

Miskolc IPW

## IV. Sustainable Raw Materials International Project Week

# PROCEEDINGS





**PROCEEDINGS OF THE MISKOLC IPW -  
IV. SUSTAINABLE RAW MATERIALS INTERNATIONAL PROJECT WEEK  
25-27<sup>TH</sup> NOVEMBER 2020, MISKOLC, HUNGARY**

**A MISKOLC IPW - IV. FENNTARTHATÓ  
NYERSANYAG-GAZDÁLKODÁS PROJEKTHÉT KIADVÁNYA  
2020. NOVEMBER 25-27. MISKOLC, MAGYARORSZÁG**

*Scientific Committee:*

DR. HABIL JÓZSEF FAITLI, *University of Miskolc*  
PROF. DR. GÁBOR MUCSI, *University of Miskolc*  
DR. SÁNDOR NAGY, *University of Miskolc*  
DR. HABIL GÁBOR RÁKHELY, *University of Szeged*  
PROF. DR. CECÍLIA HODÚR, *University of Szeged*  
DR. HABIL IMRE CZUPY, *University of Sopron*  
DR. ZOLTÁN PÁSZTORY, *University of Sopron*  
CSABA VÉR, *University of Pécs*  
DR. TIBOR KISS, *University of Pécs*

*Edited by:*

DR. HABIL JÓZSEF FAITLI, *University of Miskolc*

*ISBN of the web published version: <https://www.miskolcipw.hu/proceedings/>*

**ISBN 978-963-358-222-0**

*ISBN of the pendrive publication:*

**ISBN 978-963-358-223-7**

*Publisher:* Institute of Raw Material Preparation and Process  
Engineering, University of Miskolc  
*Address:* Hungary, 3515 Miskolc-Egyetemváros  
*Telephone:* +36 46 565 111/ 17-13; *and fax:* +36 46 565 054  
*E-mail:* ejtadmin@uni-miskolc.hu  
*Web:* <https://ejt.uni-miskolc.hu/>

**SZÉCHENYI** 2020



Európai Unió  
Európai Szociális  
Alap



**BEFEKTETÉS A JÖVŐBE**



## PLENARY LECTURES ABSTRACTS

- P1 **Baláz M:** MECHANOCHEMISTRY: SUSTAINABLE TOOL FOR THE TREATMENT OF RAW MATERIALS AND WASTE
- P2 **Nenadović M:** STRUCTURAL, PHYSICOCHEMICAL AND RADIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF GEOPOLYMERS

## SESSION PAPERS

### Session 1

- A12 **Bokányi Lj, Krizsán Gy, Takács J, Faitli J, Má dai-Üveges V, Ayu Janetasari S, Pintér-Móricz Á:** EVALUATION OF EFFICIENCY OF HYDRODYNAMIC TREATMENT ON SEWAGE SLUDGE pp. 1-8.
- A14 **Janetasari S A, Olviani A, Hamidah U, Widyarani, Sintawardani N, Bokányi L:** THE POTENTIAL OF ACETONITRILE DEGRADATION USING ANAEROBIC MICROBIC CONSORTIUM pp. 1-15.

### Session 2

- B21 **Vágvölgyi A, Mészáros I, Czupy I:** ISZAPKOMPOSZT ANYAGMÉRLEGÉNEK VIZSGÁLATA pp. 1-9.
- B22 **Somfai D, Czakó-Vér K, Suhajda E, Dolgosné Kovács A, Dittrich E:** TESTING WASTE MATERIALS AS STAND-ALONE BIOGAS SUBSTRATES: METHANE YIELD OF DAIRY BY-PRODUCTS AND KITCHEN WASTE IN LABORATORY CONDITIONS pp. 1-7.
- B23 **Fülöp Zs, Czupy I:** MIKROBIOLÓGIAI TALAJOLTÓ KÉSZÍTMÉNYEK HATÁSA ÉS KIJUTTATÁSI MÓDSZERE pp. 1-8.
- B24 **Vizvári Z, Gyórfi N, Klincsik M, Sári Z, Odry P:** ÚJ MEGKÖZELÍTÉSŰ ELEKTROMOS IMPEDANCIA TOMOGRAFÍÁS REKONSTRUKCIÓS ALGORITMUS ÁLTALÁNOSÍTÁSA TETSZŐLEGES MÉRETŰ HÁLÓZATRA pp. 1-20.
- B25 **Papp V, Szalay D:** MEZŐGAZDASÁGI MELLÉKTERMÉKEKBŐL KÉSZÜLT KEVERÉK PELLETEK ENERGETIKAI VIZSGÁLATAI pp. 1-5.

### Session 3

- A31 **Alshkih A, Czupy I:** ASSESSMENT OF BIOMASS QUALITY OF SOME TREE'S SPECIES FOR BIOENERGY PRODUCTION pp. 1-8.
- A33 **Agarwal C, Pásztory Z:** TIP-ENHANCED RAMAN SPECTROSCOPY FOR NANOSCALE CHARACTERIZATION OF MATERIALS pp. 1-5.
- A34 **Yanar N:** LAB-SCALE INVESTIGATION OF RAMAN SPECTROSCOPY FOR PLASTICS RECYCLING pp. 1-9.
- A35 **Sukmana H, Hodúr C:** GRAIN/RICE HUSK AND GRAIN/RICE HUSK ASH UTILIZATION IN THE WASTEWATER TREATMENT pp. 1-6.

#### Session 4

- B41 **Szigony J, Kondor T, Vér Cs:** INNOVATÍV MEGOLDÁSOK, TERMÉSZETES ANYAGOK A FENNTARTHATÓ ÉPÍTÉSZETBEN -SOLAR DECATHLON 2019 pp. 1-9.
- B42 **Gyórfi A, Jakab A R, Leitól Cs, Kiss T:** MENNYISÉGI VÁLTOZÁSOK EGY LAKOSSÁGI VEGYES SZELEKTÍV HULLADÉKOT KEZELŐ KÉZI VÁLOGATÓMŰBEN pp. 1-7.
- B43 **Gyórfi A, Rostás A K, Leitól Cs, Kiss T:** HULLADÉKBÓL SZÁRMAZTATOTT TŰZELŐANYAG NEHÉZFÉM-TARTALMÁNAK VIZSGÁLATA pp. 1-7.
- B44 **Romenda R, Szalai P, Fajtli J:** SZABÁLYOS ALAKÚ SZEMCSÉK KÖZEG-ELLENÁLLÁSÁNAK VIZSGÁLATA EGYEDI FEJLESZTÉSŰ LÉGCSATORNÁBAN pp. 1-8.
- B45 **Gazdag G, Kondor T, Kokas B, Dolgosné Kovács A:** SZERKEZET OPTIMALIZÁCIÓ pp. 1-7.

#### Session 5

- A51 **Anh L D H, Pásztor Z:** REVIEW OF THE EFFECT OF MOISTURE CONTENT IN THERMAL CONDUCTIVITY OF NATURAL FIBER INSULATING MATERIALS pp. 1-5.
- A52 **Karacaoglan G, Halyag N, Mucsi G:** COMPARATIVE INVESTIGATION OF ZEOLITE GRINDING IN STIRRED MEDIA MILL AND PLANETARY BALL MILL pp. 1-10.
- A53 **Pásztor Z, Keresztfalvi P:** MOBILEFORESTER AS A NEW INNOVATIVE MEASURING DEVICE IN FORESTRY pp. 1-5.
- A54 **Romenda R, Tóth A, Virág Z:** PRIMARY AND SECONDARY MINING POSSIBILITIES OF CRITICAL ELEMENTS OF ELECTRONIC WASTE pp. 1-10.
- A55 **Wikurendra E A, Nagy I:** UTILIZATION OF BLACK SOLDIER FLY (HERMETIA ILLUCENS) AS A PROBLEM SOLVE OF ORGANIC SOLID WASTE pp. 1-10.

#### Session 6

- B61 **Juhász H, Kondor T, Dolgosné Kovács A:** ÚJRAHASZNOSÍTOTT NEMZETI IDENTITÁS pp. 1-6.
- B62 **Szűcs E, Kondor T, Vér Cs:** PASSZÍV ENERGIATEREK (SDE 19) pp. 1-5.
- B63 **Molnár J, Debreczeni Á:** ÁSVÁNYI ÉS MÁS ÉPÍTÉSI EREDETŰ HULLADÉK ANYAGOKBÓL KÉSZÍTETT HŐSZIGETELŐ KOMPOZITOK MŰSZAKI JELLEMZÉSÉNEK NÉHÁNY KÉRDÉSE pp. 1-5.
- B64 **Vizvári Z, Gyórfi N, Klincsik M, Sári Z, Odry P:** ÚJ MEGKÖZELÍTÉSŰ ELEKTROMOS IMPEDANCIA TOMOGRÁFIÁS REKONSTRUKCIÓS ALGORITMUS VALIDÁLÁSA ELLENÁLLÁS HÁLÓZATON pp. 1-10.
- B65 **Vizvári Z, Gyórfi N, Klincsik M, Sári Z, Odry P:** ÚJ MEGKÖZELÍTÉSŰ ELEKTROMOS IMPEDANCIA TOMOGRÁFIÁS REKONSTRUKCIÓS ALGORITMUS VALIDÁLÁSA IMPEDANCIA HÁLÓZATON pp. 1-11.



#### Session 7

- A71 **Novotni A:** THE ROLE OF THE RESEARCH OF WASTE AND BY-PRODUCTS OF WOOD INDUSTRY IN H2020 PROJECTS pp. 1-12.
- A72 **Gyórfi A, Jakab A R, Leitol Cs, Kiss T:** THE OBSERVATION OF PICKINGS IN A MANUAL SORTING PLANT OF SELECTIVELY COLLECTED MIXED PACKAGING WASTE FROM HOUSEHOLDS pp. 1-8.
- A73 **Gyórfi A, Leitol Cs, Kiss T, Dolgosné Kovács A:** THE STUDY OF SIZE AND COMPOSITION IN SELECTIVELY COLLECTED MIXED PACKAGING WASTE FROM HOUSEHOLDS pp. 1-9.
- A74 **Tahir C, Aktaş N:** SIMULATION AND OPTIMIZATION OF NATURAL GAS SWEETENING PLANT WITH HYSYS 8.0 pp. 1-9.
- A75 **Adamik P, Pásztory Z:** MEASUREMENT OF HEAT LOSS IN WOOD STEAMING KILN AND POSSIBILITY TO RECYCLING pp. 1-5.

#### Session 8

- B81 **Bokányi L, Hornyák G, Nagy S, Mádainé Üveges V:** LI-ION AKKUMULÁTOR BIOSZOLUBILIZÁLÁSÁNAK VIZSGÁLATA A FERROOXIDANS ÉS A FERRIDURANS BAKTÉRIUMMAL pp. 1-7.
- B83 **Varga B, Fodor K:** ECONOMIC STRENGTH – CRITICAL RAW MATERIAL STOCK pp. 1-9.
- B84 **Orosz D, Péter Zs:** EXAMINATION OF THE EXPECTED MARKET PRICE OF LITHIUM-BASED BATTERIES CURRENTLY OR IN THE FUTURE ON THE MARKET - MAIN TRENDS pp. 1-8.
- B85 **Yanar N:** LIMITATIONS IN PLASTIC RECYCLING, A REVIEW pp. 1-6.

#### Session 9

- A91 **Somfai D, Czakó-Vér K, Suhajda E, Dolgosné Kovács A, Dittrich E:** EXPERIMENTS OF ANAEROB CO-FERMENTATION OF THE BIODEGRADABLE FRACTION OF THE MUNICIPAL SOLID WASTES (BIFMSW) AND SEWAGE SLUDGE(S) pp. 1-5.
- A92 **Somfai D, Kósa D, Bicsák L, Suhajda E, Czakó-Vér K, Dolgosné Kovács A, Dittrich E:** MONITORING OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF A BIOGAS PLANT WITH ENZYME ACTIVITY MEASUREMENTS pp. 1-8.
- A93 **Kalcsú Z, Pásztory Z:** THE CIRCULAR ECONOMY AND RECYCLING OF SECONDARY RAW MATERIALS pp. 1-5.
- A94 **Böröcsök Z, Pásztory Z:** THE ROLE OF LIGNIN PLASTICIZATION IN SOME WOODWORKING PROCESSES pp. 1-11.
- A95 **Suhajda E, Somfai D, Czakó-Vér K, Dolgosné Kovács A, Dittrich E:** CO-FERMENTATIONAL AND QUALITY ASSURANCE ROLES OF SEWAGE SLUDGE IN BIOGAS PLANTS pp. 1-5.



Session 10

- B101 **Kornfeld Zs:** AZ ÖKOMARKETING LEHETŐSÉGEI, KÖRNYEZETVÉDELMI ELVÁRÁSAI ÉS AKADÁLYAI, AZAZ A FELMERÜLŐ KONTRA PROBLÉMÁK pp. 1-8.
- B102 **Szakálosné Mátyás K, Kovács K, Vityi A, Horváth A L:** LOGISZTIKA AZ AGROERDÉSZETBEN pp. 1-7.
- B103 **Kornfeld Zs:** A BESZERZÉS ÉRTELMEZÉSE A FAIPARI VÁLLALATOK KÖRÉBEN pp. 1-12.
- B104 **Kozák G, Major T:** ORSZÁGOS FELMÉRÉS A MOTORFŰRÉSZ HASZNÁLÓK KÖRÉBEN pp. 1-6.
- B105 **Szakálosné M K, Dudás T, Horváth A L:** MAGASAN GÉPESÍTETT EGÉSZSÉGÜGYI FAKITERMELESEK ELEMZÉSE pp. 1-9.

Session 11

- A111 **Vér Cs, Dolgosné Kovács A:** CHANGES IN THE LEGAL FRAMEWORK OF THE HUNGARIAN WASTE MANAGEMENT PUBLIC SERVICE SYSTEM AND THEIR ORGANIZATIONAL CONSEQUENCES AFTER 2015 pp. 1-9.
- A112 **Vér Cs, Dolgosné Kovács A:** FINANCIAL IMPACTS OF THE CENTRALIZATION OF THE HUNGARIAN WASTE MANAGEMENT PUBLIC SERVICE BETWEEN 2016 AND 2020 pp. 1-9.
- A113 **Hosakun W, Horváth D, Börösök Z, Pásztory Z:** INSULATION BOARD MADE OF SAW DUST pp. 1-9.
- A114 **Kovács K, Czupy I, Hemida M, Vityi A:** POTENTIAL CONTRIBUTION OF AGROFORESTRY PRACTICES USED IN AGRICULTURAL AREAS pp. 1-7.
- A115 **Kornfeld Zs:** ECO-TENDENCIES REGARDING PELLETS pp. 1-10.

Session 12

- B121 **Porcsin A, Szakálosné M K:** A HAZAI FEHÉR AKÁC ERDŐTERÜLETEINEK, AZ AKÁCMÉZ MENNYISÉGÉNEK, ILLETVE A MÉHCSALÁDSZÁMOK VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA 2000-TŐL NAPJAINKIG pp. 1-7.
- B122 **Szunyog I, Szombati-Galyas A B:** A BIOMETÁN ÉS A HIDROGÉN HATÁSA A FÖLDGÁZRA BESZABÁLYOZOTT GÁZKÉSZÜLÉKEKBEN pp. 1-10.
- B125 **Kóczán Zs:** APPLICABILITY OF AFM IN PAPER RESEARCH pp. 1-8.

Baláž M.

*Department of Mechanochemistry, Institute of Geotechnics Slovak Academy of Sciences,  
Košice, Slovakia; email: balazm@saske.sk*

## **MECHANOCHEMISTRY: SUSTAINABLE TOOL FOR THE TREATMENT OF RAW MATERIALS AND WASTE**

Mechanochemistry utilizing tools of ball milling can be efficiently used for the treatment of various raw materials in a sustainable manner. The sustainability of mechanochemistry comes from its solvent-free and waste-free character. During the presentation, the possibility to treat eggshell waste<sup>1</sup>, tetrahedrite concentrate<sup>2</sup> and copper smelter slag<sup>3</sup> using mechanochemistry will be shown.

Mechanochemistry is also a great environmental tool for recycling waste into functional materials. The studies devoted to this topic have been recently summarized and are expected to be published in the form of book in near future<sup>1</sup>. Within the presentation, examples of mechanochemical treatment of various waste types (e.g. electronic waste, metallic waste, fly ash, polymer- and silicium-based waste, sludge, biomass, shells and fibrous waste) will be demonstrated.

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-18-0357 and by the Slovak Grant Agency VEGA (project 2/0044/18). The author also acknowledges COST Action CA18112, supported by COST (European Cooperation in Science and Technology).

### **REFERENCES**

1. **Baláž, M.:** “Ball milling of eggshell waste as a green and sustainable approach: A review” *Adv. Colloid Interface Sci.* vol. 256, 2018, 256-275.
2. **Baláž, P., Sekula, F., Jakabský, Š. and Kammel, R.:** “Application of attrition grinding in alkaline leaching of tetrahedrite” *Miner. Eng.*, vol. 8, 1995, 1299-1308.
3. **Mussapyrova, L., Nadirov, R., Baláž, P., Baláž, M.:** “Selective room-temperature leaching of copper from mechanically activated copper smelter slag”, unpublished results.
4. **Baláž, M.:** “Environmental Mechanochemistry: Recycling Waste into Materials Using Ball Milling” Springer-Nature, under review.

Miloš Nenadović, Miljana Mirković, Snežana Nenadović and Ljiljana Kljajević

*“Vinča” Institute of Nuclear Sciences National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade*

## STRUCTURAL, PHYSICOCHEMICAL AND RADIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF GEOPOLYMERS

### ABSTRACT

This article presents the results of the compositional, structural, radiological and morphological study of geopolymers synthesized from precursors (metakaolin, fly ash, wood ash and red mud) and an alkali activator. The precursor of the geopolymer, and the geopolymer samples were investigated by Fourier transformation infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), MALDI-TOF analysis, gamma spectroscopy and SEM-EDS analysis. Main goal is defining the optimal precursor for geopolymerization process. Geopolymers are a new class of alumino-silicate materials and are attractive because of their excellent mechanical properties, durability and thermal stability. In addition, they are of great interest due to the reduced energy requirement for their manufacture and the high sustainability. In fact, industrial and natural waste can be employed as precursors of materials for immobilization and adsorption as well as of potential low weight construction materials [1-3]. The synthesis procedure is extremely versatile, thus it is possible to obtain tailored properties by changing several parameters, i.e. the precursors, the solution/solid ratio, or the addition of additives. In this way, it is possible to obtain high porosity materials to be applied in many different technological fields thanks to their high gas permeability, large surface area, high temperature stability, and thermal shock resistance [5,6]. For silica based materials it is known that three different groups are present on the surface: siloxane bridges (-Si-O-Si-), hydroxyl groups (-OH) and coordinative unsaturated Si atoms. Since the hydrophobicity of silica surface increases with the decreasing of the amount of hydroxyl groups, the stability of silica in water can be improved by increasing the sintering temperature or by introducing some organic or inorganic groups to substitute the hydroxyl groups [7]. The modified silica materials, or modified green inorganic materials can attain selective and determined adsorption of environment pollutants. The main aim is to define a cost-benefit, environmental-friendly and sustainable technology for the use or re-use of local industrial waste alumino-silicate materials for the production of new water treatment and construction components based on inorganic polymer ceramic materials.

### ACKNOWLEDGEMENT

This research was financially supported by the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development.

### REFERENCES

1. S. Nenadović, G. Musci, Lj. Kljajević, M. Mirković, M. Nenadović, F. Kristaly, I. Vukanac: Nucl Technol Radiat Prot, 32 (2017) 261-266.
2. Lj. Kljajević, S. Nenadović, M. Nenadović, N. Bundaleski, B. Todorović, V. Pavlović, Z. Rakočević, Ceram Int, 43 (2017) 6700-6708.
3. S. Nenadović, F. Claudio, M. Nenadovic, C. Raffaele, M. Mirković, I. Vukanac, Lj. Kljajevic, „Chemical, physical and radioogical evaluation of raw materials and geopolymer for building application“: J Radioanal Nucl.Chem, <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07250-1-6>. (2020)
4. M. Ivanovic, Lj. Kljajevic, J. Gulicovski, M. Petkovic, I. Jankovic-Castvan, D. Bucevac and S.Nenadovic, Sci Sinter, 52 (2020) 219-229.
5. S. Nenadović, Lj. Kljajević, M. Nešić, M. Petković, K. Trivunac, V. Pavlović: Environ Earth Sci, 76 (2017) 76-79.
6. M. Ivanović, Lj. Kljajević, M. Nenadović, N. Bundaleski, I. Vukanac, B. Todorović, S. Nenadović, Physicochemical and radiological characterization of kaolin and its polzmerization products, Constr Build Mater, 68 (2018) 330.
7. Lj. Kljajević, Z. Melichova, D. Kisić, M. Nenadović, B. Todorović, V. Pavlović, S. Nenadović: Sci Sint, 51 (2018) 163-173.



Bokányi Lj – Krizsán Gy – Takács J – Faitli J – Abbadi A I H -  
Mádai-Üveges V – Janetasari S U - Pintér-Móricz Á

*Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing,  
University of Miskolc, Hungary, e-mail: ejtblj@uni-miskolc.hu*

## **EVALUATION OF EFFICIENCY OF HYDRODYNAMIC TREATMENT ON SEWAGE SLUDGE**

### **ABSTRACT**

The advanced treatment of sewage sludge is a very important task of the 21st century. To convert the sewage sludge into valuable fertiliser or renewable fuel, first of all an intensive, additional to the main biological stage, aerobic degradation is needed. Such a treatment can be carried out by ultrasonic or hydrodynamic effect. An industrial scale hydrodynamic test rig with a specially designed pump had been built and preliminary laboratory and industrial on-site systematic tests had been carried out. Based upon the industrial experimental results, several quality parameters were measured on the real sewage sludge before and after the hydrodynamic treatment combined with the adsorption process. The conclusions were drawn.

### **INTRODUCTION**

Sewage sludge is the residue resulted from the wastewater treatment processes. Sludge, as the largest in volume by-product, still consists of valuable nutrients and has a significant calorific value, its treatment and disposal methods are of significant concern. Once it has been realized that sewage sludge components can be recycled, it led to the idea of making products from sewage sludge. Valuable products from sludge can be recycled as materials for the purpose of the land application or as secondary energy source [1]. This idea of the recycling of sewage sludge has initiated innovations in technologies and techniques. The new technologies aim at the effective and efficient treatment of sewage sludge ensuring its safe applications. Although there are many different new methods for sludge treatment, the common goal of all of them is a partial or complete bacterial cell rupture, i.e., disruption of the cell wall and the release of intercellular organic substances into the liquid phase to facilitate the biodegradation processes. One of these new methods is the disintegration by hydrodynamic cavitation, which has a positive effect on the degree and rate of anaerobic sludge digestion [2]. The secondary aerobic degradation can be enhanced too by a hydrodynamic treatment. To prove that a R&D project was generated with the title „Development of bio raw materials products range with a special regard to the local technology – research on the possibility of utilisation by technological optimization” (GINOP-2.2.1-15-2017-00069) with the consortium consisting of Transdanubian Regional Water Works LTD and the Institute of Raw Materials Preparation and Environmental Processing, University of Miskolc.

