. Elements like C, N and S by the CHNS / O Flash Analyzer. Element concentrations at the sites of interest correspond approximately to the standard values usually found in plants. Comparing our findings with Bowen (1979) and Reimann (2007), it can be concluded that the analysed plant species do not suffer from nutrient deficiencies and are relatively well adapted to the contaminated environment.

**Key words:** gudrons, macroelements, environmental burdens

## ÚVOD

Environmentálne záťažé predstavujú veľmi špecifické substráty a stanovištia pre výskyt vegetácie. Vyznačujú sa najmä vyššími koncentraciami rôznych polutantov v pôde, prípadne podzemnej vode. V ochrannom pásme Národného parku Nízke Tatry, v okrese Brezno sa nachádzajú 2 skládky gudrónov, ovplyvňujúce okolité prostredie výskytom a únikom ropných látok. Gudróny sú vedľajším produktom (odpadom) z rafinácie

ropy a čistenia minerálnych olejov. Z procesu výroby sa vyvážali 4 km do katastrálneho územia susednej obce Predajná, pod kótu Hôrky. Rozloha každej je cca 10 000 m<sup>2</sup> a objem 100 000 m<sup>3</sup>. Skládky Predajná I bola využívaná v rokoch 1964 – 1974 a skládka Predajná II v období 1974 – 1984. V čase výdatných zrážok bola v minulosti odčerpávaná prebytočnú povrchová voda kvôli pretečeniu odpadu cez hrádzu a odvázaná do ČOV v podniku. (Ollerová, 2004).



Obr. 1 Skládka gudrónov Predajná I (foto: autor)  
Fig. 1 The Landfill of Gudrons Predajná I (photo: the author)

## MATERIÁL A METODIKA

### Materiál, odber a úprava rastlinných vzoriek

Za účelom zistenia vplyvu skládok gudrónov Predajná I a II na obsah živín v asimilačných orgánoch *Calamagrostis epigejos*, sme odobrali vzorky v tesnej blízkosti jazier s gudrónmi (cca 0,5 – 3 m od brehu skládky). Asimilačné orgány *Calamagrostis epigejos* boli odobraté z troch sta-

novíšť na konci vegetačného obdobia. Prvý odber sa uskutočnil vo veľmi tesnej blízkosti skládky Predajná I, druhý odber vo vzdialenosti 2-3 m od skládky Predajná II a tretí odber bol uskutočnený za účelom kontroly vo vzdialenosti 100 m od skládky Predajná II, kde už nepredpokladáme žiadne účinky gudrónov. Vzorky boli následne vysušené, zhomogenizované a uložené do sušiarne na 24 hodín.



Obr. 2 Skládky v Predajnej (zdroj: google maps )  
Fig. 2 Landfills in Predajná (source: google maps)

### Mineralizácia

Mineralizácia vzoriek sa uskutočnila v prostredí  $\text{HNO}_3$  pri teplote  $115\text{ }^\circ\text{C}$  počas 30 min a po prídavku  $\text{HClO}_4$  pokračovala mineralizácia pri  $170\text{ }^\circ\text{C}$  ešte 2 hodiny v mineralizačnom bloku. Súčasne so vzorkami sa urobil slepý pokus (blanc), kde bola vzorka nahradená destilovanou vodou. Kontrola presnosti práce bola zabezpečená pomocou mineralizácie štandardných látok (Murphy, Riley, 1962).

### Analytické stanovenie prvkov

#### Stanovenie celkového P

Fosfor v rastlinných vzorkách bol stanovený v mineralizáte spektrofotometrickou metódou. Vplyv rušivých vplyvov sfarbenia samotného mineralizátu sa neguje extrakciou vzorky v n-butanole. Intenzita modrého sfarbenia – absorbanca – sa vo vzorkách meria pri vlnovej dĺžke 889 nm (UV-VIS spektrofotometer GENESYS 10, THERMO SCIENTIFIC). Koncentrácia fosforu vo vzorke sa vyhodnotí z kalibračnej čiary pripravenej z jednoprvkového štandardného roztoku fosforu s certifikovaným obsahom (Kopáček, Hejzlar, 2004).

#### Stanovenie makroprvkov Ca, Mg, K

Prvky Ca, Mg, K sa stanovili z mineralizátu metódou AAS: Ca pri vlnovej dĺžke 210,8 nm, Mg 285,8 nm a K pri 383 nm podľa Zbírala et al. (2010). Mineralizáty zo vzoriek boli pred meraním okysličené prídavkom 0,5 ml  $\text{HNO}_3$  s koncentráciou  $c = 0,2\text{ mol/l}$ . Roztoky na zhotovenie kalibračných čiar boli pripravené z jednoprvkových 33 kalibračných roztokov s certifikovaným obsahom. Meranie prebehlo na prístroji na AAS typu Perkin – Elmer 306.