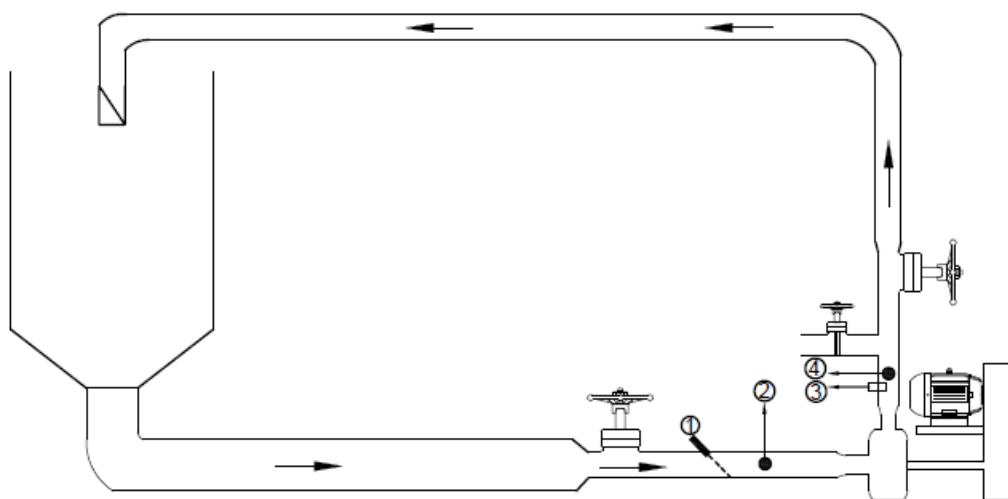
Hydrodynamic cavitation results in the formation of cavities filled with vapour – gas mixture inside the flowing liquid, due to rapid local pressure drop. This local pressure drop subsequently recovers causing cavities to collapse. There are two types of effects caused by the cavitation occurrence: mechanical and physicochemical. These two effects arise due to

changes happening inside the cavitation bubble itself during the implosion. The physicochemical effects are represented in pressure and temperature increase, which accounts for a thermal shift. A second consequence is the chemical effect taking place due to the creation of ozone, hydroxyl radicals, and the initiation of a chain of chemical reactions. Hydrodynamic disintegration can activate the biological hydrolysis process and, therefore, significantly increase the biodegradation [3]. Although there are some studies on hydrodynamic cavitation effects on sewage sludge, more experiments with various operation scales should be conducted to understand and address scale-up issues.

Our research is going to tackle the experimental work on an industrial scale set-up to establish pathways for transferring the fundamental technique into practice. Our idea is to combine hydrodynamic treatment with the addition of solid seeds having adsorbing capacity from one hand, as well as cell rupturing ability from another. Fossil coal with high humic acid content was chosen as a potential seed material, it can contribute the value of the fertilising and energetic recycled products as well. Another seed material chosen was natural zeolite having adsorbing capacity but no calorific value.

## MATERIALS AND METHODS

A hydrodynamic test rig had been developed. The experimental set-up applied consisted of an open storage tank with a volume of 1.86 m<sup>3</sup>, centrifugal pump, cavitation chamber (slurry pump) and pipelines that have different cross-sections, which is used for connecting the storage tank with the cavitation chamber for the purpose of circulating the working fluid, a discharge valve and recirculation point. The working principle of the set-up is based on recirculating the fluid from the tank through the cavitation chamber, and re-feeding it back to the tank. After specific recirculation time, the content of the tank can be discharged through a discharge point. The scheme of the experimental set-up is presented in Fig. 1 and a photo is shown on Fig. 2.



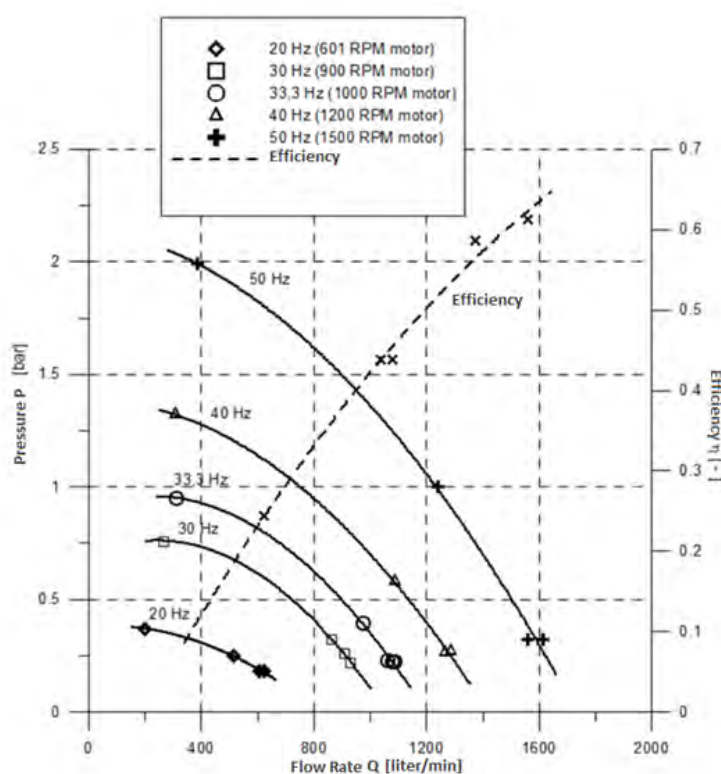
*Fig.1: The scheme of the experimental set-up.*

- 1- Tank. 2- Valves. 3- Transducers and their positioning. 4- Cavitation chamber. 5- Centrifugal pump. 6- Discharge point. 7- Recirculation pipe.



*Fig. 2: Photo about the hydrodynamic experimental rig.*

First fluid dynamics parameters were measured in the laboratory and the pump characteristic curve was determined [5, 6] as it is shown in Fig. 3.



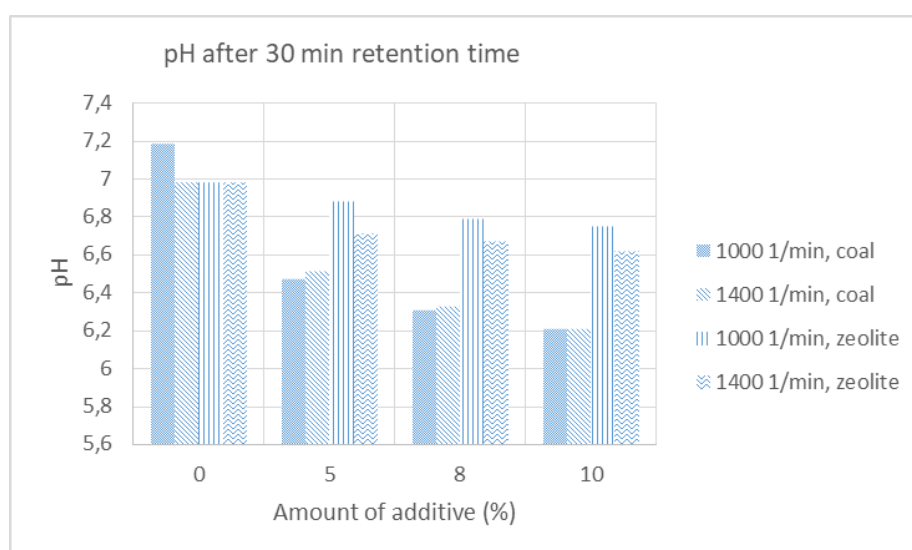
*Fig. 3: Pump characteristic curve [4].*

Several laboratory experimental runs were carried out with tap water and addition of fossil coal seeds. The promising results were obtained concerning the pH and dissolved oxygen concentration change.

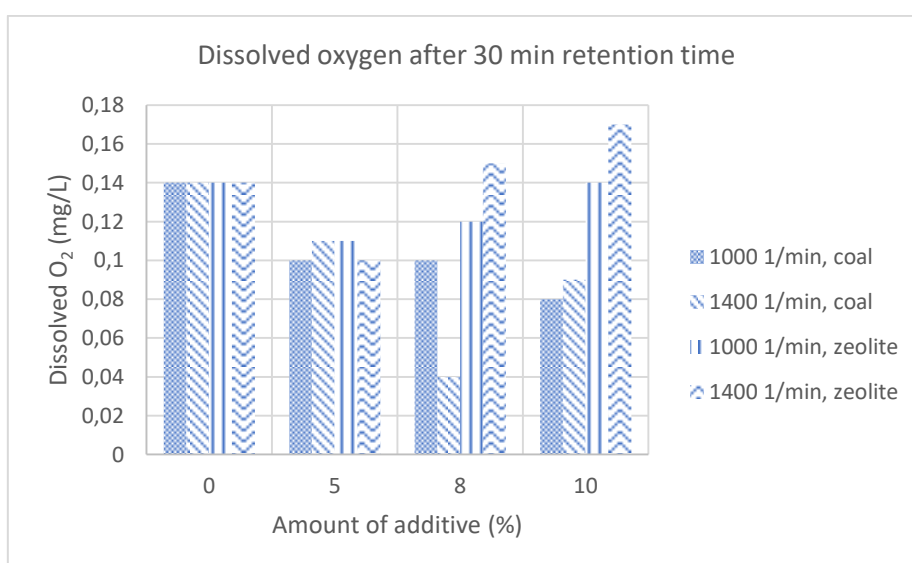
After the preliminary laboratory work the test rig was transported and industrial experiments were carried out on the site of Waste Water Treatment Plant in Siófok. The real sewage sludge was used, several parameters like pH, dissolved oxygen concentration (DO), chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD) and total organic carbon (TOC) were measured at different dosages of seeds as additives, as well as the revolution number of pump.

## RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 4 shows the pH values at different revolution numbers after 30 min retention time of hydrodynamic treatment. It can be seen that at fossil coal used as seed additive the pH drop after the hydrodynamic treatment as compared with pH before that is much higher than in case of zeolite. The pH drop increases with the increasing dosage of fossil coal, but almost indifferent to the revolution number. The pH phenomenon is related to the cavitation, as well as adsorption on the seeds surface. The latter seems to be weaker in case of zeolite.



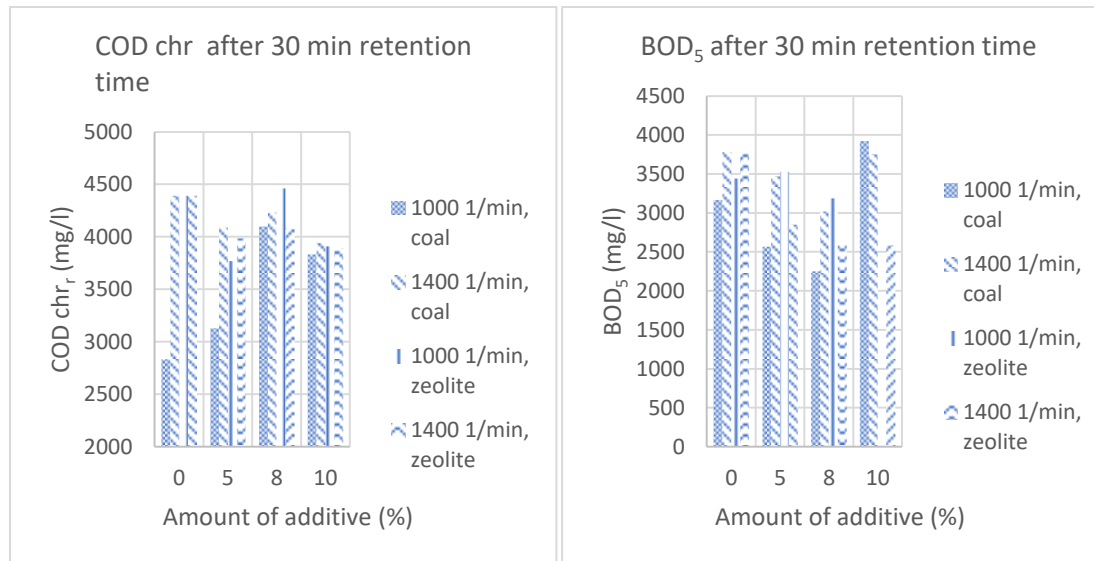
**Fig. 4: pH at different revolution numbers after 30 min retention time of hydrodynamic treatment.**



**Fig. 5: The change in the dissolved oxygen concentration (DO) due to the hydrodynamic treatment and using additives at various dosages, after 30 min retention time at different revolution numbers.**

The change in the dissolved oxygen concentration (DO) due to the hydrodynamic treatment and using additives at various dosages, after 30 min retention time at different revolution numbers is illustrated by Fig. 5. It can be seen that the DO in case of the fossil coal as seed decreases with its growing dosage and lower as compared with the case without additive. In the meantime the revolution number dependence is obliged by a minimum function. The minimum was found at 8% dosage and 1400 1/min revolution number.

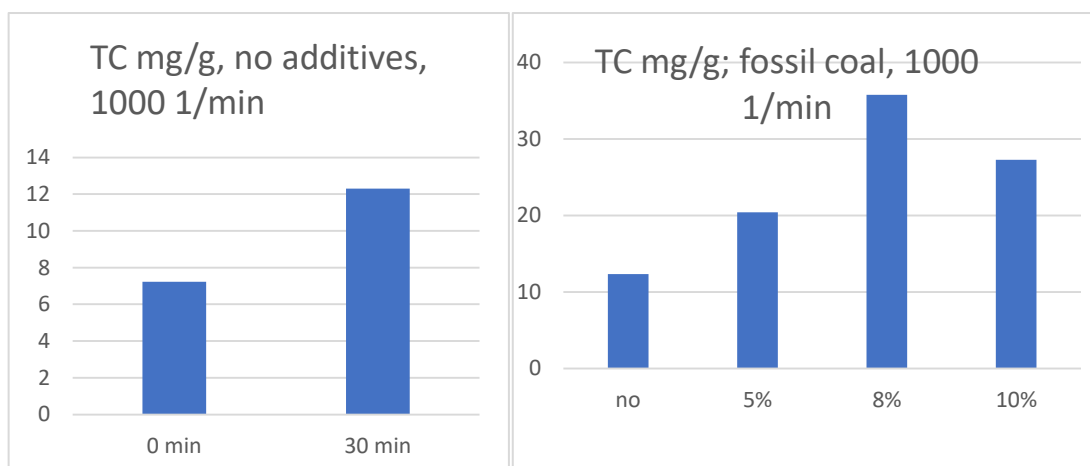
Nevertheless, in case of zeolite the DO first decreases, then increases with the increasing dosage, finally above 8% and higher revolution number it becomes even higher than that without it.



**Fig.6: Change in chemical oxygen demand (COD, left side diagram) and biological oxygen demand (BOD, right side diagram) ) due to the hydrodynamic treatment and using additives at various dosages, after 30 min retention time at different revolution numbers.**

Fig. 6 shows the change in chemical oxygen demand (COD, left side diagram) and biological oxygen demand (BOD, right side diagram) ) due to the hydrodynamic treatment and using additives at various dosages, after 30 min retention time at different revolution numbers. It can be easily seen that at 1000 1/min, and somehow less markedly, but still at 1400 1/min revolution number with the increasing dosage of fossil coal the COD increases, while the BOD decreases until 8% dosage, then the former decreases and the latter increases. It means that below 8% there is no significant cell rupture and the dissolution of colloid particles. Anyway, it is quite a job to reveal all the reasons of behaviour because in our system the cell rupture due to the cavitation is accompanied by the adsorption process making the whole system a very complex.





**Fig.7: Total carbon without and with fossil coal seeds at 1000 1/min revolution number**

Fig. 7 illustrates the total carbon specific value without and with the fossil coal seeds at 1000 1/min revolution number of pump. It is prominent that the value increases with the hydrodynamic treatment until 8% dosage, then decreases. It means that the rupture of the microbial cells definitely took place and there is an optimum of operational parameters.

## CONCLUSIONS

Based upon the industrial experiments carried out at the WWTP in Siófok and results obtained by measuring several quality parameters on the real sewage sludge before and after the hydrodynamic treatment at various operational conditions the following conclusions were drawn.

- The proposed innovative hydrodynamic treatment combined with the adsorption on the surface of solid seeds like fossil coal and zeolite does work.
- The pH, DO, COD, BOD and TC change due to the cavitation combined with adsorption are in agreement and indicate the rupture of the microbial cells and the dissolution of colloidal particles in water, with their further fast aerobic degradation.
- The dependence of the above quality parameters with the operational parameters like revolution number and dosage of additives was also revealed.

## ACKNOWLEDGEMENT

The described article was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network - RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 program. The realisation of these projects is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

- [1.] Bokányi, L. (2017): Development of bio raw materials products range with a special regard to the local technology – research on the possibility of utilisation by technological optimization (GINOP-2.2.1-15-2017-00069) R&D Project. Budapest.
- [2.] Machnicka, A., Grübel, K. and Suschka, J. (2012). The use of hydrodynamic disintegration as a means to improve anaerobic digestion of activated sludge. Water SA, 35(1).

- [3.] Ozonek, J. (2012). Application of hydrodynamic cavitation in environmental engineering. Boca Raton: CRC Press. pp. 1-10, 75-76.
- [4.] Abbadi Alaa Imad Hasan (2020): An experimental investigation of hydrodynamic cavitation for the sake of sewage sludge treatment. MSc Thesis, University of Miskolc. Supervisors: Dr. Faitli József and Dr. Bokányi Ljudmilla.
- [5.] Faitli, J. Gombkötő, I. (2015): Some technical aspects of the rheological properties of high concentration fine suspensions to avoid environmental disasters. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND LANDSCAPE MANAGEMENT 23: 2 pp. 129-137.
- [6.] Tarján, I. Faitli J. (1998): The distinction of the fine suspension flow from the coarse mixture flow by measuring of the pressure loss on a horizontal pipe. GOSPODARKA SUROWCAMI MINERALNYMI 14: 3 pp. 61-70.

# **The Potential of Acetonitrile Degradation Using Anaerobic Microbial Consortium**

**Janetasari, Selly Ayu<sup>1\*</sup>; Olviani, Allif<sup>2</sup>; Hamidah, Umi<sup>3</sup>; Widyarani<sup>3</sup>; Sintawardani, Neni<sup>3</sup>; Bokányi, Ljudmilla<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Research Unit or Clean Technology, Indonesian Institute of Sciences, Indonesia and PhD student, University of Miskolc, Hungary*

<sup>2</sup> *Faculty of Mathematics and Science, Department of Chemistry, Gadjah Mada University, Indonesia*

<sup>3</sup> *Research Unit or Clean Technology, Indonesian Institute of Sciences, Indonesia*

<sup>4</sup> *Institute of Raw Material and Environmental Processing, Department of Bioprocessing and Reaction Techniques University of Miskolc, H-3515, Miskolc-Egyetemváros, ejtblj@uni-miskolc.hu*

\* Corresponding author, e-mail: [celliyayu@gmail.com](mailto:celliyayu@gmail.com)

## **Abstract**

Research activities in laboratories produce various types of waste including chemical waste. Acetonitrile is a widely used in laboratory analysis solvent. Acetonitrile can turn into hydrogen cyanide and acetaldehyde which are harmful substances. Therefore, acetonitrile cannot be discharged directly into the environment due to its toxic characteristics. The aim of this research was to reveal the effectiveness of anaerobic degradation of acetonitrile waste in a batch system. The experiments were carried out using mixed culture of microorganisms, and bamboo carrier at the variations in pH and acetonitrile concentration. The reactor was incubated for 28 days at room temperature. Samples were taken periodically for analysis of pH, acetonitrile concentration, TOC, TS, OTS, COD, and biogas production during the study.

The results showed that the pH of the samples was in the range of 4...8 for 28 days. The levels of TS, OTS, TOC, COD and acetonitrile concentration from day-to-day decreased indicating that the degradation of waste by mixed microbial culture took place. The highest biogas production was obtained in the reactor with 5% acetonitrile concentration at pH 7. The greatest degradation efficiency (based on the reduction in COD levels) was 85% obtained at acetonitrile concentration of 5%, pH 4, and using bamboo as a carrier immobilizing material.

**Key words:** anaerobic degradation, acetonitrile, mixed microbial culture, batch experiments.

## **1. Introduction**

Research activities in the laboratories produce various types of waste, especially chemical waste. Chemical waste is derived from the residual or expired chemicals, the remaining sample materials or remaining materials used in analysis activities both from the preparation stage and the instrument stage, the residues spill, from the remaining packaging to the remaining products of the research process that do not meet regulatory requirements to be directly discharged into the environment. Chemical waste is categorized as hazardous and toxic waste because they are corrosive, carcinogenic, toxic and combustible.

Acetonitrile is a widely used in laboratory analysis solvent. In the Technical Guidelines for Laboratory Waste Management issued by the National Accreditation Committee in 2006 [1], laboratory waste in the form of solvents are hazardous and toxic organic wastes that are flammable. Acetonitrile cannot be discharged directly into the environment due to its toxic properties.

Acetonitrile can turn into hydrogen cyanide and acetaldehyde which are harmful substances. Several studies have been carried out to solve the problem of acetonitrile waste. Acetonitrile waste treatment techniques using ozone and photocatalytic oxidation have been tested by Adjei and Ohta [3], [4], but these techniques require high operational costs. Another research was aimed to develop a bioremediation technique to degrade acetonitrile, the development of degrading microorganisms began to be used as conducted by Alfani et al. [5] using *Brevibacterium imperialis* CBS489-74 [6] and *Candida guilliermondii* CCT 720 [7] using *Comamonas testosteroni* and *Acidovorax* sp. [8] using a combination of *B.subtilis* biofilm forming and *R. rhodochrous* acetonitrile degrading microorganisms.

Based on the results of previous studies it was shown that some species of microbial isolates have a potential to degrade acetonitrile, but the use of mixed cultures or a consortium of microorganisms also had the potential to degrade acetonitrile, nevertheless their use was still limited. T. Li, Liu, Bai, Ohandja, & Wong [9] in their research attempted to degrade acetonitrile using a microbial consortium in anaerobic conditions, the results of the study showed that acetonitrile could be degraded by 69.9% within 4 hours using mixed culture adapted in anaerobic conditions.

In this research, the residual acetonitrile degradation process was carried out in an anaerobic batch system using the inoculum of mixed microbial culture containing a consortium of biogas-producing microorganisms. The purpose of this study was to determine the tolerancy and resistance of anaerobic microorganisms to the concentration of acetonitrile, as well as their degrading ability towards to the acetonitrile substrate. Variations in waste concentration and the pH of the were tested. Bamboo medium is known as breeding ground for microorganisms and is proven to be an effective place for immobilization and growth of microbial biofilm. [9].

## **2. Materials and Methods**

### **2.1 Inoculum Preparation**

The inoculum was taken from two places: the farmhouse of Kab. Bandung and Tofu Waste Treatment Plant in Sumedang, then mixed in proportion 50-50%. The inoculum was incubated in a drum cultivator with the addition of water (1: 1) and molasses as a source of nutrition, then left for 7....14 days while being shaken until gas bubbles appeared and pH became 7. The inoculum was taken as much as 15 L and put into the HDPE plastic jerrycan. The inoculum was added with a 10% glucose monohydrate solution (150 grams of glucose dissolved in 1500 mL water) and 10% molasses of 500 mL. The mixture was exhaled by nitrogen gas (N<sub>2</sub>) for 3 minutes at a constant speed.

### **2.2 Acetonitrile Waste Preparation**

The acetonitrile sample was isolated from the pesticide content analysis residue at High Performance Liquid Chromatography (HPLC), the acetonitrile waste was obtained from the process of dissolving the tea leaves. From this process, acetonitrile waste obtained was a mixture with other solvents such as hexane, consisting the following compounds: acetonitrile (70%), n-hexane (20%), methanol (10%), and tea leaf extract (tea and chocolate compounds). The acetonitrile was separated from other solvents by using a pipette based in the difference in density and then homogenised, so that the acetonitrile stock could be used for the experiments.

### **2.3 Bioreactor Preparation**

The treatment variations in this study were: the reactor at the original pH of the waste sample with acetonitrile concentration variation 5%, 10% and 15%; the pH was adjusted to pH 7 by adding NaOH with variations 5%, 10% and 15%; reactor with bamboo pieces as a immobilising carrier of mixed microbial culture with concentration variations of 5% and 15%.

Acetonitrile samples were taken and observed periodically every 7 days from the experimental reactor for analysis: pH measurement, acetonitrile concentration using gas chromatography, TOC (total organic carbon), TS-OTS (total solid - organic total solid), COD (chemical oxygen demand), and biogas production during the experiment.



The batch reactor arrangement is shown in Figure 1. The reactor (first flask) filled with acetonitrile waste and has a working volume of 2 L with a ratio of inoculum:acetonitrile waste solution 1: 1. The second flask is filled with 2.5L of water, while the third one in the image is left empty. The third flask was used to accommodate the displacement of water from the second flask caused by the pressure of the biogas formed in the process of the degradation of acetonitrile in the reactor.