#### Stanovenie C, N, S

Prvky C, N a S boli stanovené z tuhých rastlinných vzoriek (vysušených a zhomogenizovaných) na analyzátore CHNS/O FLASH 2000 (THERMO SCIENTIFIC) podľa noriem STN - ISO 10 694: Stanovenie organického a totálneho uhlíka po suchom spaľovaní, DIN ISO 13 878: Stanovenie celkového dusíka, ISO 15 178: Stanovenie celkovej síry. Výsledky boli prepočítané na 100% sušinu, ktorá bola vo vzorkách použitých na stanovenie CNS vopred stanovená gravimetricky vysušením do konštantnej hmotnosti pri teplote  $105\text{ }^\circ\text{C}$  v laboratórnej sušiarne.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Z odobratých vzoriek asimilačných orgánov trávy sme zistili nasledovné koncentrácie 7 prvkov uvedených v tab.1:

**Tab. 1 Obsah prvkov v asimilačných orgánoch *Calamagrostis epigejos***  
**Tab. 1 Content of elements in the assimilatory organs of *Calamagrostis epigejos***

Biomasa	Ca mg.kg <sup>-1</sup>	Mg mg.kg <sup>-1</sup>	K mg.kg <sup>-1</sup>	P mg.kg <sup>-1</sup>	N %	C %	S %
kontrola	4738,17	726,50	6809,95	5748,13	0,86	43,77	0,03
lokalita 1	5380,01	1187,79	6397,11	2690,01	0,75	43,19	0,00
lokalita 2	6758,08	1156,65	8172,12	6069,04	1,05	42,59	0,00

**Tab. 2 Obsah prvkov v biomase podľa Bowena (1979) a Reimanna (2007)**  
**Tab. 2 Content of elements in biomass according to Bowen (1979) and Reimann (2007)**

Prvok	Bowen
Ca	3000 – 14000mg.kg <sup>-1</sup>
Mg	1000 – 9000 mg.kg <sup>-1</sup>
K	5000 – 34000 mg.kg <sup>-1</sup>
	<b>Reimann</b>
P	21 000 mg.kg <sup>-1</sup>
C	Neuvádza
N	0,12 – 0,38 %
S	0,01 – 0,09 %

V tabuľke 2 sú uvedené optimálne hodnoty živín podľa Bowena (1979) a Reimanna (2007). Hodnoty zistené na lokalitách v okolí skládok gudrónov vykazujú optimálne koncentrácie prvkov pri porovnaní s Bowenom (1979). Výnimkou je síra, kde sa zistili v porovnaní s Reimannom nižšie koncentrácie. Síra a dusík sa v rastline správajú veľmi podobne, majú synergické role. Podieľajú sa na tvorbe bielkovín, enzýmov a regulujú všetky procesy v rastlinách: produkciu chlorofylu, sacharidov, tiež uskladnenie cukrov a asimiláciu dusíka (Vaňatová, 2018).

Holub et al. (2012) udáva koncentrácie v smlze krovískom pochádzajúceho zo suchého trávneho porastu v Národnom parku Podyjí v Českej republike C (14,7%), N (0,52%), Ca (3700 mg.kg<sup>-1</sup>), Mg (4500 mg.kg<sup>-1</sup>) a P (3200 mg.kg<sup>-1</sup>). Pomer C:N je dôležitým ukazovateľom, ktorý ovplyvňuje rýchlosť rozkladu organickej hmoty. Tento rozklad vedie buď k mineralizácii (rozklad pomocou mikroorganizmov) – vtedy sa dusík stáva dostupným pre rastliny, alebo naopak k jeho imobilizácii. Ak má pôda vyšší obsah dusíka v pomere k uhlíku, dusík sa uvoľní do pôdy prostredníctvom rozkladu organickej hmoty. Na-

opak, ak pôda obsahuje viac uhlíka než dusíka, mikroorganizmy ho použijú na svoju ďalšiu metabolizáciu a samotná rastlina bude následne čeliť jeho nedostatku (golfonline, 2012).

Novák (2009) vo svojej monografii o lesných porastoch cituje optimálny obsah živín pre kvalitný pasienkový porast, kam je zaradený aj *Calamagrostis epigejos*, pre Ca 7000 mg.kg<sup>-1</sup>, Mg 2400 mg.kg<sup>-1</sup>, P 2600 mg.kg<sup>-1</sup> a K 25900 mg.kg<sup>-1</sup>. Po porovnaní s výslednými koncentraciami z lokality skládok gudrónov sú obsahy živín Ca, Mg, K nižšie, výrazne najmä u draslíka. Ca podmieňuje pôsobenie Mg v biochemických procesoch a pre Mg, Ca je K antagonistom (Vanek, 2019). U fosforu s zaznamenali na skládkach vyššie koncentrácie. Príjem P je ovplyvnený obsahom Mg, kvôli svojej dôležitej funkcii pri fosforilačných procesoch (Lazorová, 2011).

Marušková (2011) skúmala lokalitu v okolí Banskej Štiavnice, kde sa nachádza odkalisko Šobov. Odber z týchto miest sa uskutočnil tiež na konci vegetačného obdobia – na jeseň, kde boli zistené nasledujúce koncentrácie prvkov v *Calamagrostis epigejos*: Ca (3700 mg.kg<sup>-1</sup>), K (14 500 mg.kg<sup>-1</sup>), Mg (670 mg.kg<sup>-1</sup>), P (1 340

mg.kg<sup>-1</sup>), S (3 400 mg.kg<sup>-1</sup>). Po porovnaní s výsledkami z lokality skládok Predajná I, II sú koncentrácie prvkov Ca, Mg, P vyššie, no v prípade zvyšných prvkov značne nižšie. Nadbytok Ca znižuje prístupnosť Mg pre rastliny, ako aj nadbytok K sa prejavuje nedostatkom Mg, teda chlorózou (mramorovitosťou listov). Keď chýba Mg, enzým nitrátreduktáza, odbrúravajúca dusičnany, sa tvorí v obmedzenom množstve. Bez Mg neprebehne premena elementárneho vzdušného dusíka na čpavkovú formu (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), ktoré rastliny zapojujú do procesu látkovej premeny. (Lazorová, 2011).

## ZÁVER

Skládky gudrónov ohrozujú okolité životné prostredie už niekoľko desiatok rokov. Negatívne sú ovplyvňované okolité pôdy, podzemné vody a napokon i biota. Skládky v Predajnej sú veľkou hrozbou pre obyvateľov neďalekej obce, pretože v súčasnosti už nedochádza k odvozu povrchovej zrážkovej vody zo skládok, následkom čoho môže pri privalových zrážkach dôjsť k pretečeniu odpadu cez násypovú hrádzu.

Na základe analýz rastlinnej biomasy druhu *Calamagrostis epigejos* z blízkosti skládok Predajná I a Predajná II môžeme skonštatovať, že koncentrácie živín v asimilačných orgánoch druhu *Calamagrostis epigejos* (smlz kroviskový) sú variabilné. Predpokladáme, že ku kumulácii niektorých prvkov dochádza v koreňoch a nedochádza k transportu do nadzemnej biomasy. Jedná sa hlavne o obsah síry, ktorá sa vo vysokých koncentráciách vyskytuje v samotnom odpade i v pôde (Ollerová, 2004).

Pri porovnaní zistených výsledkov s Bowenom (1979) a Reimannom (2007), možno konštatovať, že analyzovaný rastlinný druh netrpí nedostatkom živín a že sa relatívne dobre prispôbil kontaminovanému prostrediu.

Príjem a transport živín z pôdy do rastlín závisí od množstva faktorov, od vlastností pôdy, pH, štruktúry pôdy, od fyziologických faktorov rastlín a pod.

## LITERATÚRA

- BOWEN, H. J. M., 1979. *Environmental Chemistry of the Elements*. London: Acad. Press, 348 s.
- DIN ISO 13 878: Stanovenie celkového dusíka  
Dostupné na internete: [https://www.golffonline.sk/odborne-clanky/greenkeeping/uhlik-a-dusik-dolezita-je-rovnovaha/?fbclid=IwAR3JeWfu8Fzv7y-WWkt556WsUU9Hlr\\_Gt-uennc0erFSJW8KPGw-K5EVM9NM](https://www.golffonline.sk/odborne-clanky/greenkeeping/uhlik-a-dusik-dolezita-je-rovnovaha/?fbclid=IwAR3JeWfu8Fzv7y-WWkt556WsUU9Hlr_Gt-uennc0erFSJW8KPGw-K5EVM9NM) (19-12-2019)
- HOLUB, Petr, et al. Different nutrient use strategies of expansive grasses *Calamagrostis epigejos* and *Arrhenatherum elatius*. *Biologia*, 2012, 67.4: 673-680.
- ISO 15 178: Stanovenie celkovej síry 45
- KOPÁČEK, J., HEJZLAR J., 2004: *Semimikrostanovení fosforu (povrchové a odpadní vody, nerozpuštěné látky, sedimenty, půdy, organické materiály, prací prášky)*. HBU AV ČR, České Budějovice
- LAZOROVÁ, I.: *Význam vápníka a horčíka v potravinové režiaci človeka*. Nitra : FAPZ, SPU, 2011. 60 s. Diplomová práca.
- MARUŠKOVÁ, A., 2011: *Flóra a vegetácia na pôdach starých environmentálnych záľazi v regióne Banská Štiavnica*. (Vedecké štúdie), Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 123 s. ISBN 978-80-228-2234-3
- MURPHY, JAMES; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica chimica acta*, 1962, 27: 31-36.
- NOVÁK, Ján. *Trávne porasty po odlesnení a samozalesnení*. Brno: Tribun EU, 2009. ISBN 978-80-7399-898-1.
- OLLEROVÁ, H., 2004: *Flóra a vegetácia stanovišť ovplyvnených ropnými látkami v oblasti Petrochemia Dubová*. (Vedecké štúdie), Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 117 s. ISBN 80-228-1428-8
- REIMANN, C. et al., 2007. Element contents in mountain birch leaves, bark and wood under different anthropogenic and geogenic conditions. In *Applied Geochemistry* 22, s. 1549 – 1566.
- STN - ISO 10 694: Stanovenie organického a totálneho uhlíka po suchom spaľovaní
- VANEK, G. *Živiny* <http://www.galati.sk/doc/Ziviny.pdf> (19-12-2019)
- VAŇATOVÁ, P. 2018. *Výživa kombinací dusíku a síry* [https://www.uroda.cz/vyziva-kombinaci-dusiku-a-siry/?fbclid=IwAR1\\_iidOnqIVgGupkTi82e0eU-8Y1JNKruJt6HC9z0LEmGIUjCOuS3eC8218](https://www.uroda.cz/vyziva-kombinaci-dusiku-a-siry/?fbclid=IwAR1_iidOnqIVgGupkTi82e0eU-8Y1JNKruJt6HC9z0LEmGIUjCOuS3eC8218) (19-12-2019)
- ZBÍRAL J., HONSA I., a kol., 2010: *Analýza pôd I. Jednotné pracovné postupy*. ÚKZUZ, Brno