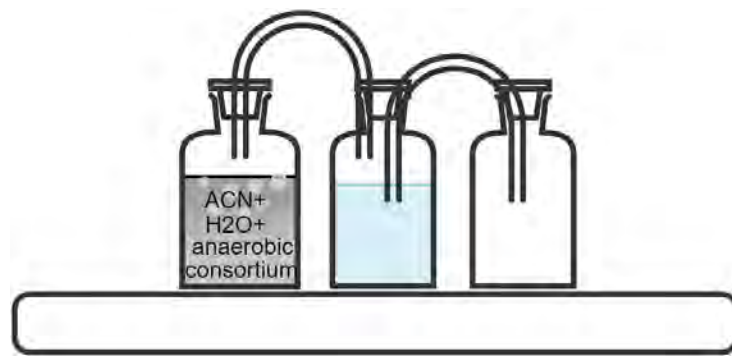


Figure. 1 Batch Reactor in the Experiment

The reactor in Figure 2 has a size of 2.5 L filled with bamboo pieces of the random sizes arranged five layers vertically, each layer containing four bamboo pieces tied with string. The reactor had a working volume of 2 L. After being filled with bamboo, the acetonitrile waste aqueous solution was added to the reactor without pH adjustment with various concentrations (% v/v) 5, 10 and 15% , as well as 0%, then an inoculum was added as much as 1000 mL.

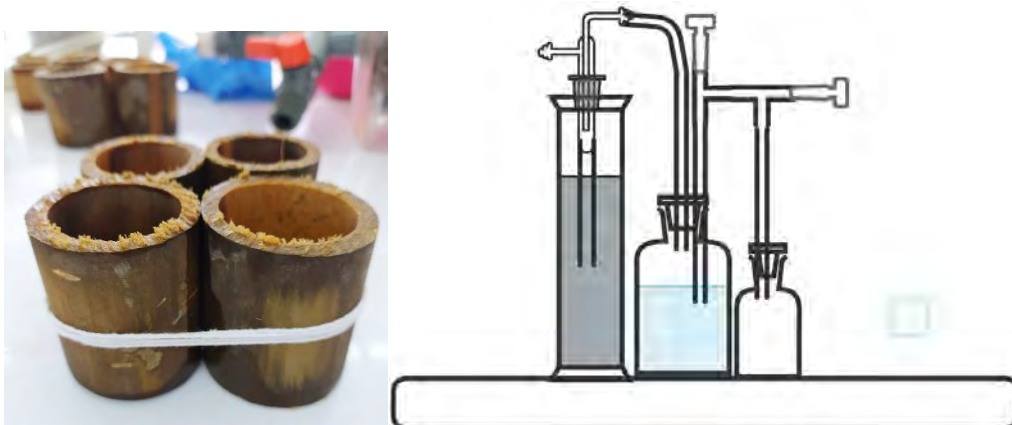


Figure 2. Bamboo Pieces and Reactors with Bamboo as Microbial Immobilising Carrier in Experiment

## 2.4 Characteristics of Acetonitrile and Acetonitrile Degradation Analysis

The acetonitrile taken from residues of High Performance Liquid Chromatography (HPLC) analysis was characterized in advance by means of the pH, Chemical Oxygen Demand (COD), Total Solids and Organic Total Solids (TS-OTS), Total Organic Carbon (TOC), and acetonitrile concentrations. The reactor was incubated at room temperature (25°C) for 28 days. A sample of 25 mL was taken periodically once a week to measure pH, TS, OTS, TOC, COD, acetonitrile concentrations, and gas production with the same method as with the initial characteristics of acetonitrile.

Total solids (TS) is the total amount of solids presented in water, both dissolved, suspended, and solids that settle in water in the form of organic and inorganic compounds. Total organic solids or total organic solids (OTS) are the total amounts of dissolved or suspended solids which are only organic compounds.

The measurement of TS-OTS sample was carried out at 105 ° C for 24 hours. Then the cup with sample was put into the desiccator for 30 minutes then weighed as weight C. The TS value can be calculated using the following formula: .

$$TS = (C-A)/(B-A) \times 100\% \quad (1)$$

A: mass of empty cup

B: wet sample mass

C: dry sample mass.

After weighing, the cup containing the sample is put into the furnace and heated at 550°C for 4 hours (calculated when the furnace temperature reaches 550 ° C) then weighed as a weight D. The OTS value can be calculated using the formula as shown in Equation 2:

$$OTS = (D-A)/(C-A) \times 100\% \quad (2)$$

TOC levels in samples can be measured using a TOC analyzer. The acetonitrile waste sample was diluted 200 times each sample. The TOC (ppm) in the sample was calculated by multiplying the results of the TOC (ppm) in the readings with the dilution factor.

The COD value in the sample was measured using the UV-Vis spectrophotometric method at wavelength of 615 nm. The initial concentration analysis of the acetonitrile sample was carried out using a gas chromatography method with an HP-INNOWax capillary column. The results of the chromatogram have the area on the y-axis and retention time on the x-axis, then the result put into equation  $y = ax + b$ . The acetonitrile concentration is calculated by substituting the area value into the Y. The value of x is obtained as the acetonitrile concentration sought and then multiplied by the dilution factor.

### **3. Results and Discussion**

#### **3.1 Inoculum Activation and Adaptation**

The aim of inoculum activation is create the optimal conditions for the microorganisms. In the meantime, the inoculum adaptation is very essential step to enhance the efficiency of degradation of organic matters and biogas production. The adaptation of inoculum was carried out in accordance with Rivera et.al. with 20 days adaptation in bioreactor digesting sludge [10], Acosta et al. adaptated 5 liter digesting sludge in 50 days adaptation period and achieved stable values of biogas production, methane content and removal of chemical oxygen demand (COD) [11].

The results of inoculum adaptation showed by biogas composition on the fourth day of incubation are presented in Table 1. The composition indicate that the mixed microbial culture present in the inoculum is in a healthy and active condition and able to assimilate glucose and molasses as a source of carbon and other nutrients.

**Table 1.** Gas Composition in the Fourth Day of Inoculum Adaptation

| Parameter                         | Value |
|-----------------------------------|-------|
| Methane (CH <sub>4</sub> )        | 35.6% |
| Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> ) | 28.7% |
| Oxygen (O <sub>2</sub> )          | 2,1%  |
| Nitrogen (N <sub>2</sub> )        | 33.6% |
| pH                                | 7.04  |

The low concentration of methane means that in the microbial activation process the microbial growth was affected by incubation time, substrate concentration and culture for medium acidification [12].

### **3.2 Acetonitrile Waste Characterization**

The acetonitrile waste which was used in this study originates from residual waste of tea leaf extract. The acetonitrile waste contains several chemical compounds such as acetonitrile (70%), n-hexane (20%), methanol (10%), and the remaining content of tea leaf extract. The n-hexane content in the sample has been separated from the other components by liquid extraction. The separation of n-hexane aimed to prevent the formation of other compounds that can inhibit the degradation process of acetonitrile.

The results of measuring the TOC (ppm) of the initial sample is shown in Table 2 . According to Kubsad et al. [13], wastewater containing 100 ppm acetonitrile has COD level between 4.000-6.000 ppm. The initial concentration of the acetonitrile sample which was used in this experiment had a value of 192.088 ppm. COD levels in the sample are compared with the theoretical COD based on the research conducted by Kubsad and colleagues, and known that the COD value in this study is still within the theoretical COD range.

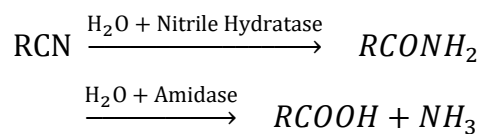
**Table 2.** Initial Acetonitrile Waste Characterization

| Initial Acetonitrile Characterization |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| Total Organic Carbon (TOC) (ppm)      | Concentration (ppm) |
| 182.564,60                            | 192.088             |

### 3.3 Acetonitrile Degradation

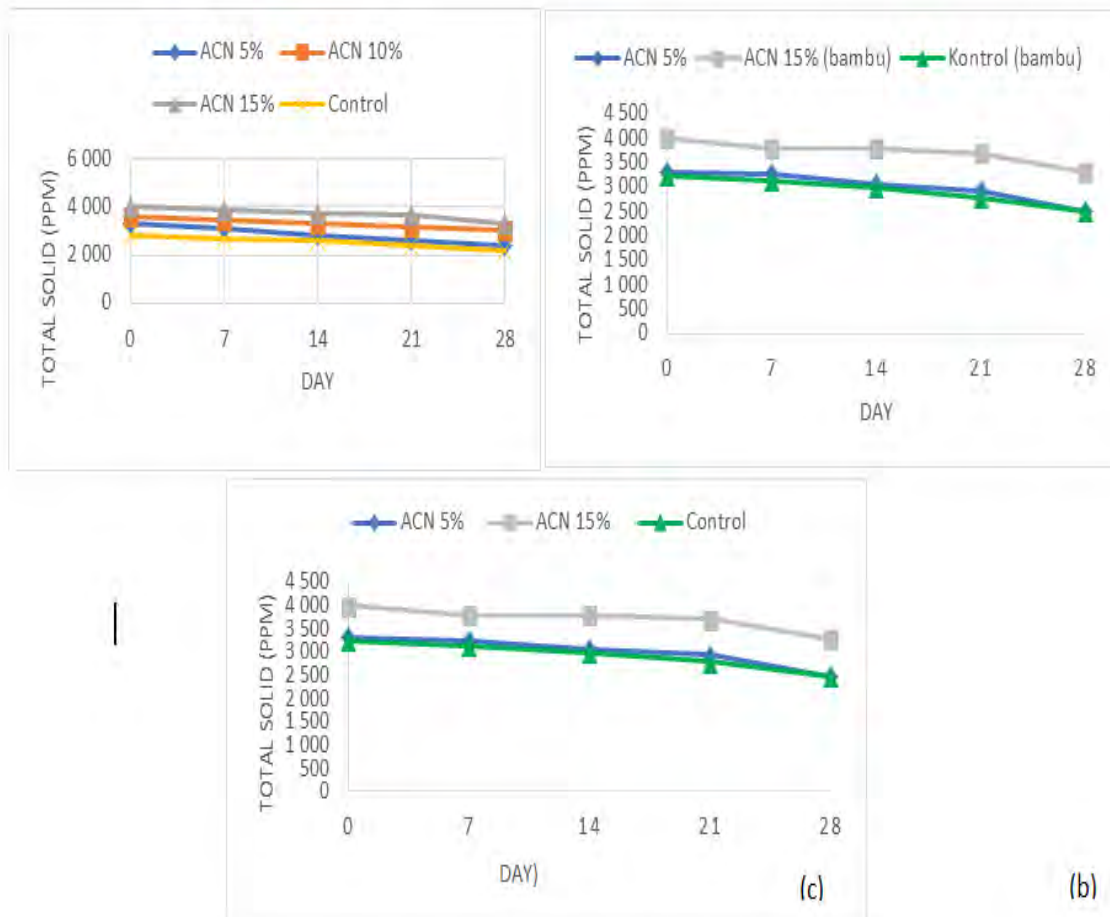
Acetonitrile is one of solvent which frequently used in column liquid chromatography, but because of toxic characteristic, the safe disposal of acetonitrile is essential. One of the options is using biological degradation. Microbial degradation of a toxic substance is a challenge because it can be an inhibitor to the microbes, the decomposition can be effective and possible after adaptation of the microbes.

Acetonitrile can be degraded microbially in several steps [14]:

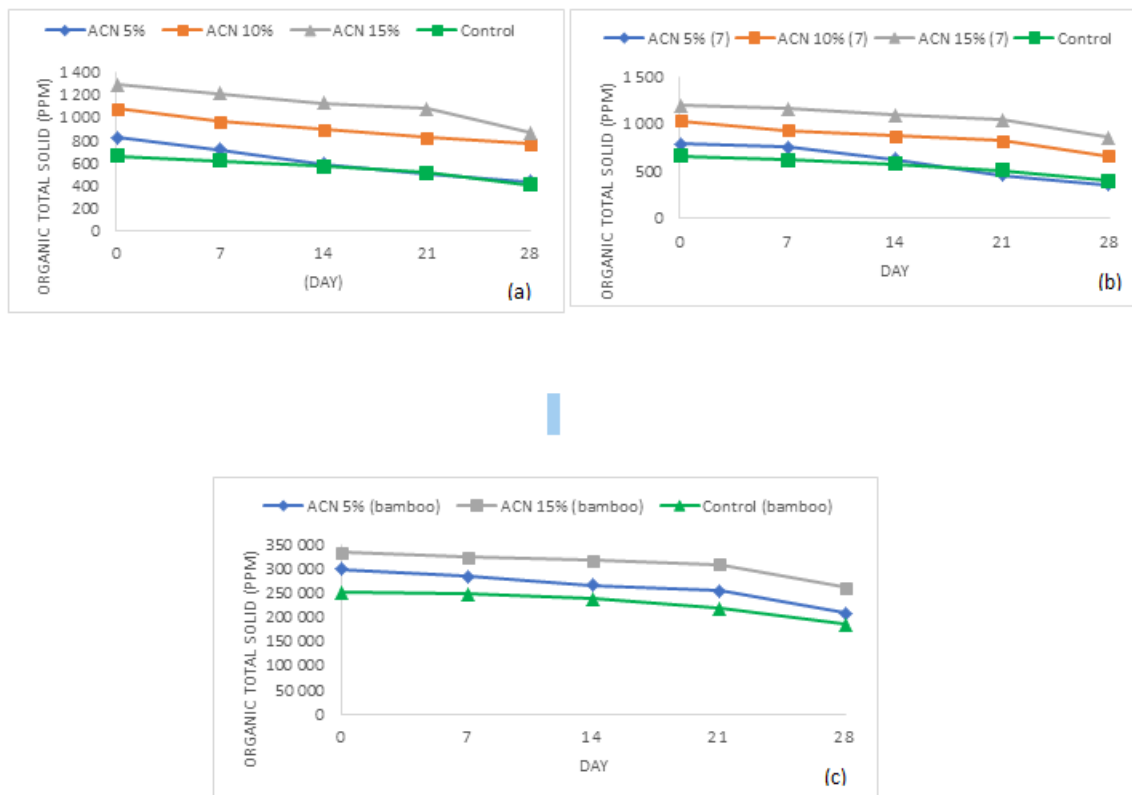


And then fatty acids can be converted into methane and CO<sub>2</sub>.

Figure 3 and 4 illustrate the data obtained over 28 days retention time.



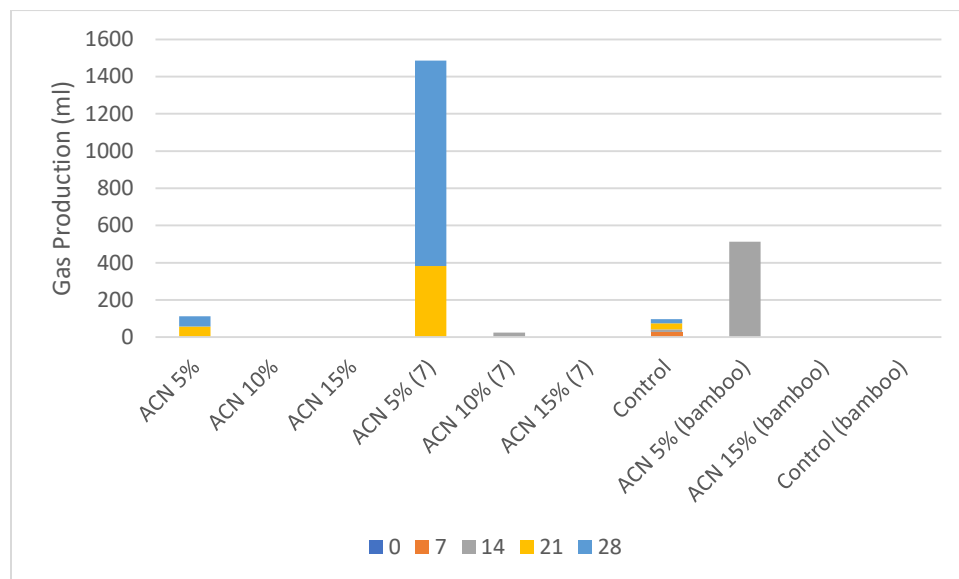
**Figure 3.** Concentration Total Solid (TS) in 28 days (a) Acetonitrile Reactor without pH Adjusted; (b) Acetonitrile Reactor with pH Adjusted ; (c) Acetonitrile Reactor with Bamboo



**Figure 4.** Concentration Organic Total Solid (OTS) in 28 days (a) Acetonitrile Reactor without pH Adjusted; (b) Acetonitrile Reactor with pH Adjusted ; (c) Acetonitrile Reactor with Bamboo

Based on the graphs in Fig. 3 and 4, it was found that the TS and OTS levels of all samples decreased from day 0 to day 28. This is because acetonitrile have been degraded and other compounds such as acetamide, acetic acid, and ammonia are produced. The decrease in TS and OTS levels was not too significant because the anaerobic degradation process took a longer time. In addition, TS levels not only indicate the amount of dissolved or suspended acetonitrile solids, because in the reactor there are also other inorganic compounds, solids or sediments containing microorganisms, sludge, metal oxides etc.





**Figure 4.** Biogas Production during the Experiment

The microbial selection process starts with a complex mixture of organisms, the different concentrations showed the microorganisms ability to degrade acetonitrile and to get adopted microorganisms. Stress factors in anaerobic digestion can influence the degradation and gas production process [15]. Temperature is critical for the development of anaerobic digestion, in our study we used mesophilic microorganisms with operating temperature between 25-40° C. Gilomen et al in the study of detoxification of acetonitrile stated that hydrolysis stage was possible at room temperature, but it took a time approximately 15 days to reach ACN level 0.02% from 10% of ACN [16].

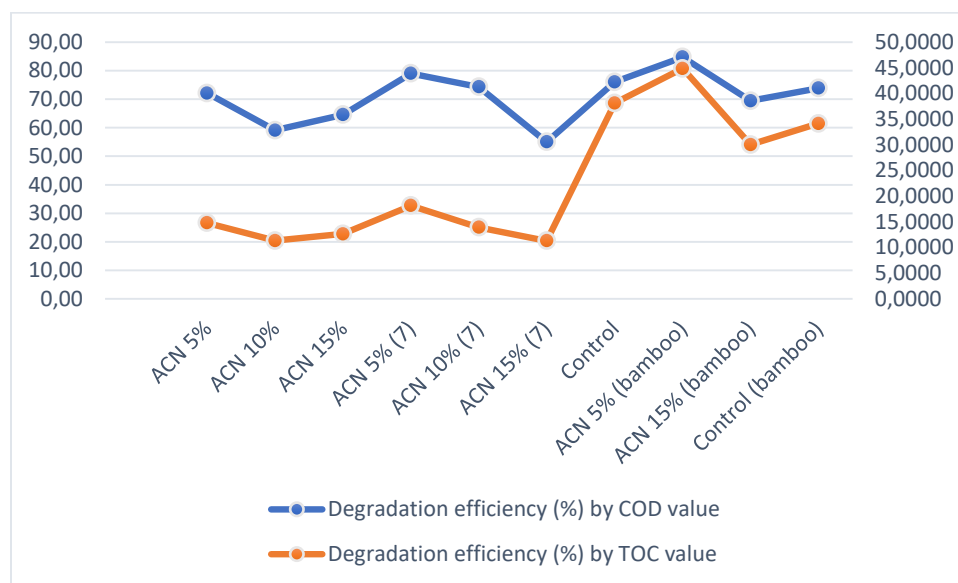
Another basic essential factor is pH, the optimal hydrolysis stage on anaerobic digesting is between 5 and 6 and for methane production is between 6.5 and 8. Methane production with pH below 6 is inhibited [17]. The effect of pH for anaerobic digestion has been analyzed in this experiment. The results obtained showed that the reactor with 5% acetonitrile and adjusted pH produces higher gas than the other reactors.

Based on the TOC analysis the reactor adjusted with NaOH until pH 7 with 5% concentration of acetonitrile has 18% efficiency of degradation, this is higher than the reactor with normal pH of

acetonitrile (pH 4) where it was 14% with the same concentration of ACN waste. The highest degradation efficiency was achieved in the reactor with bamboo shoots as a immobilizing media and 5% concentration of acetonitrile. The use of bamboo is for support of the biofilm in anaerobic digestion. Immobilized biomass can be advantageous for the degradation of organic matter. In anaerobic wastewater treatment the silicate carrier material with hydrophilic interfaces are generally in use [18].

**Table 2.** Acetonitrile Degradation Efficiency based on TOC

| Sample Code      | Degradation efficiency (%) |
|------------------|----------------------------|
| ACN 5%           | 14.8017                    |
| ACN 10%          | 11.3375                    |
| ACN 15%          | 12.6537                    |
| ACN 5% (7)       | 18.1568                    |
| ACN 10% (7)      | 13.9346                    |
| ACN 15% (7)      | 11.3077                    |
| Control          | 38.1305                    |
| ACN 5% (bamboo)  | 44.8620                    |
| ACN 15% (bamboo) | 30.0154                    |
| Control (bamboo) | 34.1408                    |



**Figure 5.** Degradation Efficiency (%) of Acetonitrile by COD and TOC

Table 2 and Figure 5 represent the efficiency of degradation calculated on the basis TOC and COD.

The results show that the highest value of degradation efficiency based on COD was obtained at 85% from the reactor with 5% acetonitrile and pH 4, as well as with the use of bamboo for microbial attachment. The decrease in the value of degradation efficiency based on COD levels has the same tendency as TS, OTS, and TOC levels. The highest value of degradation efficiency based on TOC measurements is 45%, this value was obtained for the reactors with 5% acetonitrile concentration, pH 4, and the use of bamboo as attachment media.

It was not possible to fully degrade the acetonitrile by anaerobic digestion first of all because its inhibiting properties towards the applied microbial consortium. Second reason is the static circumstances of the experiment. Further experiments should be performed using manipulated species, as well as applying a dynamic processing system.

## REFERENCES

- [1] National Accreditation Committee. 2016. Technical Guidelines for Laboratory Waste Management for Environmental Laboratory Accreditation. Jakarta: KAN
- [2] White, DM, Pilon, TA, & Woolard, C. (2000). Biological Treatment of Cyanide Containing Wastewater. 34 (7), 2105-2109.
- [3] Adjei, MD, Ohta, Y., 1999. Isolation and characterization of acyanide-utilizing *Burkholderia cepacia* strains. World J. Microbiol. Biotechnol. 15, 699–704.
- [4] Nagle, NJ, Rivard, CJ, Mohagheghi, A., Philippidis, G., 1995. Bioconversion of cyanide and acetonitrile by a municipal sewage derived anaerobic consortium. In: Hincsee, RE (Ed.), Bioremediation of Inorganic. Battelle, Columbus, pp. 71–79.
- [5] Alfani, F., Cantarella, M., Spera, A., Viparelli, P., 2001. Operational stability of *Brevibacterium imperialis* CBS 489–74 nitrile hydratase. J. Mol. Catal. B-Enzym. 11, 687–697.
- [6] Dias, JCT, Rezende, RP, Linardi, VR, 2001. Bioconversion of nitriles by *Candida guilliermondii* CCT 7202 cells immobilized in barium alginate. Appl. Microbiol. Biotechnol. 56, 757–761
- [7] Wang, CC, Lee, CM, Chen, LJ, 2004. Removal of nitriles from synthetic wastewater by acrylonitrile utilizing bacteria. J. Environ. Sci. Health Part A Tox. Hazard Subst. Environ. Eng. 39, 1767–1779.
- [8] Li, C., Yue, Z., Feng, F., Xi, C., Zang, H., An, X., & Liu, K. (2016). A novel strategy for acetonitrile wastewater treatment by using a recombinant bacterium with biofilm-forming and nitrile-degrading capability. Chemosphere, 161, 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.019>
- [9] Li, T., Liu, J., Bai, R., Ohandja, DG, & Wong, FS (2007). Biodegradation of organonitriles by adapted activated sludge consortium with acetonitrile-degrading microorganisms. Water Research, 41 (15), 3465–3473. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.04.033>
- [10] Rivera A., González J.S., Castro R., Guerrero B. and Nieves G. (2002) Treatment of distillery effluents in an upstream anaerobic filter. 18 (3), 131-
- [11] Méndez-Acosta H.O., Snell-Castro R., Alcaraz-González V., González-Alvarez V. and Pelayo-Ortiz C. (2010). Anaerobic treatment of Tequila vinasses in a CSTR-type digester. Biodegradation 21 (3), 357-363. DOI: 10.1007/s10532-009-9306-7

- [12] López Velarde Santos M, Ventura Ramos E J, Rodríguez Morales J A and Hensel O 2019 Inoculum adaptation for the anaerobic digestion of mezcal vinasses *Rev. Int. Contam. Ambient.* **35** 447–58
- [13] Håkansson K and Mattiasson B 2002 Microbial degradation of acetonitrile using a suspended-carrier biofilm process *Biotechnol. Lett.* **24** 287–91
- [14] Kubsad, V., Gupta, S.K., and Chaudhari, S., 2011, Biodegradation of Wastewater Containing Cyanide, Acetonitrile, and Acrylonitrile Using RBC and Shock Loading Study, *Can. J. Chem. Eng.*, 89, 1536-1544.
- [15] Mudhoo A and Kumar S 2013 Effects of heavy metals as stress factors on anaerobic digestion processes and biogas production from biomass *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **10** 1383–98
- [16] Gilomen K, Stauffer H P and Meyer V R 1995 Detoxification of acetonitrile-water wastes from liquid chromatography *Chromatographia* **41** 488–91
- [17] Dobre, P., Nicolae F. M F 2014 Main factors affecting biogas production - an overview: Letters, Romanian Biotechnological *Rom. Biotechnol. Lett.* **19** 9283–96
- [18] Camargo S A R and Nour E A A 2001 Bamboo as an anaerobic medium: Effect of filter column height *Water Sci. Technol.* **44** 63–70
- [19] Yan G, Wang J and Guo S 2007 Anaerobic Biochemical Treatment of Wastewater Containing Highly Concentrated Organic Cyanogen *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.* **29** 529–35

## **ISZAPKOMPOSZT ANYAGMÉRLEGÉNEK VIZSGÁLATA**

### **KIVONAT**

A tápanyagok visszapótlása a művelés alatt álló talajok számára elengedhetetlen. Környezetvédelem és az emberi egészség szempontjából érdemes ezt lehetőség szerint szerves anyaggal kivitelezni. Ennek egyik lehetősége a szennyvíziszap komposzt. A komposztálás során a patogén mikroorganizmusok elpusztulnak, az anyag átalakul és a végtermék biztonságosan alkalmazható a talajerő-utánpótlásban.