PREHLEDOVÉ ČLÁNKY  
REVIEWS



# VYUŽITIE MATLABU PRE VÝSKUM A VZDELÁVANIE

ANNA ĎURICOVÁ<sup>1</sup> – ONDREJ VACEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Katedra environmentálneho inžinierstva, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, duricova@tuzvo.sk

<sup>2</sup>Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta, Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, ondrej.vacek@tuzvo.sk

## ABSTRACT

Ďuricová A., Vacek O.: **Using MatLab for Research and Education**

The set of skills of a graduate student can be extended further by all knowledge and experience she can gain during her study on top of standard compulsory requirements. This includes optional subjects, trainings, conferences, or even supplementary online courses that student can access for free through certain software license packages. We present the overview of MatLab programming language and its features that is being introduced into teaching process at Technical University in Zvolen. MatLab is numerical computing environment and proprietary programming language that offers convenient and interactive tool for technical computing and, moreover, many other supplementary functionalities. It is being implemented with the aid of grant of Cultural and Educational Agency. Project is aimed at modernization of environmental subjects teaching and focuses on experiments and simulation of processes in environment.

**Key words:** education, MatLab, license, technical calculations,

## ÚVOD

Skúsenosti s používaním MatLabu pre výskum a aplikácie, s dôrazom na jeho vnútornú schopnosť podporovať tvorivé myslenie, predstavil na tohtoročnom Technical Computing Camp 2019 v Brne, prof. Igor Podlubný z TU Košice. Povedal: „Pokiaľ ide o publikovanie našich výsledkov, riadime sa myšlienkou reprodukovateľného výskumu a naše publikácie tvoríme pomocou nástrojov MatLab. V posledných rokoch sme dokonca použili Live Editor MatLabu (v minulosti sme používali export do LaTeXu alebo HTML) na písanie nielen dokumentácie, ale aj na výskumné práce a materiály na výučbu priamo v MatLabe. Použitie MatLabu na výučbu matematiky a iných inžinierskych predmetov nám umožnilo zmeniť spôsob, akým študenti vnímajú a chápu matematické nástroje, a teda pomôcť študentom získať lepšie výsledky a uspieť v rôznych študentských súťažiach.

## ČO JE MATLAB

MatLab (skratka z MATrix LABoratory) je charakterizovaný ako interaktívny systém, ktorý bol vyvinutý pre vedecko-technické výpočty a simulácie. Bol vyvinutý najmä preto, aby urýchlil

výskum a vývoj. Zďaleka to však nie všetko, pretože sa dá aplikovať v ekonómii či automobilovom priemysle, vo finančníctve, ale aj v prírodných vedách - biológii, medicíne a v mnohých ďalších oblastiach. MatLab je považovaný za prelom nielen z hľadiska rozsahu, integrácie a kvality produktu, ale predovšetkým z hľadiska vzťahu k užívateľovi a jeho pohodlia pri práci (Bartko, 2008). Dnes toto komplexné prostredie s veľkým množstvom funkcií využíva asi 3 000 000 užívateľov po celom svete, medzi ktorých patria spoločnosti ako Tesla, Continental, Siemens, Volvo, BMW, Huawei, Apple, zo slovenských napr. NBS.

## AKO TO ZAČALO

V päťdesiatych rokoch 20. storočia profesor John Todd na kalifornskej univerzite vyučoval tvorbu algoritmov na počítačiacich strojoch. Jeho žiak, Cleve Moler, vytvoril program vo Fortrane na riešenie systému lineárnych rovníc. Neskôr s ďalšími nadšenými matematikmi vytvorili knižnicu algoritmov na výpočet rôznych typov rovníc. Cleve Moler, už ako profesor, uľahčil svojim študentom prístup ku knižniciam vytvorením prepojenia špeciálnym rozhraním a v tom momente vznikol MatLab. Obsahoval spolu 80 funkcií, ktoré sú v MatLabe dodnes. Už vtedy

bola matica základným dátovým typom. Preto sa stal MatLab medzi študentami obľúbený. Pomohol im jednoducho pracovať s maticami, ktoré sú v technických disciplínach kľúčové. Nemuseli tak sústreďovať svoju pozornosť na programovanie komplikovaných algoritmov na prácu s maticami, ale na riešenie svojich technických problémov. V roku 1978 sa Moler dostal k osobnému počítaču Tektronix 4081 a upravil svoj program pre tento počítač. Bola to prvá implementácia MatLabu na osobný počítač. Jeho žiaci Jack Little a Steve Bangert preprogramovali MatLab z Fortranu do jazyka C. Táto trojica v roku 1984 založila spoločnosť The MathWorks so sídlom v Kalifornii, ktorá uviedla už komerčnú verziu MatLab 1.0 pre MS DOS.

V súčasnosti sídli MathWorks v meste Natick neďaleko Bostonu v štáte Massachusetts. Zamestnáva viac ako 3000 pracovníkov (Foltin, 2019).

## AKÉ SÚ PLUSY

Aké sú teda výhody tohto sofistikovaného systému? Najväčšou výhodou je určite to, že nie je vymedzený úrovňou používateľa – to znamená, že je vhodný pre pokročilých, ale nemusia sa obávať ani začiatčníci, pre ktorých je rovnako vhodný.

Ďalším pozitívom je aj jeho využitie vo vzdelávaní a priamo v praxi – študenti si vďaka nemu výrazne zlepšujú svoje zručnosti, môžu si overovať svoje nápady a zároveň si ich uplatniť aj v reálnom čase. Digitálne zručnosti sú dnes naozaj nevyhnutné, absolventi sa o tom presvedčajú pri hľadaní si práce. Taktiež nám uľahčujú aj bežný život. Čím viac teda študent a mladý človek dokáže svoje zručnosti vylepšiť, tým je to pre neho výhodnejšie pri hľadaní si zaujímavej práce.

Prostredie počítača je naladené na opakované inžinierske a vedecké pracovné postupy. A nakoniec – dokumentácia je napísaná pre inžinierov a vedcov, nie pre počítačových vedcov.

„Vývoj algoritmov v MatLabe je desaťkrát rýchlejší a robustnejší ako vývoj v jazyku Java. Musíme filtrovať naše údaje, pozrieť sa na póly a nuly, spustiť nelineárne optimalizácie a vykonať množstvo ďalších úloh. V MatLabe sú tieto schopnosti integrované, robustné a komerčne overené,“ hovorí o skúsenostiach Borislav Savkovic, vedúci vedec pre oblasť informácií, BuildingIQ.

## VYUŽITIE PRE ŠKOLY

MatLab si postupne prerazil cestu aj na slovenské školy, najviac ho využívajú univerzity. V Českej republike celouniverzitným (tzv. Campus-Wide) typom licencie disponuje celkom 7 vysokých škôl, na Slovensku využívajú tento

moderný spôsob licencovania 3 univerzity. Campus-Wide licencie znamená pre vysokú školu nielen možnosť inštalácie MatLabu a jeho knižnic na všetkých počítačoch školy a na súkromných počítačoch ich študentov a zamestnancov, ale nesie so sebou aj ďalšie služby. Patria k nim predovšetkým bezplatný prístup k online kurzom v MathWorks Academy a prístup ku cloudovým službám MatLab Online, MatLab Mobile a MatLab Drive. Novinkou v licencií je neobmedzený počet workerov, ktorí môžu byť riadení prostredníctvom MatLab Parallel Serveru. To iste ocenia najmä priaznivci paralelných výpočtov a High Performance Computing (Mudrová, 2019).

Aké sú šance na kurzy pre študentov, ktoré ich nebudú nič stáť? Školy, ktoré sa rozhodli pre Campus-Wide licenciu, získavajú konkurenčnú výhodu. Tú využívajú práve ich študenti, pretože počas štúdia majú možnosť absolvovať nielen bezplatné online kurzy (MatLab, SIMULINK, DEEP LEARNING, STATEFLOW) ale i ďalšie špecializované kurzy orientované na optimalizáciu práce s MatLabom, Data Science a výpočtovú matematiku (spolu 11 online kurzov) a získať tak certifikáty rešpektované nejedným zamestnávateľom. Bežná cena jedného kurzu na <https://matlabacademy.mathworks.com> dosahuje až 1000 USD.

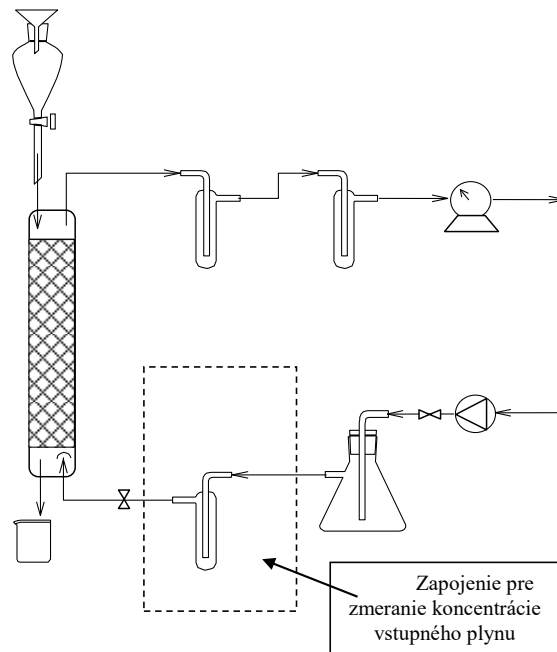
Okrem vysokoškolákov sa MatLab derie aj medzi stredoškólakmi, kde majú možnosť získať špeciálnu licenciu PASS. Na niektorých stredných školách na Slovensku ju už dokonca využívajú. Dá sa predpokladať, že mnohí študenti takto vybavených stredných škôl budú pri výbere vysokej školy očakávať, že táto im bude Campus-wide licenciu ponúkať (momentálne platí pre STUBA, UNIZA a TUKÉ).