Kutatásunkban egy kommunális szennyvíztisztító telep iszapjának irányított prizmás komposztálásra vonatkozó anyagmérlegét vizsgáltuk. Az anyagmérleg (azaz a be- és kimenő anyagok) ismeretében megalapozottabban vizsgálható a folyamat költséghatékonysága, gazdaságossága, tervezhetők a logisztikai feladatok, valamint kiszámíthatóvá válik a mezőgazdasági hasznosítás oldala is.

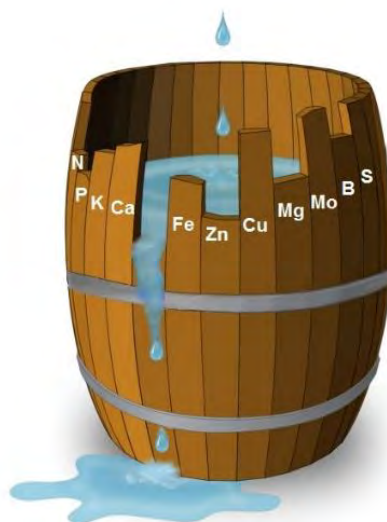
### **BEVEZETÉS**

Magyarországon nagyjából 3 millió hektár nagyságú terület alkalmas települési szennyvíziszap, illetve iszapkomposzt hasznosítására. Ha ebből levonjuk a talaj- és talajvíz-vizsgálati eredmények szerint kizárható területeket, akkor 1,2 millió hektár mezőgazdasági területtel számolhatunk.

Ekkora nagyságú területen évente akár 5-6 millió  $t_{\text{sza}}$  iszap is elhelyezhető, ami az összes éves iszaptömeg 20-szorosa. Erdőterületen csak termékkomposztok hasznosítására van lehetőség, évente nagyjából 20.000 ha-on, ami 160.000  $t_{\text{sza}}/\text{év}$  mennyiség felhasználását jelentheti. (Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia 2014-2023)

A talajok termőképességének szinten tartása érdekében feltétlenül szükség van mikro- és makroelemekre.

Ezeknek a tápanyagoknak a visszapótlása több módon is megtörténhet, de legkézenfekvőbb szervesstratégiával - komposzttal megoldani. A talaj termőképességét, mikroelem szükségletét jól szemlélteti a Liebig-féle minimum törvény, mely kimondja, hogy a növények fejlődésének ütemét a rendelkezésre álló elemek közül mindig az szabja meg, amelyik a legkisebb mennyiségben van jelen.

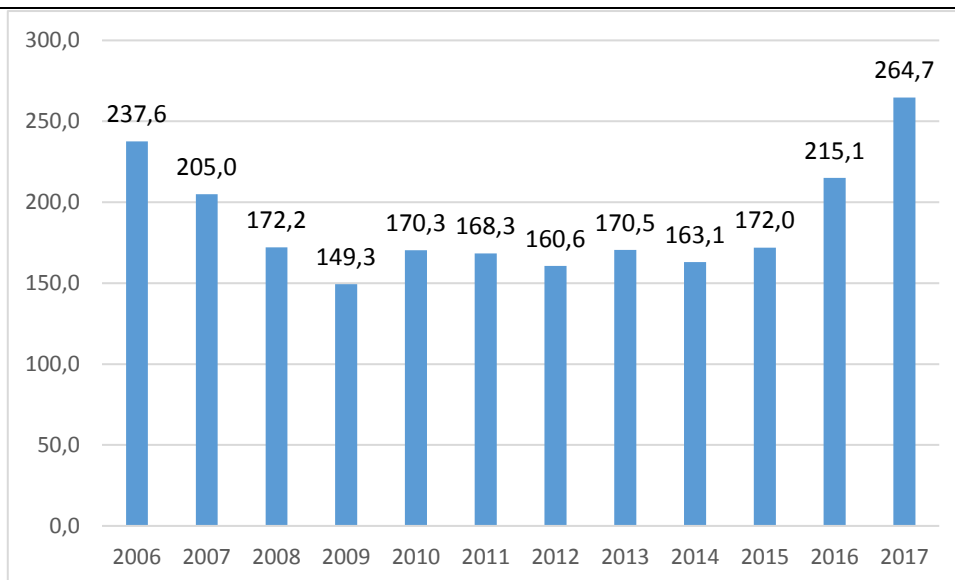


**1. ábra**  
**Liebig-elv (Forrás: URL)**

A szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok a hasznosításuk során tápelemeket szolgáltatnak a növények számára, növelhetik a talajok szervesanyag tartalmát és adszorpciós kapacitását, javíthatják fizikai tulajdonságait, valamint kedvezően módosíthatják azok vízgazdálkodását.

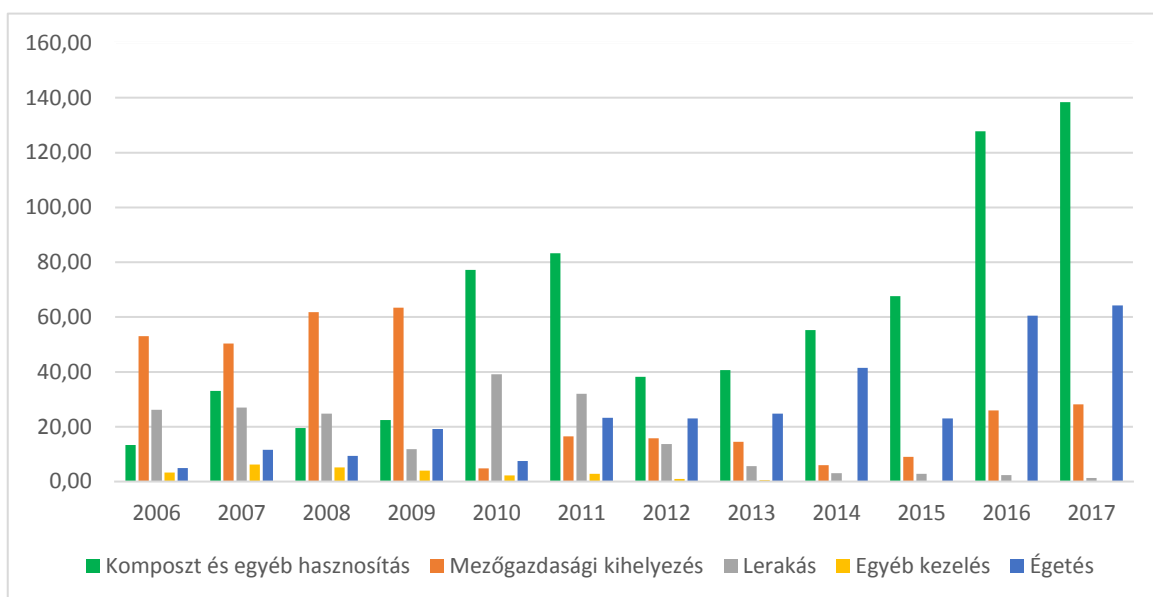
Ugyanakkor tartalmazhatnak toxikus nehézfémeket, valamint szerves szennyezőket, amelyek a szennyvíziszap vagy az iszapkomposzt kihelyezésével feldúsulhatnak a talajban, vagy kilúgzódással, növényi felvétellel, erózióval és deflációval távozhatnak onnan. Aggályos a gyógyszermaradványok és egyéb szerves szennyező anyagok jelenléte, ugyanis ezeket a szennyvíztisztítási technológiák nem képesek eltávolítani. (Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia 2014-2023)

Hazánkban az utóbbi években növekedett a szennyvíziszap mennyisége (1. ábra).



**2. ábra**  
**A keletkezett szennyvíziszap mennyisége Magyarországon 2006-2017 között (ezer tonna)**  
**(Eurostat adatbázis alapján, 2020)**

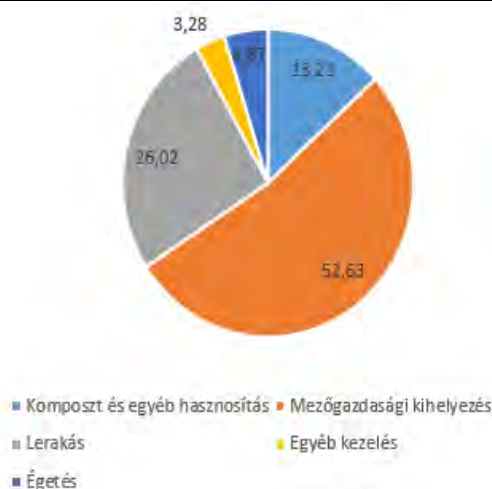
Ebből a kezelt iszap kezelésére vonatkozóan az alábbi megállapítások tehetők a 2. ábra alapján.



**3. ábra**  
**A szennyvíziszap kezelési formái 2006-2017 között (ezer tonna)**  
**(Eurostat adatbázis alapján, 2020)**

2017-re minimalizálódott a lerakott szennyvíziszap, valamint az iszap mezőgazdaságban való elhelyezésének mennyisége, viszont nőtt a komposztált és égetett mennyiség.

Kezelés szempontjából kiemelve a 2006 és 2017 éveket (3. és 4. ábra) láthatjuk, hogy 2006-ban a mezőgazdasági kihelyezés és lerakás dominált, ezt követte a komposztálás, mint kezelési művelet. 2017-ben viszont a komposztálási technológia vezette a kezelési műveletek rangsorát ezt követte az égetés és a mezőgazdasági kihelyezés csak azután következett.



**4. ábra**  
**A szennyvíziszap kezelésének formái 2006-ban (%) (Eurostat adatbázis alapján, 2020)**





Az irodalmi adatokból is látható, hogy a komposztálással, mint kezelési művelettel érdemes foglalkozni, kutatásunk is erre a kezelési műveletre irányult.

## KOMPOSZTÁLÁS, HELYI ADOTTSÁGOK

### A komposztálás

A komposztálás mikrobiológiai folyamat. Ha a hőmérséklet, nedvesség és az oxigénszint kedvező, akkor a mikroorganizmusok megfelelő mértékben szaporodnak és aerob lebomlás megy végbe. Tápanyagok, mint szén, nitrogén, foszfor és kén szabadulnak fel ebben a folyamatban és a mikroflóra által hasznosulnak. Ahogy az aktivitás fokozódik, a hőmérséklet emelkedni kezd a mikrobiális oxidáció és a légzési funkció következtében keletkező hőfejlődés miatt.

A komposztálandó biomassa - feltételezve, hogy a halomban vagy renden van- a hőt egy megnyújtott időszakra visszatartja. Amint a felvehető szén és egyéb tápanyagok felhasználódnak, a mikrobiológiai tevékenység lecsökken, a lebontás lelassul és lehűlés következik be. A komposztálást befolyásoló tényezők hasonlóak azokhoz, amelyek befolyásolják a maradványok és vegyi hulladékok lebontását. (Kocsis, 2005)

Az aerob szervesanyag lebontásnak több technológiája létezik.

### Zárt kamrás komposztálás

Kamrás komposztálási eljárásoknál a teljes folyamat az erre a célra épített, zárt reaktorokban megy végbe. Az általunk vizsgált szennyvíztisztító telepen is kiépítésre került ez a technológia.

A zárt kamrás komposztálás folyamata a következő.

A komposzt keverése gépi úton történik. Általában egy rész iszap, két rész adalékanyag, egy rész visszarostált anyag arányban. Ezzel a keverék anyaggal töltik fel a cellákat. Fontos, hogy a feltöltés azonos magasságban történjen, különben a kényszer levegőztetett cellában pneumatikai rövidzár keletkezik. A cellákat külön-külön ventilátor levegőzteti megadott program szerint. A program szerinti idő letelte után kitermelik, rostálják a keveréket. A visszarostált anyag visszakerül komposztálásra (mikroorganizmusokkal való beoltás). A

komposzt átmeneti deponálásra, utóérlelésre, majd mezőgazdaságba kerül. (AQUINNO Kft., 2008, (c))

### ***Irányított prizmás technológia***

Az irányított prizmás komposztálási eljárásoknál (ELMOLIGHT Bt. technológia) az érlelési folyamat teljes egészében szabadtéri prizmákban megy végbe. A vizsgált szennyvíztisztító telep pár évvel ezelőtt ez a technológia is kiépítésre került.

A prizmás komposztálási módszernél a nyersanyagokat háromszög vagy trapéz keresztmetszetű prizmákba keverik be, és kívánt rendszerességgel átforgatják. Az átmozgatással egyúttal levegőztetik is a komposztot. A folyamat paramétereit rendszeresen ellenőrzik, ezzel nyomon követhető a komposztálás előrehaladottsága.

Az érlelés/bomlás időigénye évszaktól, valamint időjárástól függően 30-120 nap között változik. Ha a technológia lehetőséget ad az utóérlelésre is ez az időigény 150-180 nap (5-6 hónap).

Mérsékelt gépesítettség, rendszerint mobil gépek alkalmazása és jó folyamatszabályozás jellemzi ezt a módszert.

Minden eszköz, gép, technológia üzemeltetéséhez szükséges a helyi tapasztalat.

Többek között ilyen a jellemzően igen széles vidék miatti első bekeverés nehézsége. Durva előkeverést alkalmaznak (6. ábra), majd kevésbé széles időben történik meg a gépi első bekeverés.



6. ábra

Durva előkeverés, bekeverés, átkeverés (Készítette: Mészáros Imre)



*7. ábra*  
**Átkeverés (Készítette: Mészáros Imre)**



*8. ábra*  
**Bekeverendő iszap, szalma és oltóanyag (Készítette: Mészáros Imre)**

Igen fontos a be-, átkeverést végző gépkapcsolat jó működése az esetünkben jól kiválasztott trágyaszórógép, fontos a szóró berendezés tépő funkciója.

A technológiát a környezeti hatások jelentősen befolyásolják.

- Hőmérséklet: a tapasztalatok azt mutatják, hogy működik a folyamat hideg időben is, csak megnövekszik a komposztálási idő.
- Csapadék: a sok csapadék elvezetése a területről nehézségekbe ütközik. A jég bekeverve megnehezíti, akár gátolja a folyamatot, ezért célszerű az adalékanyagot (szalmabálák) előzetesen átmenetileg temperált helyen tárolni.
- Szárazság: a túl nagy szárazanyag-tartalom elkerülés végett (mely csökkenti a lebomlási folyamat hatékonyságát vagy akár le is állíthatja), száraz időben a keveréket nedvesíteni is szükséges.

## **VIZSGÁLATI ANYAG ÉS MÓDSZER**

### **Vizsgálat anyaga**

Kutatásunkban szennyvíziszap, hozzáadott lignocellulóz és a bomlási folyamatot elősegítő adalékanyag aerob biotechnológiai módszerrel, azaz komposztálással történő lebomlásának anyagmérlegét vizsgáltuk.

A komposztálási technológia helyi alkalmazása, a megfelelő „betanulás”, valamint az üzemelési tapasztalatok megszerzése után szükséges a minél pontosabb anyagmérleg, azaz a bemenő és kimenő paraméterek ismerete. Segítségével jobban vizsgálható a folyamat költséghatékonysága, kiszámíthatóvá válik a gazdaságossága, tervezhetőek a logisztikai feladatok. Így tervezhetővé, kiszámíthatóvá válik a mezőgazdasági hasznosítás oldala is.

Számítható, tervezhető a szükséges terület. Összevethető a gazdaság igényével, a gazdálkodó által is tervezhetővé válik a vetésforgó.

Első lépésként összehasonlítottuk a rendelkezésre álló két komposztálási technológiát.

## **A két főbb technológia összehasonlítása**

### ***Zárt kamrás technológia jellemzői***

- Bonyolult irányítástechnikával rendelkezik;
- A komposztálási folyamat ellenőrzött, automatizált;
- Ugyan a folyamat időigénye lényegesen rövidebb, de rendkívül érzékeny külső és belső hatásokra;
  - Külső hatások: anyag, keverék összetétel,
    - Kamra töltése, töltöttsége (laza anyagszerkezet legyen) egyenletes töltöttségű szinttel, mert egyébként pneumatikai rövidzárak, holtterek alakulnak ki.
    - A légcsatornák állapota (tisztasága, szellőzőlyukak tisztasága, optimális levegőztetési idők, ciklusok, külső hőmérséklet hatása a levegőztetési időkre)
  - Belső hatások: érzékeny vezérlés, irányítás technika, mérés, üzemelés során fellépő hibalehetőségek, melyek „felborítják” a rendszert.

### ***Írányított prizmás technológia***

- Irányítástechnika szempontjából egy lényegesen egyszerűbb technológia;
- A forgatási feladatokat mobil gépek látják el;
- A komposztálás folyamata ellenőrzött, de nem automatizált;
- A folyamathoz szükséges idő nagyobb a zárt technológiánál;
- A fent említett külső és belső hatásokra lényegesen érzéketlenebb;
- Üzemeltetési szempontból többlet üzemanyagköltség képződik a mobil forgató gép miatt, ellenben itt nincsenek villamos fogyasztók.

A zárt kamrás technológia gazdaságilag kedvezőbbnek tűnik, de érzékenysége és az üzemeltetés során fennálló hibalehetőségek kockázata miatt az üzemeltető az irányított prizmás technológia mellett döntött.

Mivel pontos anyagmérleg még nem készült az irányított prizmás komposztálási technológiára, ezért szükséges volt egy vizsgálat.

## **Vizsgálati módszer**

Vizsgálatunkban komposztprizmákat különítettünk el, minden hozzáadott elem mennyiségét mértük, a mérések alapján pedig anyagmérleget készítettünk.

A mért komponensek:

- a hozzáadott lignocellulóz (szalma: átlagos szárazanyagtartalom: 75%);
- a bekevert szennyvíziszap (átlagos szárazanyagtartalom 21,8%);
- a hozzáadott bomlási folyamatokat elősegítő adalék (átlagos szárazanyagtartalom: 35,2%).(ELMOLIGHT Bt. know-how)

A vizsgálat 2019.09.16-án kezdődött a prizmák lekeverésével, és 2020.01.17-én végződött a prizmából mezőgazdasági területre való kihordással, utóérlelés nélkül.

## VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A komposztálási tér korlátozottsága miatt, a kísérlet két prizma bekeverésével indult, majd a többszöri átkeverés folyamán a prizmák térfogata jelentősen csökkent. A folyamat során olyan térfogatcsökkenés következett be, hogy a komposztálás egy prizmával zárult. Az 1-3. táblázat tartalmazza a vizsgálat eredményeit.

1. táblázat

### Összesített mérleg jegyzék a vizsgált prizmákra

| Komposztáló mérleg jegyzék összesítve            |                   |                   |                   |
|--------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Szalma                                           | Iszap             | Adalék            | Teljes tömeg [kg] |
| Bevitt tömeg [kg]                                | Bevitt tömeg [kg] | Bevitt tömeg [kg] |                   |
| 5960                                             | 84120             | 4070              | 94150             |
| Kihordott tömeg [kg]                             |                   |                   | 59320             |
| Komposztálás során végbemenő tömegcsökkenés [kg] |                   |                   | 34830             |
| Kihordott komposzt mért szárazanyagtartalma [%]  |                   |                   | 30,49             |

2. táblázat

### Bevitt anyagok és végtermék átlagos szárazanyagtartalma

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| Szalma átlagos szárazanyagtartalom | 75%    |
| Iszap átlagos szárazanyagtartalom  | 21,80% |
| Adalék szárazanyagtartalom         | 35,20% |
| Komposzt mért szárazanyag tartalma | 30,49% |

3. táblázat

### Összesített mérleg jegyzék a vizsgált prizmákra szárazanyagra vetítve

| Komposztáló mérleg jegyzék összesítve              |                                   |                                   |                                   |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Szalma                                             | Iszap                             | Adalék                            | Teljes tömeg [kg <sub>sza</sub> ] |
| Bevitt tömeg [kg <sub>sza</sub> ]                  | Bevitt tömeg [kg <sub>sza</sub> ] | Bevitt tömeg [kg <sub>sza</sub> ] |                                   |
| 4470                                               | 18338                             | 1433                              | 24241                             |
| Kihordott tömeg [kg]                               |                                   |                                   | 59320                             |
| Komposztálás során végbemenő tömegcsökkenés [kg]   |                                   |                                   | 34830                             |
| Kihordott komposzt mért szárazanyagtartalma [%]    |                                   |                                   | 30,49                             |
| Kihordáskor mért tömeg szárazanyagra számítva [kg] |                                   |                                   | 18086,67                          |



A kiszállított komposzt tömege szárazanyagra vonatkoztatva a teljes bevitt anyagok mintegy 75% -a.

A teljes bekevert anyagmennyiség (iszap, szalma, adalék) 63%-a a keletkezett komposzt. Ugyan **logisztikai szempontból** megközelítve a bevitt iszap és a kiszállításra került komposzt tömegaránya a mértékadó. Ez esetünkben **70,5%**.

## VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELESE, MEGVITATÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálati eredményekből látható, hogy a komposztálás során a hozzáadott és adalékanyagokkal érlelt iszap tömegében közel 37%-os csökkenés következett be. Mint szállítási költség, a bevitt iszap – kihordott tömeg (komposzt) 29,5 %-os csökkenést mutat.

A komposztálás eredményeképpen tehát csökken a szállítandó mennyiség, a komposztálás során javul az iszap struktúrája, patogén mikroorganizmusok pusztulnak el az alapanyag magasabb hőmérsékleten tartásával (a komposztálás kezdetén). Azt is érdemes megjegyezni, hogy az 50/2001 Kormányrendelet az iszapkomposzt termőterületre való kihelyezésében kevésbé szigorú, mint szennyvíz és szennyvíziszap esetében, hiszen az iszapkomposzt további (hő, biológiai) kezelésen átesett anyag.

A telepen a komposztáló tér nagysága korlátozott, mely nem tette lehetővé a megfelelő utóérlelést. Amennyiben utóérlelésre lehetőség lett volna a kiszállított komposzt víztartalmában további javulást tapasztalhattunk volna, ugyanis megfelelő utóérleléssel igen jelentősen növelhető a szárazanyagtartalom, ezzel együtt tovább csökkenthető a térfogat.

Újabb kísérletek beállítását javasoljuk jövőre nyár eleji, esetleg nyári időpontban.

Ebben az esetben rövidebb komposztálási időre és jobb, magasabb szárazanyag tartalmú komposztra számíthatunk. Fontos a megfelelő utóérlelés, ez esetünkben a rendelkezésre álló betonter növelését teszi szükségessé.