## ABSORPCIA AKO PRÍKLAD RIEŠENIA

Absorpčná tematika je pre životné prostredie veľmi dôležitá, hlavne v predmetoch Ochrany ovzdušia. Vyhodnocovanie dynamických experimentov je pre študentov náročná úloha, hlavne z pohľadu abstraktnosti problému, vyjadrovania absolútnych množstiev látky v plyne a v absorbente z protenzitných veličín.

Schéma zapojenia experimentu je na obr. 1





**Obr. 1** Schéma zapojenia dynamickej absorpcie  
**Fig. 1** Scheme the apparatus of dynamic absorption

Výpočet riešenia spočíva v niekoľkých krokoch:

- Bilancia kolóny z absolútnych množstiev látky na vstupe a výstupe.
- Okamžitá účinnosť kolóny.
- Určenie úbytku hmotnosti látky v nosnom plyne.
- Určenie prieniku látky vo vyčistenom plyne.
- Účinnosť absorpcie.
- Určenie mernej spotreby absorbenta.

Programové prostredie v MatLabe je nastavené k tejto úlohe tak, aby vstupné hodnoty boli pre daný systém variabilné a výsledky mohli byť hodnotené z rôznych uhlov, napr. ekotoxikologického - pre dôležitosť separačného postupu zložky zo znečisteného plynu, alebo z ekonomického – ako minimálne množstvo použitého absorbenta, alebo z technologického - ako účinnosť procesu pre dané zariadenie.

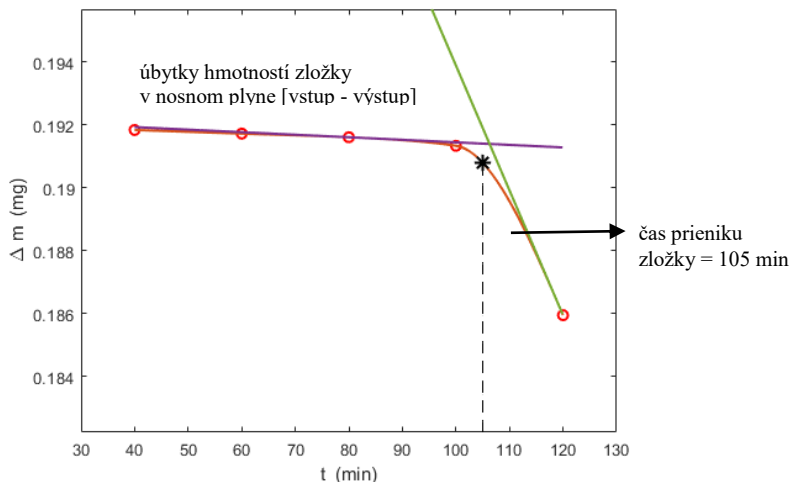
Využitie niekoľkých funkcií MatLabu k získaniu výsledkov:

```
Data=readtable('data_abs2.xlsx') % MatLab umožňuje import z rôznych zdrojov
...
Data.ckk=max(0,c_kk(Data.A)); % Používateľ môže efektívne
Data.csk=Data.ckk.*Data.fr; % narábať s dátami v maticovom tvare,
Data.prietok=Data.V./Data.tV;
Data.m=Data.csk.*Data.vzorka
...
bt.t=Data.cas(3:(size(Data.cas)+1)/2); % podľa potreby dáta dynamicky filtrovať.
bt.vy=Data.ckk(3:(size(Data.cas)+1)/2);
bt.a=Data.ckk((size(Data.cas)+3)/2:end-1);
...
up=polyfit(ut,um,1) % Využívať štatistické aproximačné metódy
m_odhadnute=polyval(up,bt.t); % na odhad požadovaných veličín.
...
```

```

m_dif=m_odhadnute-b.vy % Výsledky štatistickej analýzy používať automaticky
% na ďalšie výpočty bez toho aby musel používať iný softvér tak ako to musia
% robiť napr. používatelia programu Statistica.
smernica=(m_dif(2:end)-m_dif(1:end-1))./(b.t(2:end)-b.t(1:end-1))
...
zlom_x=t_hust(idx)
zlom_x =
105
...
figure % generovať grafické výstupy,
plot(b.t,m_dif,'o','color','r') % pričom môže podľa potreby (a zručnosti)
hold on % prevziať kontrolu nad vlastnosťami
plot(t_hust,mdif_pchip_fit) % jednotlivých grafických objektov
plot(zlom_x,zlom_y,'*','color','black','MarkerSize',10)
plot(t_hust(1:tindex_koniec),m_dif(poradie)+smernica_zaciatok*...
(t_hust(1:tindex_koniec)-b.t(poradie)))
plot(t_hust(1:tindex_koniec),m_dif(poradie+2)+smernica_koniec*...
(t_hust(1:tindex_koniec)-b.t(poradie+2)))
line(kolmica_x,kolmica_y,'color','black','LineStyle','--','LineWidth',0.2)
axis([bt.t(1)-10 bt.t(end)+10 0.98*min(m_dif) 1.02*max(m_dif)])
xlabel('t (min)')
ylabel('\Delta m (mg)')
hold off

```



Obr. 2 Určenie prieniku zložky do vyčisteného plynu, t.j. ukončenie procesu  
 Fig. 2 Determining the penetration of the component into the purified gas, i. process completion

## RIEŠENIA HYDRODYNAMICKÝCH PRÍKLADOV

### 1. Výpočet času výtoku z nádoby pomocou Toricelliho vzorca

```

H=6;
h1=1.2;
D1=1.2;
D2=0.6;
d=0.02;
mi=0.82;
g=9.81;

```

```

S0=pi*d^2/4
S0 = 3.1416e-04
S=pi*D1^2/4
S = 1.1310
K=1/(mi*S0*sqrt(2*g))
K = 876.3685
reset (symengine)
syms h

```

$$\tau_1 = \int_H^{H-h_1} -\frac{D_1^2}{\mu \sqrt{2gh} d_0^2} dh$$

```

i1=int(-(D1^2)/(mi*sqrt(2*g*h)*d^2),H,(H-h1));
t1=double(i1)
t1 = 512.6215

```

$$\tau_2 = K \int_0^{H-h_1} \left( D_2 + \frac{D_1 - D_2}{H - h_1} h \right) \frac{1}{\sqrt{h}} dh$$

```

i2=K*int(((D2+(D1-D2)/(H-h1)*h)/sqrt(h)),0,(H-h1));
t2=double(i2)
t2 = 3.0720e+03
t=t1+t2
t = 3.5847e+03

```

## 2. Výpočet priemeru potrubia

Zadanie údajov

```

L=6500;
Vdot=0.04;
dp=0;
dv=0;
h1=35;
h2=0
h2 = 0
ro=1000;
mi=1/1000;
g=9.81;
epsilon=0.003;
Predbežné výpočty
hstr=h1-h2
hstr = 35
Výpočet  $R_e \sqrt{\lambda}$ 
ReSL=ro/mi*((128*hstr*g*Vdot^3)/(pi^3*L))^(1/5)
ReSL = 1.0689e+05

```

Výpočet  $\frac{R_e}{n}$

```

ReN=Vdot*ro*4/(pi*mi*epsilon)
ReN = 1.6977e+07

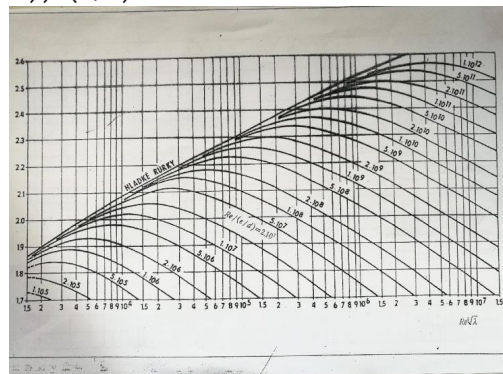
```

Odčítanie  $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$  z grafu:

```

FracLambda=1.9
FracLambda = 1.9000
Dopočítanie
Re=ReSL*FracLambda
Re = 2.0310e+05

```



```

d=Vdot*ro*4/(Re*mi*pi)
d = 0.2508
v=Re*mi/(d*ro)
v = 0.8099
n=epsilon/d
n = 0.0120
S=pi*d^2/4
S = 0.0494

```

### 3. Výpočet výkonu elektromotora čerpadla

Zadanie údajov

h1=0;

h2=7;

v1=0;

p1=101300;

p2=156000;

n=0;

ro= 833;

d=0.0317;

Vd=0.00127;

L=500;

g=9.81;

rezerva=50;

eta=0.6;

mi=0.0008;

sumaXi=50.5;