Célszerűen javasoljuk megoldani az esetenkénti nedvesítés lehetőségét.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## IRODALOM

1. Európai Unió Statisztikai Hivatal - Eurostat adatbázis <https://ec.europa.eu/eurostat>
2. ELMOLIGHT Bt. Elérhető: <http://elmolight.hu>
3. Kocsis I.: Komposztálás, biogáztermelés 2011.  
Elérhető: [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019\\_Komposztalas\\_biogaztermeles/index.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Komposztalas_biogaztermeles/index.html)
4. Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia (2014-2023) Elérhető: [http://www.nemzetizoldprogram.hu/gov/Szennyviziszap\\_kezelesi\\_es\\_hasznositasi\\_strategia\\_2018\\_2023.pdf](http://www.nemzetizoldprogram.hu/gov/Szennyviziszap_kezelesi_es_hasznositasi_strategia_2018_2023.pdf)
5. 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól
6. URL<sup>1</sup>: <http://zoldhulladekelszallitas.hu/komposztalas-jelentosege/>

Somfai, D. - Czakó-Vér, K. - Suhajda, E. - Dolgos-Kovács, A. - Dittrich, E.

*Department of Environmental Engineering,, University of Pécs, H-7624 Pécs, Boszorkány út  
2., Hungary*

## **TESTING WASTE MATERIALS AS STAND-ALONE BIOGAS SUBSTRATES: METHANE YIELD OF DAIRY BY-PRODUCTS AND KITCHEN WASTE IN LABORATORY CONDITIONS**

### **ABSTRACT**

Numerous types of biomass can be utilized as substrates for biogas generation: energy crops, agricultural by-products, wastewater sludge, organic industrial waste or municipal solid waste. One of the most valuable substrate ingredients is animal slurry. Kitchen waste and dairy by-products were tested as sole biogas substrates with municipal wastewater sludge as inoculant. Experiments were carried out under mesophilic conditions, using WTW Oxitop measurement system, comprising of a glass fermenter of 1 liter volume and a piezoelectric measuring head. Anaerobic digestion results in biogas production, therefore the sealed fermenter experiences a pressure change inside, which can be measured relative to atmospheric pressure with a differential pressure sensor. Carbon dioxide was absorbed by sodium hydroxide and biomethane kinetics curves were derived from extracting the relative pressure change results with NaOH from the original pressure change results without NaOH. The total solid (TS) and the organic content (TOS) were determined. The inoculum were taken from biogas fermentor working with sewage sludge, output from plant. The changes of the pressure were registered with Oxitop measurehead. The biogas were calculated as were written by Pentulla, A. [15]

### **INTRODUCTION AND AIM**

Although growing energy demand due to overpopulation seems to be one of the unresolved challenges of our century, renewable energy sources still face various obstacles like the lack of environmental awareness and available support and subsidy system. Furthermore, fossil fuels still count as a relatively low-cost energy source. [1] Instead of depletable fossil fuels, sustainable, green approaches need to be embraced to prevent the harmful environmental, ecological and health consequences of using fossil fuels.

Biogas generation qualifies as a renewable energy source, especially when produced from different types of waste and other by-products. [2] Utilizing these materials as biogas substrates has several different benefits. On one hand, we can transform useless products into a valuable energy carrier. [3] Biogas typically consists of 50-70% of combustible methane, 28-48% of carbon dioxide and 1-2% of other gases. Therefore, the total combustible volume can be approximately 50-70%. If carbon dioxide is removed from biogas, this ratio can reach even 100%. [4] The average energy content of biogas is 21-25 MJ/m<sup>3</sup>. [5]

Biogas management is not only a renewable method of energy production, it also prevents methane, a potent greenhouse gas produced during the decomposition of organic materials from entering the atmosphere by its energetic utilization. [6] Biomethane can be used the same way fossil natural gas is used. [3]

Hungary possesses a significant biogas production potential. It is expected to reach 47.1% of the annual natural gas consumption of the country. [7] The agricultural sector holds a fair share of the biogas production potential, up to 30-77 PJ/year. Agricultural byproducts attribute to 8-14 PJ/year of the total calculated energy volume. [8]

## Literature review

Numerous types of biomass can be utilized as substrates for biogas generation: energy crops, agricultural by-products, wastewater sludge, organic industrial waste or municipal solid waste. One of the most valuable substrate ingredients is animal slurry. Despite its relatively low gas production potential (30-70 m<sup>3</sup>/t), the methane content of the resulting biogas can reach 60-70%, making it a valuable substrate. Plant-based products (e.g. sugar beet, maize biomass) produce a higher gas yield (170-200 m<sup>3</sup>/t), however the methane content only reaches about 55%. High gas production (250-300 m<sup>3</sup>/t) can be achieved from spelt coming from the food industry and from fatty by-products of slaughterhouses. The methane content of the biogas produced from these substrates is remarkable (up to 75%). [9] In general, raw materials with high sugar, starch and/or fat content can be considered adequate substrates for biogas production. Protein as a raw material is not a particularly valuable substrate.

In Hungary, biogas production is mainly based on energy crops (like silage maize or grasses) and food waste. 78% of the biogas potential of the country is attributed to the former two sources of substrates. The remaining 22% is derived from communal waste, sewage sludge, animal manure and other waste materials. [10]

In the future, a considerable increase in the number of biogas producing plants is expected. Anaerobic digestion and biogas production have proven to be promising alternative methods for waste management. [11]

Biogas production methods can be categorized according to the dry matter content of the input raw material. Wet, dry and semi-dry processes are distinguished. [9] The input raw material of the semi-dry process has a dry matter content of 20-30%, while the water content of the biomass used in wet digestion can reach 92-93%.

During biogas production, acidifying and methanogenic bacteria participate in the decomposition of organic matter. The process has 4 distinctive biochemical phases: hydrolysis, acid formation, acetic acid formation and methane formation.

The efficiency of biogas production depends on several aspects, including dry matter content, organic matter content, C/N ratio, NH<sub>4</sub>-N and the presence of certain trace elements [12].

Microorganisms play an essential role as catalysts in biogas formation. The significance of these microbes has been studied extensively. During hydrolysis, the acetogenic period and the methanogenic phase, biogas formation is realized as a result of the joint operation of a consortium of 80 decisive species. Different kinetics can be observed during digestion depending on the composition of biogas substrates. Some microbes, like hydrogen-producing microorganisms have a crucial function in degradation. Adding these hydrogen-producing micro-organisms to the original microflora results in a higher methane yield. [3]

Aside from primary and secondary substrates that can be applied in biogas plants, the energetic exploitation of different waste and by-products is gaining importance.

Previously, in cooperation with the Waste Management Center of Pécs-Kököny, we examined the biodegradation and biogas formation potential of fractions with high organic matter content derived from the mechanical waste treatment of communal municipal waste [13]. Results showed that biodegradation started on its own, with the presence of only the microflora of the high organic matter fraction of waste, however, in laboratory experiments



with municipal sludge as inoculant, the degradation of the cellulosic components and the start of biogas production was observed significantly earlier.

Besides kitchen waste, the anaerobic digestion of two types of wastewater from the dairy industry were also examined in laboratory conditions. One of dairy byproducts contained a noteworthy amount of whey and the other one was rich in milk fat. Whey consists of lactose (4.5-5%), proteins, lipids and mineral salts. The lactose content of whey is easily digestible for acetogenic microorganisms, resulting in an acidic environment in fermenters that reduces biogas productivity and methane yield. Whey has high biological and chemical oxygen demand; therefore, it poses a significant environmental risk. Attempts have already been taken to find an alternative waste treatment solution for wastewater containing whey.[14]

## MATERIALS AND METHODS

The basis for all the calculations in the thesis is the ideal gas law [15]:

Ideal Gas Law:

$$n = p \times V / R \times T \quad 1$$

n = number of moles of gases formed (mol)

p = gas pressure in Pascal (N/m<sup>2</sup>)

V = gas volume (m<sup>3</sup>)

R = gas constant (8,314 J/(mol\*K))

T = incubation temperature (K)

Carbon (methane) content of the gaseous phase can be calculated with the following formula [15]:

$$n = ((p \times V_g) / (R \times T)) \times 10^{-4} \quad 2$$

n = number of moles of gas formed, CH<sub>4</sub> (mol)

Dp = the difference of the gas pressure in the sample bottle at the end of the experiment (plateau)

minus the pressure in the beginning of the experiment minus the difference of the blank values

(hPa)

V<sub>g</sub> = gas volume of the headspace (ml)

10<sup>-4</sup> = conversion factor Pa in hPa and m<sup>3</sup> into ml

## RESULTS AND DISCUSSION

We used the results of the following tables (Table 1-3) to calculate the biomethane potential of the examined substrates. Table 4 contains the calculated biomethane potential.

*Table 1***Dry matter content of all substrates**

| Sample   |               |            | Dry matter content (g/kg) |       |       |       |
|----------|---------------|------------|---------------------------|-------|-------|-------|
| Notation | Content       | Date       | 1.                        | 2.    | 3.    | Mean  |
| P1       | Milk fat      | 2018.09.13 | 32,51                     | 40,62 | 45,75 | 39,63 |
| P2       | Milk whey     | 2018.09.13 | 34,51                     | 36,78 | 35,36 | 35,55 |
| Inoculum | Inoculum      | 2018.09.13 | 23,71                     | 29,01 | 31,72 | 28,15 |
| K.W.     | Kitchen waste | 2018.10.11 | 45,31                     | 46,42 | 46,12 | 45,95 |

*Table 2***Organic content of the whole sample**

| Sample   |               |            | Organic content of the whole sample (g/kg) |       |       |       |
|----------|---------------|------------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Notation | Content       | Date       | 1.                                         | 2.    | 3.    | Mean  |
| P1       | Milk fat      | 2018.09.13 | 18,85                                      | 22,72 | 25,39 | 22,32 |
| P2       | Milk whey     | 2018.09.13 | 29,47                                      | 32,33 | 31,36 | 31,05 |
| Inoculum | Inoculum      | 2018.09.13 | 19,89                                      | 17,31 | 18,87 | 18,69 |
| K.W.     | Kitchen waste | 2018.10.11 | 35,51                                      | 36,27 | 36,64 | 36,14 |

*Table 3***Organic matter content of the dry content**

| Sample   |               |            | Organic matter content of the dry content (g/kg) |        |        |        |
|----------|---------------|------------|--------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Notation | Content       | Date       | 1.                                               | 2.     | 3.     | Mean   |
| P1       | Milk fat      | 2018.09.13 | 568,27                                           | 559,36 | 554,96 | 560,86 |
| P2       | Milk whey     | 2018.09.13 | 867,73                                           | 878,83 | 886,88 | 877,81 |
| Inoculum | Inoculum      | 2018.09.13 | 838,94                                           | 596,92 | 594,79 | 676,88 |
| K.W.     | Kitchen waste | 2018.10.11 | 783,59                                           | 781,28 | 794,45 | 786,44 |

Table 4

## Biomethan recovery in lab experiments

| Measurement number | Ratio of the substrate      | Duration of the measurement | (hPA) | Amount of gas (mol) | dm <sup>3</sup> /kg TOS |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|---------------------|-------------------------|
| 18101201           | 100 ml KW + 100 ml inoculum | 3 day                       | 247   | 0,0096              | 12                      |
| 18101203           | 100 ml KW + 100 ml inoculum | 3 day                       |       |                     |                         |
| 18101204           | 100 ml KW + 100 ml inoculum | 3 day                       |       |                     |                         |
| 91801              | 100 ml P2 + 100 ml inoculum | 3 day                       | 98    | 0,0038              | 5                       |
| 91802              | 100 ml P2 + 100 ml inoculum | 3 day                       |       |                     |                         |
| 91803              | 100 ml P1 + 100 ml inoculum | 3 day                       | 37    | 0,0014              | 2                       |
| 91804              | 100 ml P1 + 100 ml inoculum | 3 day                       |       |                     |                         |
| 92501              | 100 ml P1 + 100 ml inoculum | 3 day                       |       |                     |                         |

## CONCLUSION

Actual biomethane yield in laboratory experiment were 12 dm<sup>3</sup>/ kg TOS in the case of kitchen wastes, 5,0 dm<sup>3</sup>/kg TOS is the case of milk fat substrate and 2,0 dm<sup>3</sup>/ kg TOS in milk whey substrate. The kitchen waste were the best substrate for cofermentation with sewage sludge. Because of the high organic content and C/N ratio, will be the ideal substrate for biogas plant.

## ACKNOWLEDGEMENT

The support of European Union and Hungarian State (grant agreement no. EFOP-3.6.2-16-2017-00010) is gratefully appreciated.

## REFERENCES

1. Hajdú, J.: "The Operation of Biogas Plants and Biogas Plant Technologies." OBEKK Scientific Professional Publications, Gödöllő, 2009, pp. 8-14.
2. Schulz, H., Eder, B.: "Biogas production." CSER Kiadó, Budapest, 2005, pp. 8-12.
3. Ács, N., Bagi, Z., Rákhely, G., Minárovics, J., Nagy, K., Kovács, K. I.: "Bioresource Technology." 186 (2015) 286.
4. Denga, L., Liao, Y., Zhenga, D., Wanga, L., Pua, X., Songa, L., Wanga, Z., Leia, Y., Chena, Z., Long, Y.: "Application and development of biogas technology for the treatment of waste in China." Renewable and Sustainable Energy Reviews 70, 2017, 845-851.
5. Aleksza, L. (szerk.): "Waste Management." ProfiKomp Zrt., Budapest, 2017, pp. 222-224.
6. "Biogas Benefits." Canadian Biogas Association. Available: [https://biogasassociation.ca/about\\_biogas/biogas\\_benefits](https://biogasassociation.ca/about_biogas/biogas_benefits) (date accessed: 06.06.2019).
7. Szunyog, I.: "The Utilization of Bio-methane in Europe and Hungary" Earth Science Engineering Publications, 85, 2015, 181-190.

8. **Kovács, A. et al.:** “PANNON LNG Projekt Action 1. Tanulmány 1.7. Fejezet LNG lehetséges hazai előállításának biogáz forrásai.” 2016, Available: [http://www.panlng.eu/wp-content/uploads/2016/06/1\\_7\\_PAN-LNG\\_biogaz.pdf](http://www.panlng.eu/wp-content/uploads/2016/06/1_7_PAN-LNG_biogaz.pdf) (date accessed: 06.06.2019).
9. **Öllős, G., Oláh, J., Palkó, G.:** “Digestion.” Magyar Víziközmű Szövetség, Budapest, 2010, pp. 799-838.
10. **Bai, A.:** “Biogas.” Száz magyar falu könyvesháza Kht., Budapest, 2007, pp.13-43.
11. **Kabdebon, B.:** “The Development of Biogas Production and Usage in Hungary and in the Member States of the EU.” Miskolc, 2015, pp. 10.
12. **Tukacs-Hájos, A., Rétfalvi, T., Szendefy, J., Marosvölgyi, B.:** “The Experience of Biogas Fermentation Experiments Carried out in Laboratory Scale and in Pilot-scale.” AGRICULTURAL ENGINEERING 51, (Klnsz) 2011, pp. 13-15.
13. **Somfai, D., Györfi, A., Szörös, C. Z., Leitl, C., Czakó-Vér, K., Dolgosné Kovács, A., Kiss, T., Dittrich, E.:** “Laboratory Testing of Biodegradation and Bioenergetic Utilization of Municipal Solid Waste Fraction of High Organic Matter.” XIV. Publication of the Carpathian Basin Conference for Environmental Sciences, Mag Mezőgazdaságért Alapítvány Kiadó, Gödöllő, ISBN: 978-615-00- 1645-0, 2018, pp. 298-302.
14. **Beszédes, S., László, Z., Kertész, S., Hodúr, C., Kiricsi, I., Szabó, G.:** “The effect of microwave pre-treatment on the biogas production of dairy sewage sludge.” XXXII. MTA-AMB K+F Tanácskozás. Gödöllő. CD volume, 2008, pp. 99-103
15. **Pentilla, A.:** “Initialization of the Oxitop system for biogas production tests. “ TAMK University of Applied Sciences. Tampore, 2009. pp.52.

Fülöp Zsolt János- Czupy Imre

*Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet  
fulop.zsolt96@gmail.com*

## **MIKROBIOLÓGIAI TALAJOLTÓ KÉSZÍTMÉNYEK HATÁSA ÉS KIJUTTATÁSI MÓDSZERE**

### **ABSTRACT**

A talajban termelt növények felépítésében és lebontásában is döntő szerepe van a mikroorganizmusoknak, baktériumoknak és gombáknak, érdemes e parányi élőlények „munkáját” segíteni. A talajba jutott elhalt növényi részeket a talajbaktériumok és talajgombák által termelt enzimek bontják le, így a szénhidrátokból, zsírokból, fehérjékből, ligninből egyszerű vegyületek (cukor, ammónia stb.) keletkeznek. Ezek részben a talajmikrobák táplálékául, részben a humuszanyagok képződésének alapjául szolgálnak. A bomlástermékekből biotikus, illetve abiotikus (kondenzációs és polimerizációs) folyamatok eredményeként a talajra nézve jellegzetes, nagy molekulájú vegyületek, a humuszvegyületek jönnek létre. Azt vizsgáltuk, hogy milyen módon lehet a mikrobiológiai talajoltó készítményeket az adott területre hatékonyan kijuttatni, valamint a különböző kijuttatási módok költséghatékonyságát hasonlítottuk össze. A baktériumtörzseket mikrobiológiai készítményeket felhasználó termelők gyakorlati tapasztalatai azt mutatták, hogy a termékek nem csupán a biogeokémiai folyamatokban kapnak fontos szerepet, melyek során a kultúrnövényeket környezetkímélő módon táplálják, hanem a különböző növényi kórokozókkal szemben is védelmet nyújtanak. Ezen célok eléréséhez nagyon fontos a megfelelő kijuttatás. Fontos megemlíteni, hogy a biológiai talajoltás manapság elengedhetetlen része a mezőgazdaságnak, hiszen javul a talajművelés minősége, csökkennek a költségek, illetve terménynövekedést is elérhetünk. A mikrobiológiai készítmények tudatos beépítése a gazdálkodásba kiemelt fontosságú kérdés lesz a jövőben, mivel az Európai Unió jogszabályok is mind a csökkentett növényvédőszer-és műtrágya használatot szorgalmazzák.

### **BEVEZETÉS**

Manapság a széles körben elterjedt vegyszerekkel, vegyszercsoportokkal szemben a talajlakó élőlényekben egyre gyakrabban figyeltek meg szerrezisztenciát. Egy idő után a dózis emelésével sem tudták ezt a problémát leküzdeni. További nehézség, hogy a keresztrezisztencia fellépésével kémiaiilag hasonló vegyületek esetében az ellenálló képesség nem csak az adott hatóanyag ellen alakul ki a célszervezetek körében, hanem több hatóanyaggal, vagy esetleg az egész vegyületcsoporttal szemben is. Az említett veszélyek és az egyre halmozódó globális problémák különösen indokolttá teszik a toxikus anyagok csökkentését, illetve azok helyettesítésére szolgáló biológiai módszerek bevezetését (Varjas, 2000). Igaz ez még akkor is, ha ezek kidolgozása sokkal több időt, anyagi ráfordítást igényel, mint egy hagyományos szer, például immunotoxikus neurotoxikus injekciója, és az elvárt hatékonyságot sokkal több befolyásoló körülmény akadályozza. A biológiai védekezési módszerek a más eljárásokhoz képest sokkal több odafigyelést és szakmai tapasztalatot igényelnek, és minden egyes módszerhez más-más részleges tájékozottság szükséges. A

biológiai növényvédelem legnagyobb előnye az, hogy emberre, valamint a gerinces állatokra nézve nem veszélyes, vagy alkalmazása minimális kockázatot jelent. Ezen anyagok felhasználásával csökkenthetők, kiküszöbölhetők a kémiai anyagok által okozott problémák. A talaj egy dinamikus, fizikai, kémiai és biológiai rendszer, amely feltételeken megújuló természeti erőforrás: élőhelyet, tápanyagot, termőhelyet biztosít és vizet raktároz. Napjainkban egyre nagyobb problémát jelent a termelők számára, ha meg akarják őrizni a termőföld egészségét, minőségét. A szélsőséges időjárás épp úgy kihívást jelent, mint a mezőgazdaság káros hatásai. A talajképző tényezők közül – mint az éghajlati, domborzati, földtani, biológiai és az időfaktor – a leghatékonyabban a biológiai adottságok területén lehet az embernek beavatkoznia a talaj minőségének védelmében. A talajban termelt növények felépítésében és lebontásában is döntő szerepe van a mikroorganizmusoknak, baktériumoknak, gombáknak. Érdemes e parányi élőlények „munkáját” segíteni, ehhez kínálnak segítséget a baktériumtrágyák. A talajban élő baktériumok elsődleges szerepe némileg hasonlít a humán biológiai baktériumokéhoz. A termesztés során fellépő növényvédő szerek káros hatásait képesek tompítani, vagy hosszabb távon megszüntetni. Ezzel a megállapítással kijelenthető, hogy a baktériumokat nem az említett termékek helyett, hanem velük együtt kell alkalmazni. A talajbaktériumok konzekvens használata lényegesen jobb műtrágya hasznosulást és növényvédelmet eredményezhet. Az alábbiakban a baktériumtrágyák kijuttatásának technológiáit vizsgáljuk.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A baktériumtrágyázást vetés vagy ültetés előtt, illetve betakarítást követően, a szármadarványok elontásának elősegítésére alkalmazzák (Agronapló, 2015). A talajbaktériumok, baktériumtrágyák legfontosabb szerepe az egyensúly visszaállítása talajainkban, amely a baktériumpopuláció növelésével érhető el. Ezen célok eléréséhez nagyon fontos a megfelelő mennyiségű szert és az optimális gépbeállítás használata. Munkánk során különböző kijuttatási technológiákat vizsgáltunk eltérő tulajdonságú földterületeken, nagyüzemi növénytermesztésben:

- két munkagéppel két menetben kijuttatva szilárd és cseppfolyós halmazállapotban
- egy munkagéppel, egy menetben kijuttatva és bedolgozva
- vetőgéppel, vetőárókba juttatva és bedolgozva
- aprómag vetőgéppel kijuttatva szilárd halmazállapotú termék

Kutatásainkhoz kérdőívet állítottunk össze, amelyekre a vizsgálatainkat alapoztuk:

- Milyen kijuttatási módot alkalmaz jelenleg (megfelelőt x-elni):
  - külön (két) menetben, szántóföldi permetezővel?
  - elektromos pumpás kijuttató berendezéssel, talajműveléssel egy menetben?
  - elektromos pumpás kijuttató berendezéssel, vetéssel egy menetben?
- Korábban használt-e más kijuttatási módot, mint a jelenlegi?
- Milyen eszközzel történik a kijuttatás?
- Mi a kijuttatás napi kapacitása (ha) és az hány géppel történik? (db)
- 100 ha-ra vetítve: mennyi idő alatt történik a kijuttatás és bedolgozás? (óra)
- Hány fő munkaeőt igényel az adott művelet?
- Mennyi vízzel történik kijuttatás? (l/ha)
- Mivel történik a víz hordása a területre a kijuttató géphez?
- Van-e arra vonatkozó adat, mennyi gázolaj kerül felhasználásra a kijuttatáshoz?

- Hektáronként mennyibe kerül a kijuttatás önköltsége? (Ft/ha)

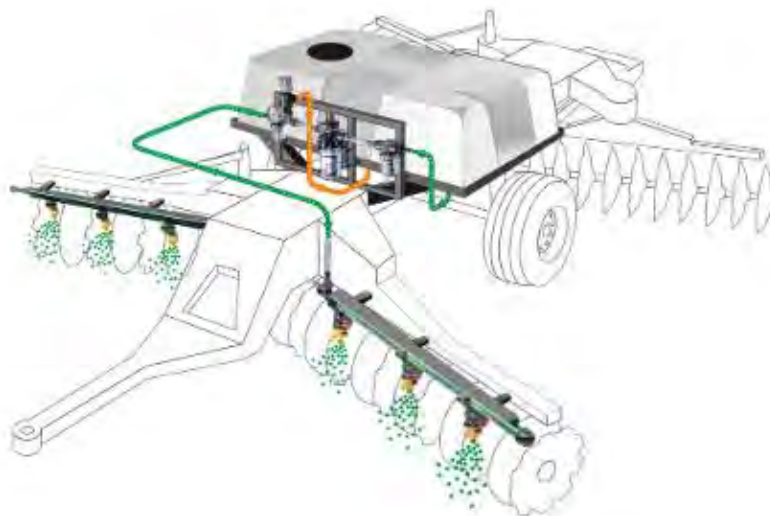
Személyes megbeszélés alkalmával nem csak a kérdésekre kaptam választ, hanem a gyakorlati tapasztalataikat is megosztották velünk.