Medzivýpočty

koef\_rezervy=(rezerva+100)/100

koef\_rezervy = 1.5000

S=pi\*d^2

S = 0.0032

v2=Vd/S\*4

v2 = 1.6091

v2d=v2\*koef\_rezervy

v2d = 2.4137

$$Re = \frac{d \cdot v_2 \cdot \rho}{\mu}$$

Re=(d\*v2d\*ro)/mi

Re = 7.9671e+04

Zadanie rovníc

reset (symengine)

syms hw lambda hstr

Systém rovníc ktorý zadávame

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.8 \cdot \left( \log_{10} \frac{Re}{0.135 \cdot Re \cdot n + 6.5} \right)$$

$$h_{str} = \lambda \cdot \frac{(v_2')^2}{2g} \cdot \frac{L}{d} + \sum \xi$$

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = h_2 + \frac{(v_2')^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} - h_w + h_{str}$$

```

rovnice=[1/lambda^(1/2)==1.8*log(Re/(0.135*Re^n+6.5))/log(10),...
  hstr==lambda*v2d^2/(2*g)*L/d+sumaXi,...
  h1+v1^2/(2*g)+p1/(ro*g)==h2+v2d^2/(2*g)+p2/(ro*g)-hw+hstr];
S=solve(rovnice,[hw lambda hstr])
S = struct with fields:
  hw: [1x1 sym]
  lambda: [1x1 sym]
  hstr: [1x1 sym]

```

```

lambda_cis=double(S.lambda)
lambda_cis = 0.0185
hstr_cis=double(S.hstr)
hstr_cis = 136.9840
hw_cis=double(S.hw)
hw_cis = 150.9748
Výkon [W]
Np=Vd*hw_cis*ro*g/eta
Np = 2.6114e+03

```

Uvedené riešenia náročnejších výpočtov napr. z hydrodynamiky alebo aj z tepelných procesov sú v programovom prostredí pre študentov veľmi pohodlné a elegantné. Samotné vytváranie algoritmov nie je príliš zložité, vyžaduje si však tréning používania základných funkcií, ako sú zápisy a operácie s maticami, 2D a 3D grafika, relačné a logické operátory, prípadne viacrozmerné polia. Na tomto základe možno pokračovať samoštúdiom s literatúrou v danom profesijnom odbore, ktorej je na trhu už dostatok, ale aj za pomoci online kurzov na stránke *mathworks.com*. Študenti sa tak môžu pripraviť na významné povolania v priemysle a inšpirovať sa kritickým myslením a inováciami.

## ZÁVER

Systém MatLab patrí medzi základné výpočtové nástroje na mnohých vzdelávacích a výskumných inštitúciách po celom svete. Viac než 5000 univerzít používa MatLab a Simulink pri výskume a skvalitnení výučby v oblasti technických výpočtov, analýzy dát a simulácie. Študenti využívajú získané znalosti aj po ukončení štúdia, pretože systém MatLab a jeho nástroje sú dnes už de facto štandardom pre výskum a vývoj.

Je našou snahou získať pre MatLab na TUVO čo najviac vedeckých pracovníkov, učiteľov ako užívateľov, prípadne zapracovať toto programové prostredie do predmetov aj pre študentov. Len kroky dopredu, k novinkám a širšiemu uplatne-

niu študentov, pomôžu a rozšíria ich vedomostnú platformu a tiež zvýšia hodnotový kredit školy na trhu univerzít.

## Pod'akovanie

Autori ďakujú agentúre KEGA za finančnú podporu pri riešení projektu č. 021TU Z-4/2017, v rámci ktorého vznikol prezentovaný príspevok.

## LITERATÚRA

- BARTKO R., 2008. *MATLAB II. Optimalizácia*. Praha: Vydavateľstvo VŠCHT, 227 s. ISBN 978-80-7080-691-3
- GOLUB, G.H., VAN LOAN, CH. F. 2013. *MATRIX COMPUTATIONS*. JHU Press, p. 756 ISBN-13: 978-1421407944 ISBN-10: 1421407949
- KHARAB, A., GUENTHER, R. B. 2012. *An Introduction to Numerical Methods: A MATLAB Approach, Third Edition*. CRC Press, p. 576 ISBN-13: 978-1439868997 ISBN-10: 1439868999
- KOZÁK, Š., KAJAN, S. 1999. *MATLAB-SIMULINK I*. Bratislava: STU. 126 s. ISBN 80-227-1213-2
- KOZÁK, Š. 1999. *MATLAB-SIMULINK II*. Bratislava: STU. 141 s. ISBN 80-227-1235-3
- FOLTIN, M., 2018. *MATLAB - Ako to začalo*. Dostupné na: <https://www.humusoft.cz/blog/20180619-matlab-origin/>
- MUDROVÁ, M., 2019. *Vitáme ďalší VŠ do skupiny univerzít s Campus-Wise licenci*. Dostupné na: <https://www.humusoft.cz/blog/20190930-cw/>

**Acta Facultatis Ecologiae, Volume 40, 2019 – 1**

Vydanie I. 2020 – Vydala Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 2117/24, 960 53 Zvolen, IČO 00397440 – Počet strán 36 – AH, VH – Náklad 170 výtlačkov – Tlač a grafická úprava Vydavateľstvo TU vo Zvolene – Vydanie publikácie schválené v Edičnej rade TU dňa 4. 2. 2019, číslo EP 82/2019 – Evidenčné číslo MK SR 3859/09 – Periodikum s periodicitou dvakrát ročne – Za vedeckú úroveň tejto publikácie zodpovedajú autori a recenzenti – Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

ISSN 1336-300X