A kijuttatási módok költséghatékonyságát, gyorsaságát és munkaerő igényét szakirodalmi adatok alapján vetettük össze. A költséghatékonyságot és a terméshozamot a sokéves átlag alapján vizsgáltuk meg, amelyhez a tulajdonosok tapasztalatai nagyon sokat segítettek. Válaszaik alapján töltöttem ki a fent említett kérdőívet.

## **TECHNOLÓGIÁK BEMUTATÁSA**

A talajbaktérium készítmény kijuttatása nagymértékben függ az adott termék halmazállapotától. A folyékony és szilárd talajbaktérium készítményeket többféleképpen tudjuk az adott területre kijuttatni. Két fő módszer a kétmenetes, illetve egymenetes kijuttatás. A kétmenetes kijuttatás lényege az, hogy a kijuttatni kívánt terméket két munkagéppel juttatjuk ki az adott területre. Az egyik munkagépre az anyag halmazállapotát tekintve, ha folyadék akkor permetezőgéppel, vagy ha szilárd halmazállapotú akkor pedig aprómag vetőgéppel történik. A másik erőgépre a talaj megmunkáló eszköz van szerelve, ami egyből a talajba forgatja a talajbaktériumot. Ez lehet tárcsa, kombinátor, illetve egyéb más eszköz. A kétmenetes kijuttatásnál a készítményeket mindig teljes felületre szórjuk ki. Előnye a nagy területteljesítmény, hátránya pedig az, hogy nagyon függ az időjárástól, illetve a talajba juttatás sokkal több időt vesz el, mint a talajra való permetezés, szórás. Emellett hátránya még, hogy több munkaerőt igényel, és az üzemanyagfogyasztás a két gép miatt megduplázódik.

Az egymenetes kijuttatás lényege, hogy egy munkagép végzi a kijuttatást és a bedolgozást is. Ennek a módszernek több fajtája létezik, az egyik a teljes felületre való kijuttatás, melynek előnye, hogy nagy területteljesítménnyel és biztos fedéssel bír akár nagy szélben is. A művelet lényege, hogy a kisméretű permetezőt a traktor elején helyezzük el, majd a tárcsa vagy egyéb más eszköz a terméket a talajba keveri, vagy a munkagépre szerelt kisméretű permetező közvetlen a tárcsa elé juttatja az anyagot, amit az egyből be is forgat a talajba (1.Ábra).



*1. ábra*

**Teljes felületre való kijuttatás munkagépre szerelt permetezővel**

Az egymenetes kijuttatási módszer másik változata a magágyba történő permetezés. (2.-3. Ábra) Vetőgépre szerelésnél, függesztett munkagép esetén a traktor elejére, vontatott vetőgép esetén a vonórúdra helyezünk egy tartályt. A mikrogranulátum szórócső mellé szerelt kijuttatócső közvetlenül a mag mellé adagolja a folyadékot. Előnye, hogy a tartály orrsúlyként használható, illetve a készítmény nincs hosszabb ideig kitéve napfénynek, ami esetlegesen a károsodását okozhatná.



*2.-3. ábra*

**Egymenetes kijuttatás magágyban**

Sorközművelésnél a munkagépre vagy a traktor elejére, esetleg hátuljára szerelt tartályból fűvókákon keresztül a sor mellé juttatható ki a folyadék, amit a művelőkapák azonnal bedolgoznak a talajba. (4. ábra). Az eljárás előnye:

- az időjárástól független kijuttatás



- rendkívül alacsony folyadékmennyiség
- megfelelő tartállyal nagy teljesítmény
- a szer csak a kultúrnövény sávjában hasznosul



*4. ábra*

#### **Traktor orrsúlyára permet tartállyal szerelt sorközművelő eszköz**

Az egymenetes kijuttatás következő lehetősége amikor az erőgépre nem permettartályt hanem a szilárd anyag kijuttatásához szolgáló eszközt csatolunk. A művelet kétféle módon történhet, repítőtárcsás aprómagvetővel vagy pneumatikus aprómagvető-műtrágyaszóróval. A repítőtárcsás aprómagvető a traktor elé szórva juttatja ki az anyagot, amit a munkaeszköz azonnal beledolgoz a talajba. Előnye az egyszerű konstrukció és a könnyű használat. A pneumatikus aprómagvető-műtrágyaszóró a munkaelemek közé csöveken keresztül juttatja ki a granulátumot, amit azonnal beledolgoz a talajba a tárcsás vagy a kapás tárolóhántó gép. A folyamat előnye a biztos kijuttatás, precíz adagolás, nagy teljesítmény. Fontos, hogy szilárd anyag kijuttatásakor ügyeljünk a megfelelően kiválasztott (tág) garatra és a nagy méretű boltozódás gátlóra (Agronapló, 2018).

## **EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK**

Az eredményeket a módszertani részben bemutatott kérdőívekre kapott válaszok segítségével értékeltük ki, három mezőgazdasági cég adatai alapján.

A kétmenetes kijuttatás rendszerét lakóhelyemen, Perkátán kutattuk. A vizsgált cég tulajdonosa 500 ha-on gazdálkodik. A kérdőívre válaszolva a következő válaszokat kaptuk: 100 hektáron egy gépre vetítve a kétmenetes kijuttatást munkaműveletenként 16 munkaóra alatt lehet véghez vinni. A kijuttatási mennyiséget nézve 1 hektárra 1-3 liter talajbaktérium készítmény 250 liter vízzel kerül kiszórásra. A szilárd talajbaktérium dózisa pedig hektáronként 2-4 kg. A gépek üzemanyag fogyasztása bedolgozás esetén 7-9 liter, míg a permetezés esetén 2-3 liter hektáronként. A művelet munkaerő igénye minimum két fő.

Az egymenetes kijuttatási módokat két helyszínen vizsgáltuk meg. Az első helyszínen Adonyban volt. A cégcsoport 3260 hektáron gazdálkodik. A talajbaktérium készítményt 300-350 hektáron alkalmazzák nagy megelégedéssel. Az ügyvezető elmondása alapján a termésátlag növekszik, illetve a másik fontos tapasztalat, hogy a szántás minősége javul. Egyszerűbb a talajjal dolgozni, ami nagy költség megtérüléshez vezet az üzemanyag felhasználást nézve, mivel kisebb a talajellenállás. A kijuttatás napi kapacitása gépfüggő jelen esetben 2 géppel történik melynek 24 óra alatt 160 hektárt tudnak megművelni, melyhez 2 fő szükséges. A művelethez 60 liter bekevert szer kell hektáronként, amit egy lajtos kocsival hord ki a területre. Az üzemanyag felhasználást tekintve 8-9 liter üzemóránként.

A második helyszínen szintén az egymenetes kijuttatási módokat vizsgáltuk meg. A helyszín Szákszend, ahol a céget a tulajdonos mutatta be. A módszer lényege, hogy a szert a magágyba és sorközben juttatják ki. A cég 800 hektáron gazdálkodik. A teljes megművelt területen talajbaktériumot használnak nagy megelégedéssel. Három fő kultúrnövényt termelnek ezek pedig a búza, kukorica, illetve a napraforgó. A termékeket háromféle géppel juttatják ki a területre. Egy hektárra vetítve 60 liter keveréket használnak amely úgy épül fel, hogy egy liter talajbaktérium készítmény húsz liter folyékony starter és hozzá 39 liter víz. Az erőgép üzemanyag fogyasztását nézve vetés közben 3,5-4 liter míg a tárcsázásnál 6-7 liter üzemóránként.

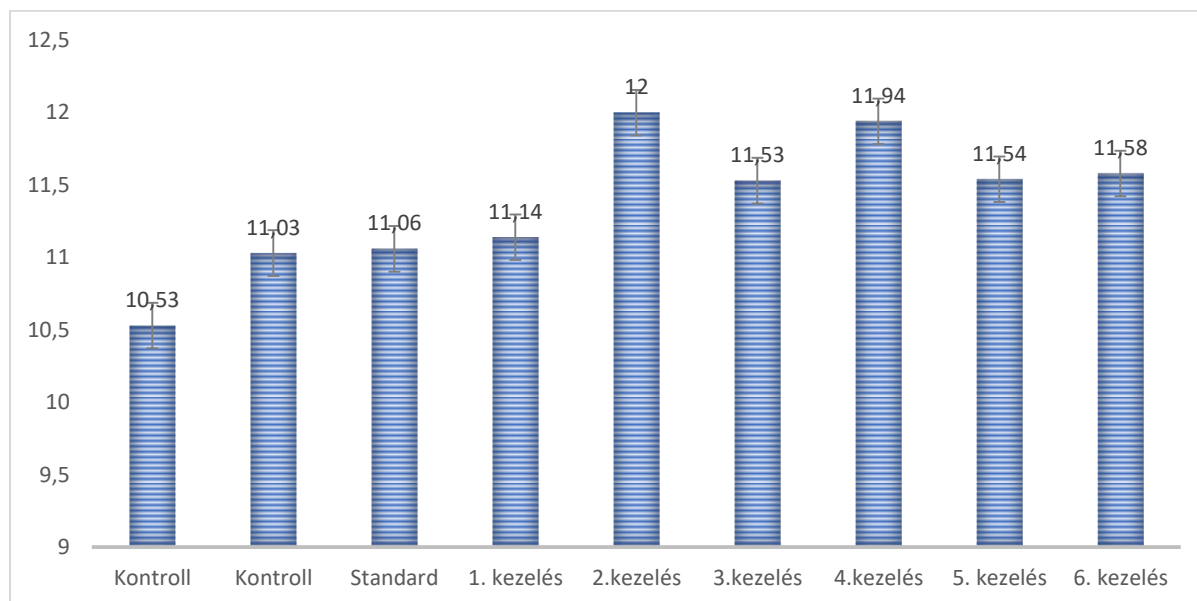
**1. táblázat:**

**Egymenetes, illetve a kétmenetes kijuttatás összehasonlítása a kérdőív alapján**

|                                          | <b>Egymenetes kijuttatás</b>                          | <b>Kétmenetes kijuttatás</b>                                    |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Teljesítmény 8 óra alatt</b>          | 60 ha/ 8óra                                           | kijuttatás: 100 ha/ 8 óra<br>bedolgozás: 60 ha/ 8 óra           |
| <b>Munkaerő igény</b>                    | 1 Fő                                                  | 2-3 fő                                                          |
| <b>Készítmény felhasználás (l-kg/ha)</b> |                                                       |                                                                 |
| <b>Folyékony</b>                         | 1-3 liter Készítmény + 57 liter víz összesen 60 liter | 1-3 liter + 250 liter víz                                       |
| <b>Szilárd</b>                           | 2-4 kg                                                | 2-4 kg                                                          |
| <b>Üzemanyag felhasználás l/Üzemóra</b>  | 6-9 liter/ üzemóra                                    | kijuttatás: 3-5 liter/üzemóra<br>Bedolgozás: 6-9 liter/ üzemóra |

A talajbaktérium készítmények hatékonyságát több tudományos és üzemi kísérlet is igazolta az elmúlt évtizedekben. Ezt bizonyítja az alábbi kiragadott példa is, kukorica esetében (5. ábra). Az őszi tápanyag (N:P:K=0:30:90 kg/ha), valamint a tavaszi tápanyag (N:126 kg/ha) melletti kontroll terület terméshozama 4,58 tonna volt egy hektáron, míg a talajbaktérium

készítmények által kezelt területeken ehhez képest 18%-os hozamnövekedést mértünk (Agronapló, 2016).



5. ábra

**Kukorica termésátlag növekedés a kezelések hatására.(t/ha)**

## ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálatainkat három helyszínen végeztük Perkátán, Adonyban és Szákszendén egymástól független cégnél független termőhelyen. Mind a három helyszínen egy 10 kérdésből álló kérdőívben foglaltuk össze, hogy mit szeretnék megtudni az adott kijuttatási módról. Az adatokat elemezve arra a megállapításra jutottunk, hogy az egymenetes kijuttatási módszer sokkal költséghatékonyabb, és gyorsabb, mint a kétmenetes kijuttatás. Figyelembe véve a kijuttatási módok előnyeit, illetve hátrányait.

A szákszendi és az adonyi cégnél csak az egymenetes kijuttatási módot vizsgáltuk, és arra a megállapításra jutottunk, hogy a termőhelyek közötti talajművelésben nincs szignifikáns különbség a költség szint között. Az üzemanyag fogyasztás mind a két helyszínen 6-8 liter a gépek átlagos fogyasztása üzemóránként. A talajbaktérium készítmények felhasználása a két cégnél egyforma mennyiségben történik. A két módszer munkaerő igénye szintén azonos. Ezzel szemben a kétmenetes kijuttatása költsége megduplázódik, hiszen a kijuttatáshoz 2-3 gép szükséges, ezért nő a munkaerőigény nő az üzemanyag költség. Ha a munkaerőt nem növelem, akkor a kijuttatás és a bedolgozás ideje növekszik, ami a talajbaktérium készítmény hasznosulásának romlásával jár.

Fontos megemlíteni, hogy a biológiai talajoltás manapság elengedhetetlen része a mezőgazdaságnak, hiszen javul a talajművelés minősége költségsökkenéssel, illetve terménynövekedést is elérhetünk.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## IRODALMAZÁS

1. **VARJAS L. (2000.):** A biológiai védekezés alapjai és gyakorlata (posztgraduális továbbképző tanfolyam jegyzet). Nyugat-Magyarországi Egyetem Mosonmagyaróvári Mezőgazdasági Kar Szaktanácsadó és Továbbképző Intézet, Mosonmagyaróvár
2. **AGRONAPLÓ (2015):** Jó úton haladunk? – Baktériumtrágyázás. 2015/9. pp 55-64.
3. **AGRONAPLÓ (2016):** Látványos termés hozam-növekedés a Mikro-Vital használatával pp. 58
4. **AGRONAPLÓ (2018):** Mire figyeljünk a baktériumtrágyák kijuttatásakor?

Vizvári Z.<sup>1</sup> – Györfi N.<sup>2</sup> – Klincsik M.<sup>3</sup> – Sári Z.<sup>3</sup> – Odry P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék  
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar  
7624 Pécs, Boszorkány út 2.*

<sup>2</sup>*Élettani Intézet  
Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar  
7624 Pécs, Szigeti út 12.*

<sup>3</sup>*Informatika és Villamos Intézet, Műszaki Informatika Tanszék  
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar  
7624 Pécs, Boszorkány út 2.*

<sup>4</sup>*Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék  
Dunaújvárosi Egyetem  
2401 Dunaújváros, Táncsics Mihály utca 1/A fszt.*

## **ÚJ MEGKÖZELÍTÉSŰ ELEKTROMOS IMPEDANCIA TOMOGRÁFIÁS REKONSTRUKCIÓS ALGORITMUS ÁLTALÁNOSÍTÁSA TETSZŐLEGES MÉRETŰ HÁLÓZATRA**

Kutatócsoportunk a módszer megvalósításának egy új nézőpontját vizsgálja. Ennek következtében a vizsgált, kontinuumnak tekinthető, anyagot koncentrált paraméterű, lineáris hálózatként modellezzük. Cikkünkben sikerült általánosítani a matematikai modellt olyan mértékben, hogy az anyag dielektromos állandóját (azaz koncentrált paraméter párját a kapacitást) is figyelembe vegye. Így annak ellenére, hogy jelentősen megnöveltük az ismeretlenek számát a modellben lehetőséget teremtettük a multifrekvenciás megközelítés alkalmazására, aminek következtében az optimalizált egyenletrendszer mindig túlhatározott marad. Jelen cikkünkben az optimalizáló eljárás általánosított változatát mutatjuk be, amely esetében a képalkotás felbontását a gráf paramétereinek definiálásával állíthatjuk be. A modell hatékonyságát szimulációkkal támasztjuk alá. Vizsgáltuk a rekonstrukció működését a használt adatstruktúrákhoz való zaj hozzáadásával. Cikkünkben bemutatjuk, hogy az 1%-os zaj sincs számottevő hatással a rekonstrukcióra.

### **1. BEVEZETÉS**

Az eddigiekben Maple szoftvert használtunk az inverz probléma megoldó algoritmus fejlesztéséhez, amely szimbolikus matematikai eljárások programozását teszi lehetővé. Ez kutatási célokra kitűnően alkalmas, azonban hátránya, hogy így a nagyméretű egyenletrendszerek megoldása igen lassú és nehézkes. Ebből fakadóan kizárólag a kisebb hálózatok, melyek kisebb méretű egyenletrendszereket reprezentálnak, oldhatók meg ezzel a programmal.

A konkrét alkalmazás azonban (a felbontás-növelés miatt) lényegesen nagyobb egyenletrendszerek megoldását indokolja, így a Maple-ben történő fejlesztés helyett áttértünk

a Matlab alatt történő programozásra. Ennek segítségével lényegesen gyorsabb eljáráshoz jutunk, amellett hogy egy teljesen új matematikai algoritmust kell leprogramoznunk. Így a szimbolikus eljárásban használt megoldásokat nem ültethetjük át a Matlab programban, hanem teljesen új megközelítésben, numerikusan kell az algoritmust megfogalmazni. Az ehhez szükséges matematikai alapokat dolgoztuk ki az előző félévben, majd ezt folytatva kísérleteket tettünk az ilyen módon kialakított egyenletrendszer megoldására. A következőkben a kísérletekhez felhasznált numerikus algoritmusokat mutatjuk be.

Az EIT kiértékelési algoritmusainak elméleti háttérével foglalkozó szakirodalmak mennyisége igen jelentős abból fakadóan, hogy a roncsolásmentes eljárást igen széles körben használják. Beszámolóinkban igyekeztünk azokat megjelentetni, melyek valamilyen módon hasznunkra váltak. Ezek a [1] – [27].

Az EIT mérés alapvető parciális differenciál egyenlete képezi a kiértékelés alapját: [2]

$$\nabla \cdot \sigma \nabla \phi = 0 \quad (1.1)$$

Ez az elektromosságban Poisson-egyenletként ismert és abban az esetben, ha a vezetőképesség a helytől független, azaz homogén, izotróp közegben, Laplace-egyenletre egyszerűsödik: [2]

$$\Delta \phi = 0 \quad (1.2)$$

Mind a Poisson-, és a Laplace-egyenlet megoldható az ún. Dirichlet-, és Neumann-peremfeltételek, vagy mindkettő egyidejű megadásával. [2]

A megoldáshoz többféle matematikai módszer áll a rendelkezésre. Ilyenek a véges elem módszer (FEM, Finite Element Method, [2]), a peremelem módszer (BEM, Boundary Element Method, [3]), a véges differenciák módszere (FD, Finite Differences) stb.

A mérés során a legfőbb célunk, hogy az (1.1) egyenletben szereplő, helytől függő vezetőképességet határozzuk meg. Erre különböző inverz probléma megoldási módszerek állnak a rendelkezésünkre: [4]

- LBP: linear back projection („lineáris visszavetítés”)
- nem lineáris módszerek,
- heurisztikus (empírikus) módszerek.

Az EIT mérések a mérési geometria szempontjából két fő csoportra oszthatóak fel:

1. ha a földfelszínen helyezük el az elektródákat, végtelen féltérrel modellezhetjük az adott szituációt;
2. ha élő fára helyezük el az érzékelőket egy kör mentén, zárt geometriával, körrel modellezhetjük a mérést.

## 2. AZ ALGORITMUS ÁLTAL KIALAKÍTOTT EGYENLETRENDSZER

A képrekonstrukció által jelentett inverz probléma megoldása lényegében a következő, az (1.1) egyenlet és a szükséges peremfeltételek diszkrét változatát jelentő, egyenletrendszer megoldását jelenti, amelyben ismeretlenek a vezetőképesség ( $\mathbf{G}_b$ ) és kapacitás ( $\mathbf{C}_b$ ) mátrix elemei, illetve a mért potenciál vektor ( $\vec{v}_b$ ) nem peremen vett elemei:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{G}_b \vec{v}_b + j\omega(\mathbf{A}^T \mathbf{C}_b \vec{v}_b) - \vec{i}_g = 0 \quad (2.1)$$

A (2.1) egyenletben ismerjük a gráf él-csúcs incidencia mátrixát ( $\mathbf{A}^T$ ), a körfrekvenciát ( $\omega$ ), valamint a gerjesztőáram vektort ( $\vec{i}_g$ ), valamint  $j$  az imaginárius egység. Így a

megoldandó egyenletrendszer kvadratikus (nem lineáris), hiszen az egyes ágakon értelmezett admittancia és feszültség értékek szorzatai jelennek meg.

A (2.1) egyenletrendszer csak egy adott generátor pozíció és gerjesztőjel frekvencia esetében írható fel. Amennyiben egy másik generátor pozíciót, vagy egy másik gerjesztőjel frekvenciát alkalmazunk, egy újabb egyenletrendszert kell felírunk. Ebből következik, hogy a teljes egyenletrendszer, amelynek megoldása jelenti a képrekonstrukció során jelentkező inverz problémát,

$$eq = (n - 1) \cdot n_{fr} \cdot n_{meas} \quad (2.2)$$

ahol

$n$  a gráf csomópontjainak száma

$n_{fr}$  a mérés során alkalmazott gerjesztőjel frekvenciák száma

$n_{meas}$  a mérés során alkalmazott generátor pozíciók száma

### 3. EGYENLETRENDSZER MEGOLDÓ ALGORITMUSOK – NEM LINEÁRIS OPTIMALIZÁLÁS

Mivel a (2.1.) egyenletrendszer nem lineáris egyenletrendszer, ezért annak megoldására (még ha túlhatározott is), a következő, széles körben használt algoritmusok használatával próbálkoztunk:

1. Newton-módszer
2. Singular Value Decomposition (szinguláris értékekre való felbontás)
3. Regularizáció

A vonatkozó szakirodalmat ([28]) tanulmányozva ezeket találtuk az ilyen jellegű matematikai problémák megoldásának a legszélesebb körben használnak, így ezeket tekintjük végig a következőkben.

#### 3.1. A Newton-módszer

Legyen  $F : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$ , az  $F$  vektor elemei legyenek az  $f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), \dots, f_m(x)$  függvények. Az  $F(x) = 0$  egyenletrendszer esetén a Newton-módszer alakja [29]

$$x_{k+1} = x_k - J^{-1}(x_k) \cdot F(x_k), (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (3.1.1.)$$

ahol

$x_{k+1}$  a megoldásvektor az iteráció k+1-edik lépésében

$x_k$  a megoldásvektor az iteráció k-adik lépésében

$J(x_k)$  az egyenletrendszer Jacobi-mátrixa az  $x_k$  helyen:

$$J = \left[ \frac{\partial f_i(x)}{\partial x_j} \right]_{i,j=1}^{m,n}. \quad (3.1.2.)$$

A Newton-módszer iteratív numerikus optimalizáló algoritmus, melyet széles körben alkalmaznak nem-lineáris egyenletrendszerek megoldásának kereséséhez. A módszer előnyei közé tartozik, hogy (amennyiben az egyenletrendszer Jacobi-mátrixa invertálható), egyszerűen programozható és meredek (általában) négyzetes konvergenciával rendelkezik a közelítés sorozata [29].

A Newton-módszer alkalmazása a következőképpen történik:

1.  $k = 0$  esetben kiszámítjuk a következő egyenletet:

$$x_1 = x_0 - J^{-1}(x_0) \cdot F(x_0) \quad (3.1.3.)$$

ahol

a kezdeti értékeket tartalmazó vektor

a megoldásvektor, mely az iteráció következő lépésnek kerül átadásra

2.  $k = 1$  esetben is kiszámítjuk a következő egyenletet:

$$x_2 = x_1 - J^{-1}(x_1) \cdot F(x_1) \quad (3.1.4.)$$

3. majd ezt addig ismétljük, míg az általunk definiált leállási feltétel teljesül, ekkor az algoritmus kilép az iterációból

Az iteráció során kialakuló vektor sorozat az egyenletrendszer megoldásához konvergál. A konvergenciát több módon mérhetjük, ami alapján a leállási feltételt definiálhatjuk. Például a mi esetünkben a következő leállási feltételt definiáltuk: [30]

$$\|x_{k+1} - x_k\|_2 < \varepsilon \quad (3.1.5.)$$

ahol

$\varepsilon$  a felhasználó által definiált hibahatár (leállási feltétel)

$\|\cdot\|_2$  az Euklédesszi norma, ami az  $x$  vektor „hosszát” jelenti:

$$\|x\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (3.1.6.)$$

A Newton-módszer hátrányai közé tartozik, hogy mivel egy olyan optimalizáló eljárás, amely általában négyzetesen konvergál, nagyon gyors konvergenciával találja meg az optimalizálandó függvény minimumát. Így a megtalált minimum matematikailag elégíti ki a megoldandó egyenletrendszert, azonban a mi esetünkben a megtalált minimum nem csak matematikailag kell, hogy kielégítse az egyenletrendszert, hanem fizikailag is helyesnek kell lennie. Ez sajnos csak abban az esetben teljesül, ha az  $x_0$  kezdeti érték elég közel van az egyenletrendszer megoldásához. [29] Ez jelenti a módszer alkalmazhatóságának legnagyobb korlátját, azaz mielőtt belekezdenénk az optimalizálásba már rendelkezünk kell priori ismeretekkel a rekonstruálandó belső anyagszerkezetről.

A mérésértékelő algoritmus esetében kísérletet tettünk a Newton-módszer alkalmazására, azonban sikertelen volt, ugyanis az általunk felépített egyenletrendszer, Jacobi-mátrixa nem invertálható. Így egy másik matematikai módszerrel kellett kiegészíteni az algoritmust.

### 3.2. Mátrixok szinguláris felbontása és általánosított inverze [28]

Az elektromos impedancia tomográfia (EIT) és az impedancia spektroszkópia eljárás is a Newton-iteráció alkalmazásával olyan

$$A \cdot x = b \quad (3.2.1.)$$



lineáris egyenletrendszer megoldására vezet, amelyekben az  $A$  mátrix rang-hiányos és/vagy rosszul kondicionált. A probléma analízisét a mátrixok szinguláris értékek szerinti felbontásával (Singular Value Decomposition, SVD) lehet megvilágítani.

Álljon az (3.2.1.) lineáris egyenletrendszer  $A$  mátrixa  $m$  sorból és  $n$  oszlopból. Az  $A$  mátrixot tekinthetjük úgy is, mint egy lineáris leképezés az  $R^n$  vektortérből az  $R^m$  vektortérbe. A modell mérési adataiból kapjuk a jobb oldali  $d \in R^m$  adatvektort, ezért az  $R^m$  teret az adattérnek is nevezzük. Az  $A$  mátrixot együttesen határozza meg a modell és a mérés. A keresett  $x \in R^n$  vektor az EIT modellben például az a sűrűségi térkép, amelyet az EIT keres. Ezért az  $R^n$  vektorteret modell térnek nevezzük.

Tetszőleges  $m$  és  $n$  esetén  $A$  felbontható alábbi formában mátrixok szorzatára [28]

$$A = U \cdot S \cdot V^T \quad (3.2.2.)$$

ahol  $V^T$  a  $V$  mátrix transzponáltja (komplex esetben még konjugálni is kell).

A felbontásban

- $U$  egy  $m \times m$  méretű ortogonális mátrix, melynek oszlop vektorai az  $R^m$  adattér ortogonális és normált bázisát alkotják.
- $V$  egy  $n \times n$  méretű ortogonális mátrix, melynek oszlop vektorai az  $R^n$  modell tér ortogonális és normált bázisát alkotják.
- $S$  egy  $m \times n$  méretű diagonális mátrix nem negatív diagonális elemekkel, melyeket szinguláris értékeknek nevezünk.

Az  $U$  és  $V$  mátrixok előállításához nézzük meg a tulajdonságaikat. Az  $U$  és  $V$  mátrixok ortogonális mátrixok, ami azt jelenti, hogy inverzük a transzponáltjuk

$$U^T \cdot U = I_m, \quad V^T \cdot V = I_n. \quad (3.2.3.)$$

Vegyük a  $V$  mátrix  $i$ -ik  $V_{\cdot,i}$  oszlop vektorát. (A sor index helyén a pont jelöli azt, hogy az összes sort kell venni!) Az ortonormáltság azt is jelenti, hogy

$$V^T \cdot V_{\cdot,i} = e_i, \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3.2.4.)$$

Ahol  $e_i$  vektor az  $i$ -ik egységvektort jelöli, melynek minden koordinátája 0 kivéve az  $i$ -ik pozíció helyén, ahol 1 áll. Ahonnan

$$A \cdot V_{\cdot,i} = (U \cdot S \cdot V^T) \cdot V_{\cdot,i} = U \cdot S \cdot (V^T \cdot V_{\cdot,i}) = U \cdot S \cdot e_i = s_i \cdot U_{\cdot,i} \quad (3.2.5.)$$

hasonlóan

$$A^T \cdot U_{\cdot,i} = (V \cdot S^T \cdot U^T) \cdot U_{\cdot,i} = V \cdot S^T \cdot e_i = s_i \cdot V_{\cdot,i}. \quad (3.2.6.)$$

Számoljuk az  $A^T \cdot A$  és  $A \cdot A^T$  szimmetrikus mátrixok sajátvektorait és sajátértékeit

$$(A^T \cdot A) \cdot V_{\cdot,i} = A^T \cdot (A \cdot V_{\cdot,i}) = s_i \cdot A^T \cdot U_{\cdot,i} = s_i^2 \cdot V_{\cdot,i} \quad (3.2.7.)$$

$$(A \cdot A^T) \cdot U_{\cdot,i} = A \cdot (A^T \cdot U_{\cdot,i}) = s_i \cdot A \cdot V_{\cdot,i} = s_i^2 \cdot U_{\cdot,i} \quad (3.2.8.)$$

Tehát a szinguláris értékeket úgy kapjuk, hogy vagy az  $A^T \cdot A$  vagy az  $A \cdot A^T$  mátrix sajátértékeiből négyzetgyököt vonunk. (A két mátrix sajátértékei ugyanazok és nem-negatívak.) Továbbá az  $U$  mátrix oszlopvektorait úgy kapjuk, hogy az  $A \cdot A^T$  szimmetrikus

mátrix sajátvektorait ortonormáljuk. Hasonlóan a  $V^T$  mátrix oszlopvektorait úgy kapjuk, hogy az  $A^T \cdot A$  szimmetrikus mátrix sajátvektorait ortonormáljuk.

Jelölje  $p$  az  $A$  mátrix pozitív szinguláris értékeinek számát

$$s_1 \geq s_2 \geq \dots s_p > 0 = s_{p+1} = \dots = s_{\min(n,m)} = 0 \quad (3.2.9.)$$

Ekkor bontsuk fel az  $S$  diagonális mátrixot blokkokra. A bal felső  $p \times p$  méretű diagonális mátrixot jelölje  $S_p$

$$S = \begin{bmatrix} S_p & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Bontsuk fel az  $U$  és a  $V^T$  mátrixokat úgy blokkokra, hogy az első  $p$  oszlopvektort jelöljük  $U_p$  és  $V_p$  -vel

$$\begin{bmatrix} U_1, U_2, \dots, U_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_p & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1, V_2, \dots, V_n \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} U_p, U_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_p & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1, V_0 \end{bmatrix}^T.$$

Ekkor az  $A$  mátrix  $U \cdot S \cdot V^T$  szinguláris felbontását írhatjuk

$$A = U_p \cdot S_p \cdot V_p^T \quad (3.2.10.)$$

tömörebb formában, ahol  $U_p$   $m \times p$ ,  $S_p$   $p \times p$  és  $V_p$   $n \times p$  méretű mátrix.

Most már készen állunk arra, hogy definiálni tudjuk az  $A$  mátrix általánosított inverzét.

### 3.3. Moore-Penrose-féle általánosított inverz [28]

Az  $A$   $m \times n$  méretű mátrix általánosított inverze alatt értjük az

$$A^+ = V_p \cdot S_p^{-1} \cdot U_p^T \quad (3.3.1.)$$

$n \times m$  méretű mátrixot.

Mivel  $S_p$  egy diagonális mátrix, ezért inverze olyan diagonális mátrix, amelyben az eredeti mátrix diagonálisában szereplő számok reciprok értékei állnak.

Az  $A^+$  mátrix onnan kapta az inverz nevet, mert rendelkezik az inverzre jellemző.

$$A \cdot (A^+ \cdot A) = (A \cdot A^+) \cdot A = A \quad (3.3.2.)$$

tulajdonsággal, „mintha”  $A^+ \cdot A$  és  $A \cdot A^+$  is egység mátrix lenne. [28]

Az (3.2.1.) alakú lineáris egyenletrendszer megoldását az általánosított inverz segítségével a szokásos módon kapjuk

$$x = A^+ \cdot d. \quad (3.3.3)$$

1. Ha az  $A$  mátrix invertálható, akkor az inverzre  $A^{-1} = A^+$  teljesül.
2. Ha az  $A$  mátrix oszlopainak rangja teljes, akkor az  $(A^T \cdot A)$  mátrix invertálható akkor is, ha esetleg  $A$  nem invertálható. Ilyen esetben  $(A^T \cdot A)^{-1} = A^+$  és ez egyezik az (3.2.1.) egyenletrendszer legkisebb négyzetes megoldásával.
3. Van olyan eset, amikor az  $A^T \cdot A$  nem invertálható és ugyanakkor az általánosított inverz szolgáltat megoldást az (1) egyenletrendszerre.

Visszatérve a Newton-módszer alkalmazására, melynek gátja ez esetben, hogy a (3.1.3.)-as egyenletben szereplő  $J^{-1}$  nem létezik, a következő változtatással próbáltuk meg a módszert alkalmazni:

$$x_{k+1} = x_k - J^+(x_k) \cdot F(x_k), (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (3.3.4.)$$

ahol

$J^+$  a Jacobi-mátrix általánosított (Moore-Penrose) inverze, melyet a  $J$  mátrix szinguláris felbontásával állítottunk elő.

### 3.4. Regularizáció

[28] – [31] szerint a jól kondicionált (well-posed) feladatoknak a következő 3 feltételt kell kielégítenie:

- a megoldás létezik,
- egyetlen megoldás létezik,
- a megoldás stabil.

A vonatkozó szakirodalom többsége szerint [28] – [31] és a tapasztalataink szerint a fennálló numerikus matematikai inverz probléma rosszul feltett problémának (ill-posed problem) tekinthető, mely esetében matematikai szempontból a problémát az együttható mátrix szingularitása és kicsi sajátértékei jelentik. A mérési hibák létezése jelentős mértékben befolyásolja az alkalmazható numerikus egyenletrendszer megoldó módszerek hatékonyságát, így a klasszikus egyenletrendszer megoldási módszerek nem eléggé hatékonyak, stabil, a hibákra kevésbé érzékeny megoldás előállításához. Ezért ún. regularizációs módszerekhez kell folyamodnunk, ami azt jelenti, hogy az eredeti problémát illetve annak megoldását egy olyan problémával illetve annak megoldásával közelítjük, amely számottevően kevésbé érzékeny a hibákra. [31]

A 3.3. fejezetben láttuk, hogy a szinguláris értékekre való felbontás miért nem bizonyul elég hatékony megoldásnak az (2.1.) egyenlet megoldására, ugyanis a problémát a  $J$  mátrix ranghiányos és túl sok kis értékű sajátértéke van. Ez alapján logikusan következik a legegyszerűbb regularizációs technika a Csonkított szinguláris felbontás (Truncated Singular Value Decomposition, TSVD) eljárás, melyet kis méretű egyenletrendszerek megoldására mi is sikeresen alkalmaztunk.

#### Csonkított szinguláris felbontás (Truncated Singular Value Decomposition, TSVD) eljárás

A csonkított szinguláris felbontás eljárás során a (3.2.10.) egyenlet szerint végrehajtott szinguláris értékekre való felbontást végezzük el, majd a (3.3.1.) szerint invertáljuk. A TSVD eljárás során a cél, hogy az  $S$  mátrix invertálásakor keletkező túl nagy, hibás értékeket kiszűrjük. [31] Az eljárás során egy tolerancia értéket adunk meg és ezzel módosítjuk az  $S$  mátrixot: [31]

$$s_{i,j} = \begin{cases} s_{i,j}, & \text{ha } s_{i,j} > \alpha \\ 0, & \text{ha } s_{i,j} < \alpha \end{cases} \quad i = j \quad (3.4.1.)$$

Itt  $\alpha$  a tolerancia érték. Az (1.26)-ból következik, hogy amennyiben  $\alpha$ -t kicsire (azaz a numerikus számítások 0 közeli értékére választjuk), az  $S^{-1}$  mátrixban nem jelennek meg azok a nagy értékek, amelyek az általános inverz számításakor problémát jelentenek. A módszer elvéből fakadóan csökkent az invertálandó mátrix oszloprangját és mindemellett a sajátértékek kizárása olyan információhiányhoz vezet, ami pontatlanságot okozhat az egyenletrendszer megoldásában.

Ezt figyelembe véve kísérletet tettünk a TSVD módszer alkalmazására, de a teszt eredményeink alapján arra jutottunk, hogy az egyenletrendszer megoldása során olyan mértékű pontosságra van szükség, amely nem engedi meg, hogy az ily módon kiszűrt értékeket figyelmen kívül hagyjuk. A módszer alkalmazhatóságát tovább nehezíti, hogy az  $\alpha$  korrekciós tényező pontos értéke igen fontos. Ennek meghatározása azonban igen nagy problémákba ütközik, ugyanis ez próbálkozással hajtható végre. [31] A vonatkozó irodalom azt javasolja, hogy több különböző  $\alpha$  értékkel oldjuk meg az egyenletrendszert, majd válasszuk ki azt, amellyel kapott eredmények a legközelebb állnak a valósághoz. [31]

Mindezt figyelembe véve úgy döntöttünk, hogy a TSVD eljárás nem alkalmas arra, hogy alkalmazzuk a mi esetünkben felmerülő inverz probléma megoldására, ezért más regularizációs technikákat kerestünk.

### Tikhonov-féle regularizáció

A regularizáció célja (hasonlóan a TSVD-hez), hogy az  $S$  mátrix kis értékeinek hatását csökkentsük, de olyan módon, hogy minimalizáljuk az információvesztést, tehát csökkentsük az invertálandó mátrix oszloprangját. A Tikhonov-féle regularizáció általános alakja a (3.2.1)-re felírva:

$$\underline{x}_\lambda = \operatorname{argmin} \left\{ \|\underline{Ax} - \underline{b}\|_2^2 + \lambda^2 \|\underline{L}(\underline{x} - \underline{x}^*)\|_2^2 \right\} \quad (3.4.2.)$$

ahol

$\lambda$  a regularizációs paraméter

$\underline{x}_\lambda$  a megoldásvektor optimális  $\lambda$  esetében

$\|\underline{Ax} - \underline{b}\|_2^2$  az (1.12) egyenletrendszer reziduál normája

$\|\underline{L}(\underline{x} - \underline{x}^*)\|_2^2$  a megoldás szemínormája egy  $\underline{x}^*$  első közelítésű megoldás figyelembevételével

A (3.4.2)-ből látható, hogy a regularizáció azt követeli meg, hogy az  $\|\underline{L}(\underline{x} - \underline{x}^*)\|_2^2$ , azaz a megoldás Euklédesszi normája kicsi legyen ( $\|\underline{x}\|_2 \rightarrow 0$ ). A szakirodalom szerint [4], mivel az esetek többségében a megoldásról nem áll elegendő információ a rendelkezésünkre, ezért a (3.4.2.)-be  $\underline{L} = \underline{I}$ -t (egyeségmátrix) és  $\underline{x}^*$  esetében nullvektorból indulunk ki (elhagyjuk). Így az (3.4.2.) a következőképpen egyszerűsödik:

$$\underline{x}_\lambda = \operatorname{argmin} \left\{ \|\underline{Ax} - \underline{b}\|_2^2 + \lambda^2 \|\underline{x}\|_2^2 \right\} \quad (3.4.3.)$$

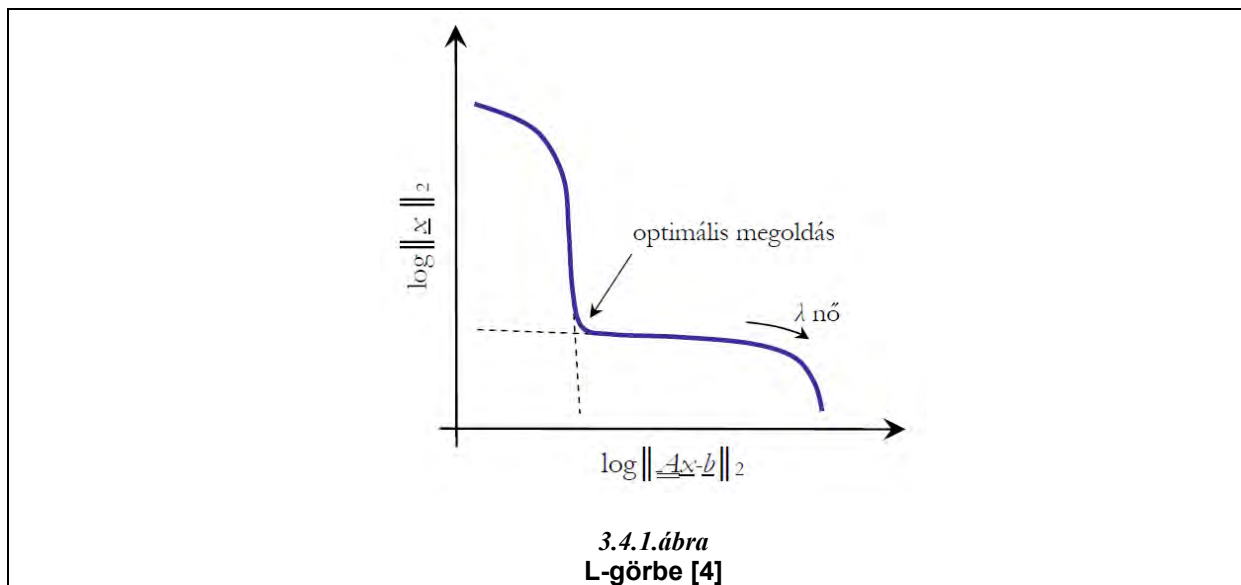
A (3.4.3.)-ből jól látszik, hogy a Tikhonov-féle regularizáció célja egyensúlyt találni az egyenletrendszer reziduál normájának (hibájának) minimális értéke és a megoldás normájának minimális értéke között. Az egyensúlyt a  $\lambda$  regularizációs paraméter teremti meg, ebből fakadóan a megfelelő értékű  $\lambda$  paraméter megválasztása létfontosságú a regularizáció során amellet, hogy a paraméter értéke egyáltalán nem triviális.

A  $\lambda$  paraméter hatása lényegében az  $S$  mátrix invertálása során jelentkezik. Ekkor ugyanis az  $S^{-1}$  mátrix főátlójában a reciprok képzést a következő „szűrő függvénnyel” korrigáljuk [30]:

$$f_{i,j} = \frac{s_{i,j}^2}{s_{i,j}^2 + \lambda^2} \quad (3.4.4.)$$

A (3.4.4.) képletben látszik, hogy amennyiben  $s_{i,j} \gg \lambda$ ,  $f_{i,j} \approx 1$  és amennyiben  $s_{i,j} \ll \lambda$ ,  $f_{i,j} \approx 0$ . Ez azt jelenti, hogy ez a „szűrő függvény” az invertálandó mátrix saját értékeinek a reciprokát úgy módosítja, hogy a két szélső érték között monoton változzanak. Így gyakorlatilag az eddig ismertetett módszerek közül ez esetben veszítjük el a legkevesebb információt úgy, hogy mindemellett közelítjük az egyenletrendszer megoldását.

A módszer alkalmazásának legnagyobb nehézségét a helyes  $\lambda$  paraméter értékének megválasztása jelenti. Ezt ugyanis részben próbálgatással, illetve grafikai úton határozzuk meg. [31] Amennyiben a  $\|Ax - b\|_2$  reziduál norma értékének függvényében log-log diagramon ábrázoljuk a megoldás  $\|x\|_2$  normáját, különböző  $\lambda$  értékek figyelembe vételével, a következőt kapjuk:



A 3.4.1. ábrán látható, hogy a kirajzolódó görbe (ill.-posed jellegű problémák esetében) mindig L alakú, amiből a nevét is kapta: L-görbe. Az L-görbéből állapítható meg az optimális  $\lambda$  paraméter érték, amely esetében mind a reziduál norma, mind pedig a megoldás normája minimális, azaz az L-görbe sarokpontjában (vagy annak közelében).

A Tikhonov-féle regularizációs eljárásra épített iterációs algoritmus legnagyobb hátránya, hogy minden iterációs lépésben (amennyiben szükséges) több százszor meg kell oldani az egyenletrendszert, hogy az optimális  $\lambda$  értéket megtaláljuk.

## 4. A PROGRAM MŰKÖDÉSE ÉS ESETTANULMÁNYOK

Az egyenletrendszer megoldásához iteratív módszert választottunk (Newton-módszer), ami kapcsán azt feltételeztük, hogy az optimalizálandó függvény az iteráció lépései környezetében lineáris. Az egyenletrendszer Jakobi mátrixa azonban szinguláris mátrix, így az invertáláshoz a Tikhonov-regularizációt használtuk. Az optimalizáló algoritmust nem saját magunk programoztuk, hanem az ingyenes Regtools MatLab Toolbox-ot használtuk. ([32], [33], [34])

A kód futtatása során bemeneti adatként a következőket kell megadnunk:

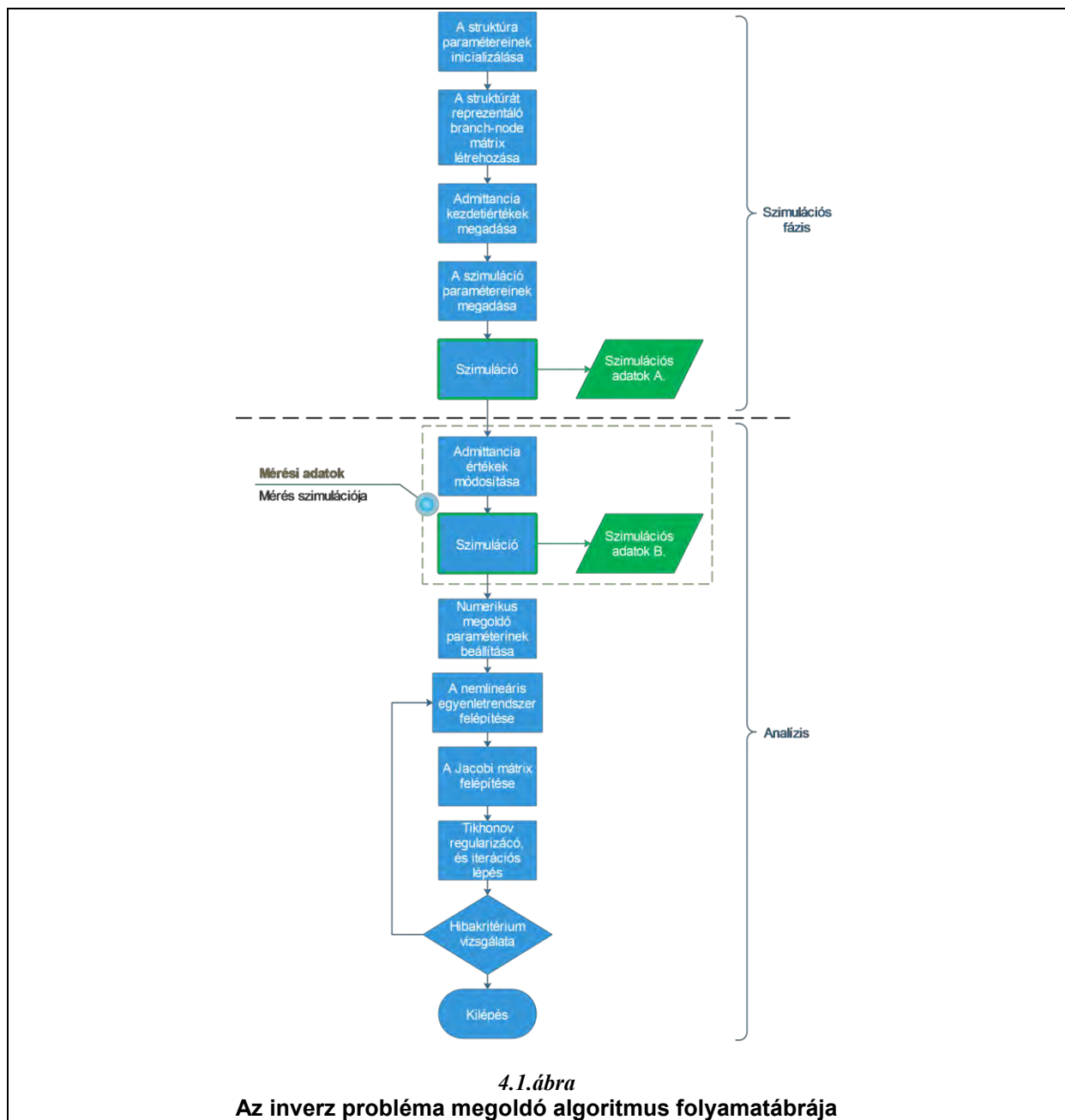
1. Gráf adatai:
  - N\_shells (a héjak száma, j): jelenleg értéke 2 lehet,
  - N\_electrodes (az elektródák száma, i): értéke 8, 16, 32, 64, .... (2 hatványok),
2. Adatgyűjtés adatai:
  - freq: az adatgyűjtés frekvenciái,

- GNDPos: az adatgyűjtő rendszer generátor földpontjának pozíciói,
  - GENPos: az adatgyűjtő rendszer generátor melegpontjának pozíciója,
  - Soutce\_current (a gerjesztőáram értéke),
3. Zajgenerálás: (fehér zaj)
- add\_noise (zaj hozzáadása az R0 és C0 értékekhez): értéke 0, vagy 1 lehet (amennyiben 1-et írunk be, a script hozzáadja a generált fehér zajt),
  - r\_perc: a relatív hibájának értéke az R0 adatsorhoz adva,
  - c\_perc: a relatív hibájának értéke a C0 adatsorhoz adva,
4. Az egyenletrendszer megoldó algoritmus paraméterei:
- R0, C0: a nemlineáris egyenletrendszer megoldó algoritmusának kezdeti értékei,
  - err\_goal: a közelítés legnagyobb hibája (a hiba az iteráció aktuális egyenletrendszerében az egyenletek összege)
  - rel\_err\_goal: az egymás utáni iterációs lépések hibájának relatív eltérése.

A paraméterek megadása (a megkötéseken kívül) teljes mértékben szabadon a felhasználó által definiálható, így az algoritmus rugalmasan alkalmazható a fizikai modelleken történő validálások során. Bár az algoritmus jelenleg a Sheffield-módszerre, mint adatgyűjtési stratégiára van optimalizálva, de ezen kívül a felhasználó definiálhat más adatgyűjtési módokat. A fehér zaj hozzáadásával a megoldó algoritmus stabilitását lehet vizsgálni.

A fent felsorolt paraméterek megadása után futtatható a program, amely futás során a következő fejezetben részletezett műveleteket végzi el.

Az algoritmus működését a következő folyamatábra foglalja össze (4.1. ábra):



Mint az a 4.1. ábrán is látszik, a program jelenleg szimuláció futtatására alkalmas. Így két fő programrészből épül fel:

1. Szimulációs fázis: amely lényegében a kezdeti értékek:  $R_0$  és  $C_0$ , valamint a kezdeti értékekhez tartozó egyenletrendszer előállítására szolgál, célja az iteráció indításához szükséges információ előállítása,
2. Analízis: feladata a mérési adatokkal módosított és a kezdeti feltételekkel kapott egyenletrendszer optimalizálása.

A Szimulációs fázis lépései:

1. A struktúra paramétereinek inicializálása: az input paraméterek figyelembe vétele,
2. A struktúrát reprezentáló branch – node mátrix létrehozása: a program előállítja a felhasználó által definiált gráf-struktúrához tartozó  $A$  mátrixot,
3. Admittancia kezdeti értékek megadása: az  $R_0$ ,  $C_0$  és freq paraméterek segítségével kiszámítja az  $Y$  mátrix értékeit,

4. A szimuláció paramétereinek megadása: az input paraméterek közül a freq, GNDPos és GENPos figyelembe vétele,
5. Szimuláció: az előző pontokban összegyűjtött adatok segítségével az megoldása  $\vec{v}_b$ -re.

Az Analízis programrész lépései:

6. Admittancia értékek módosítása: szimuláció esetében itt kell definiálni azt az R és C eloszlást, melyet rekonstruálni szeretnénk
7. Szimuláció: az előző pontban definiált R és C értékekkel helyettesített 1.3. fejezetben leírtak alapján összeállított (2.1) alakú lineáris egyenletrendszer megoldása  $\vec{v}_b$ -re,
8. A nemlineáris egyenletrendszer felépítése: az 5. lépésben előállított egyenletrendszer adatainak módosítása a 7. pontban kapottakkal,
9. A Jacobi-mátrix felépítése: az egyenletrendszer megoldó algoritmus megköveteli az egyenletrendszer Jacobi-mátrixának definiálását, ami a mi esetünkben nem közelítéssel, hanem explicit történik,
10. Tikhonov-regularizáció és iterációs lépés:
  - a. a Tikhonov-regularizáció során az egyenletrendszert kétszázszor oldja meg az algoritmus különböző  $\lambda$  érték esetében, majd meghatározza az L-görbe sarokpontjához tartozó, optimális  $\lambda$  értéket,
  - b. a kapott  $\lambda$  érték segítségével módosítja a változók vektorát ( $\underline{x}$ )
11. Hibakritérium vizsgálata:
  - a. megfelel: kilépés és eredmények megjelenítése,
  - b. nem felel meg: a megoldás vektort ( $\underline{x}$ ) visszahelyettesíti a 9. pontban kialakított egyenletrendszerbe, majd belép az iteráció következő lépésébe.

#### 4.1 Hibaanalízis

A kód lefutása után, azaz a nemlineáris egyenletrendszer optimalizálásának végeredményként a felépített gráf struktúra ágain levő ellenállás és kondenzátor értékeket kapjuk. A gráf struktúráról függően előfordulhat, hogy nagy számú végeredményt kell áttekinteni, ezért célszerűnek találtuk a végeredmények grafikus ábrázolását. Ezért a program lefutása után a következő diagramok jelennek meg:

1. a legutolsó iterációs lépés L-görbéje,
2. R on Branches: ellenállás értékek ábrázolva a gráf ágainak sorszáma függvényében (a szimulációhoz használt és az analízis során számított értékek is)
3. C on Branches: kondenzátor értékek ábrázolva a gráf ágainak sorszáma függvényében (a szimulációhoz használt és az analízis során számított értékek is)
4. Relative Error in R: a szimulációhoz használt (R) és az analízis során számított ellenállás Rsz értékek relatív hibája, a következőképpen számolva:

$$h(\%) = 100 \cdot \frac{R - R_{sz}}{R} \quad (4.1.1)$$

5. Relative Error in C: a szimulációhoz használt (C) és az analízis során számított ellenállás Csz értékek relatív hibája, a következőképpen számolva:

$$h(\%) = 100 \cdot \frac{C - C_{sz}}{C} \quad (4.1.2)$$

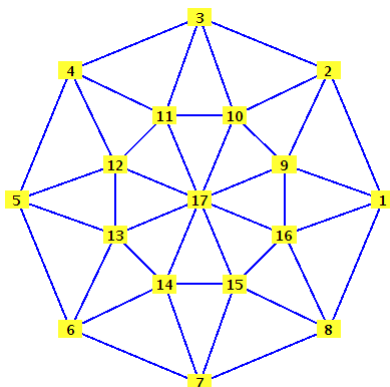
A futtatás után megjelenő ábrákról könnyen és gyorsan megállapítható, hogy a megoldás mennyire felel meg a felhasználó elvárásainak.



## 4.2 Esettanulmányok

A mérési stratégia mindegyik példa esetében az ún. Sheffield-módszert követik. Az eredmények a Megrendelő hardware/software rendszerén futtatott eredményekből lettek generálva.

Az első esettanulmányban alkalmazott gráf a következő:



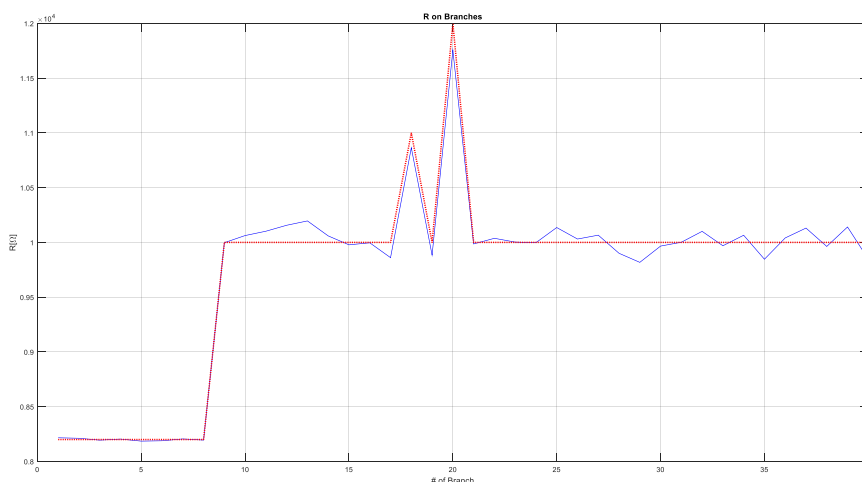
4.2.1.ábra

Az első esettanulmányban alkalmazott gráf

A betáplált adatok:

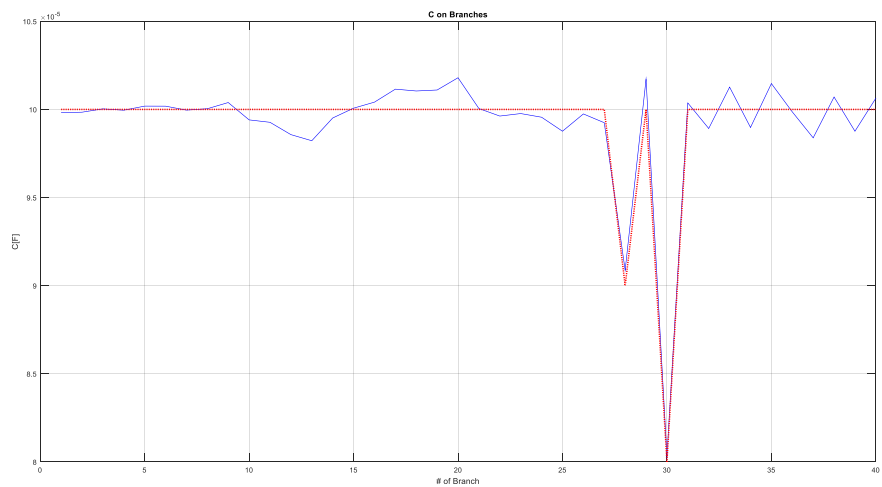
- a mérési frekvenciák =  $6,28 \cdot 10^{-4}$ ,  $6,28$ ,  $6,28 \cdot 10^4$
- az alkalmazott gerjesztőáram amplitúdója  $1 \mu\text{A}$
- a hozzáadott zaj értéke 0 %

Az optimalizáció eredményeit a következő két ábra mutatja:



4.2.2.ábra

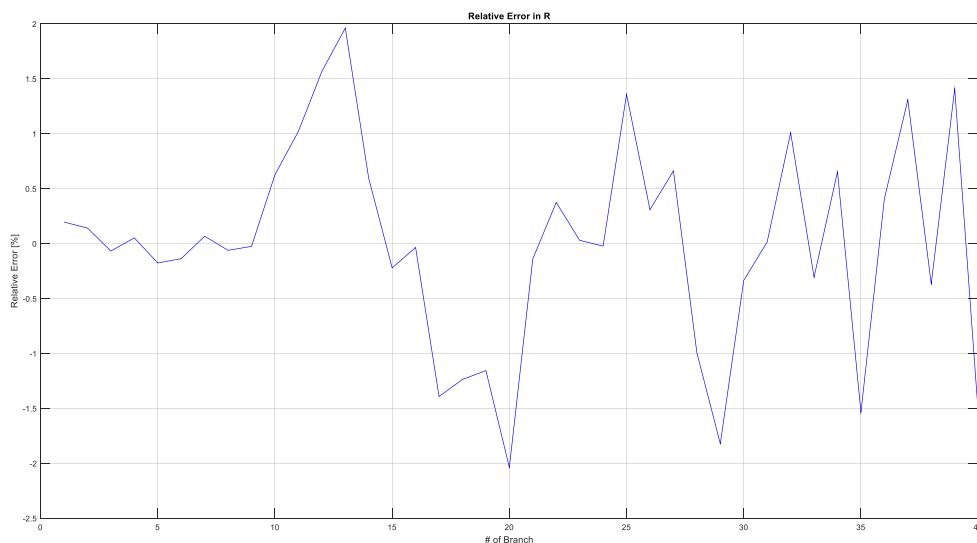
Az elméleti (piros) és a rekonstruált (kék) ellenállás értékek a 4.2.1. ábrán szemléltetett gráfra vonatkozóan



#### 4.2.3. ábra

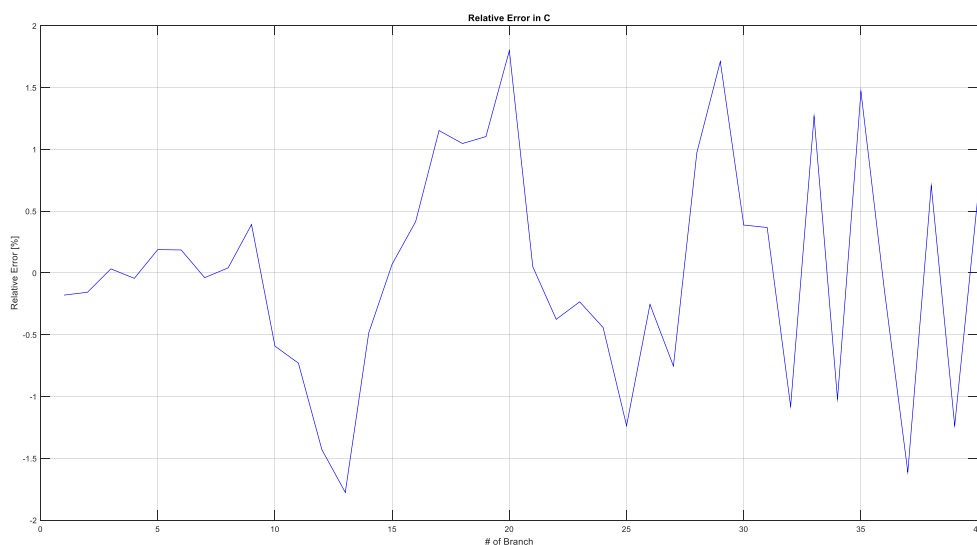
Az elméleti (piros) és a rekonsruált (kék) ellenállás értékek a 4.2.1. ábrán szemléltetett gráfra vonatkozóan

A relatív hiba eloszlás a következő:



**4.2.4.ábra**

**A rekonstruált ellenállás értékek relatív hibája (2.1) képlet alapján, a 4.2.1. ábrán szemléltetett gráfra vonatkozóan**

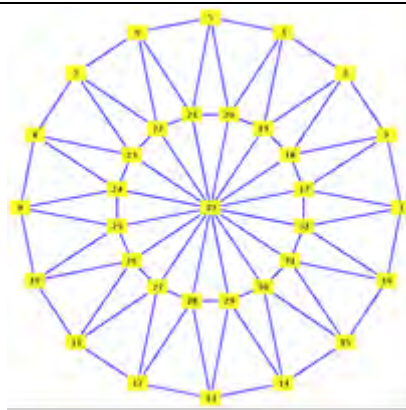


**4.2.5.ábra**

**A rekonstruált ellenállás értékek relatív hibája (2.2) képlet alapján, a 4.2.1. ábrán szemléltetett gráfra vonatkozóan**

Az eljárás 24 lépésből konvergált, a hiba értéke:  $1.5651 \cdot 10^{-15}$ , a futási idő: 2.550041 s. Az egyenletek száma: 384, míg az ismeretlenek száma: 296. A fenti ábrákból is látható, hogy a rekonstrukció sikeres, a visszaállított R és C értékek relatív hibája 2% alatt van.

A második esettanulmány esetében egy 16 elktródás gráfot választottunk, amelyek a következő ábra szemléltet:

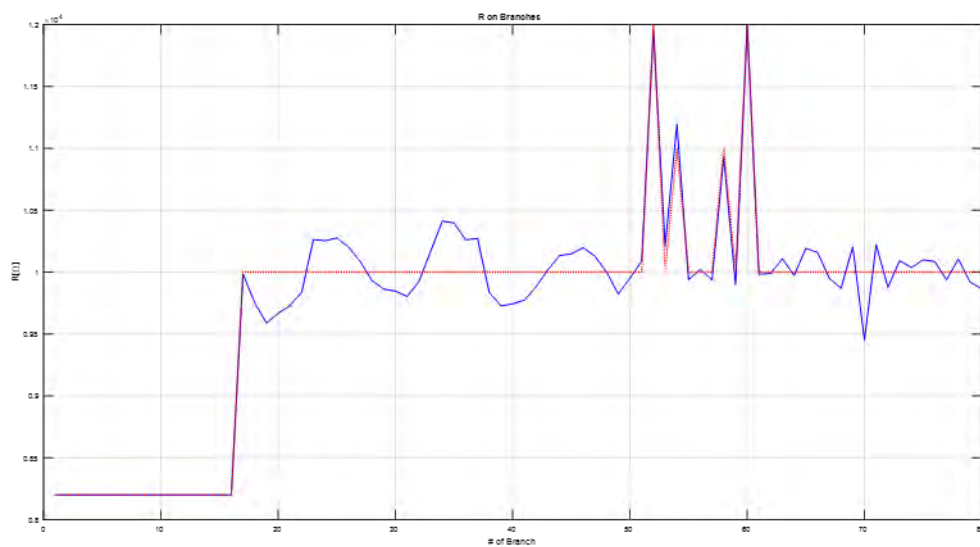


**4.2.6.ábra**  
**A második esettanulmányban alkalmazott gráf**

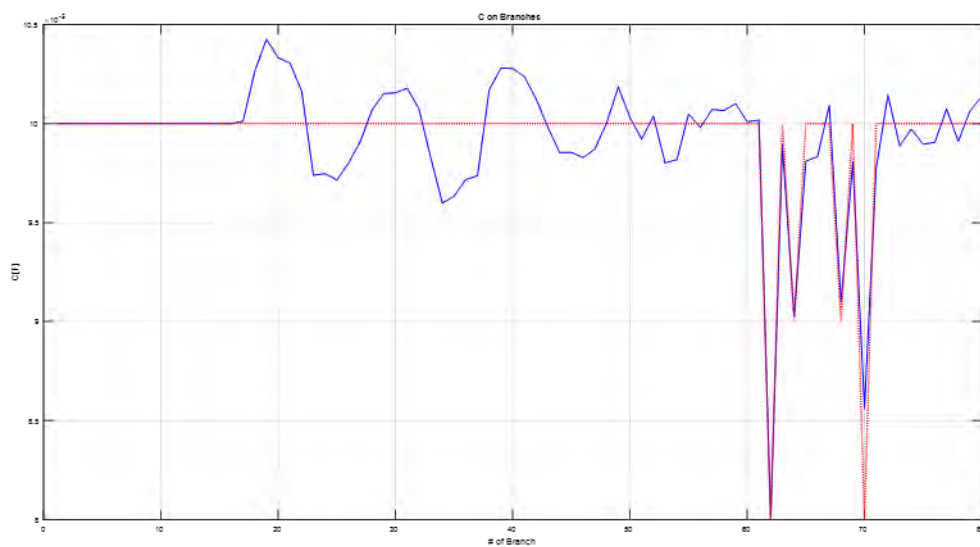
A betáplált adatok:

- a mérési frekvenciák =  $6,28 \cdot 10^{-4}$ ,  $6,28$ ,  $6,28 \cdot 10^4$
- az alkalmazott gerjesztőáram amplitúdója  $1 \mu\text{A}$
- a hozzáadott zaj értéke 1 %

Az optimalizáció eredményeit a következő két ábra mutatja:

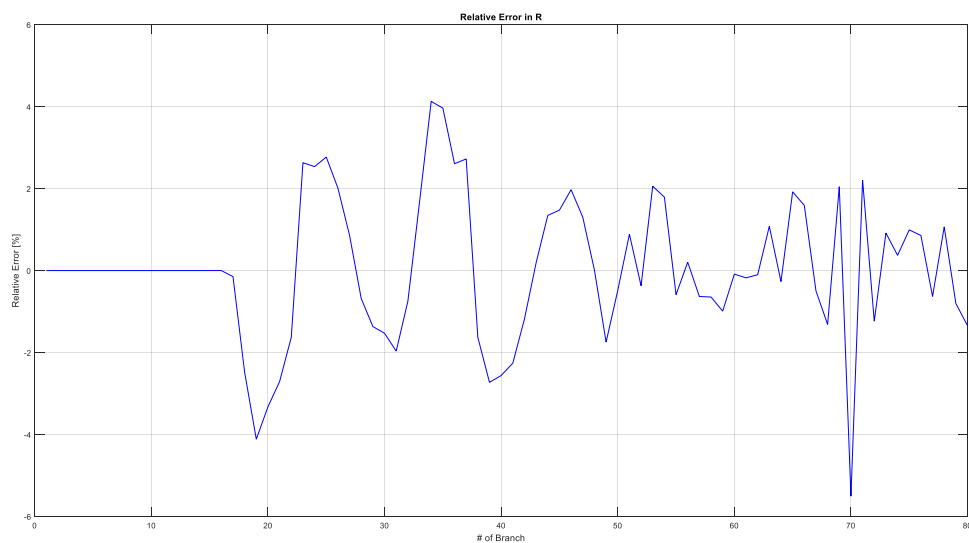


**4.2.7.ábra**  
**Az elméleti (piros) és a rekonstruált (kék) ellenállás értékek a 4.2.6. ábrán szemléltetett gráfra vonatkozóan**

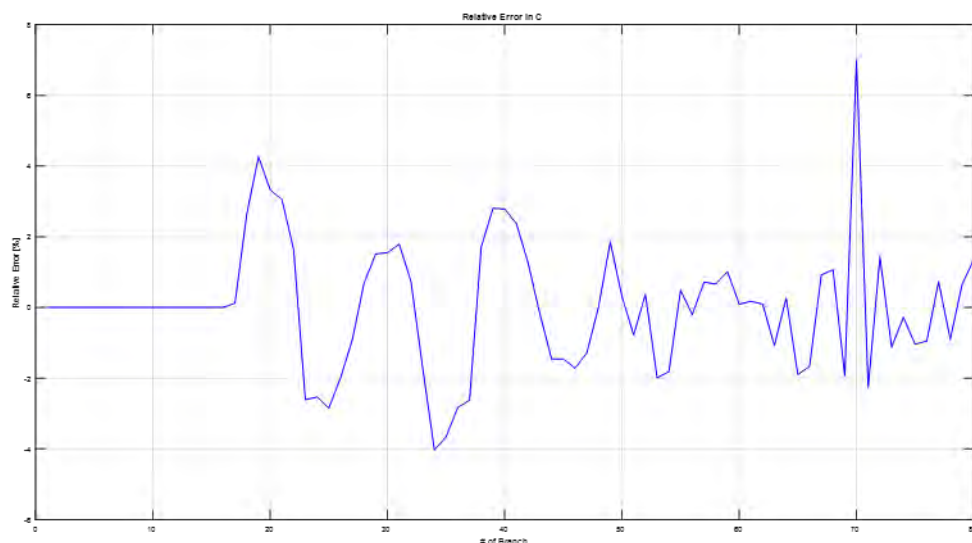


**4.2.8.ábra**  
**Az elméleti (piros) és a rekonstruált (kék) ellenállás értékek a 4.2.6. ábrán szemléltetett gráfra vonatkozóan**

A relatív hiba eloszlás a következő:



**4.2.9.ábra**  
**A rekonstruált ellenállás értékek relatív hibája (2.1) képlet alapján, a 4.2.6. ábrán szemléltetett gráfra vonatkozóan**



**4.2.10.ábra**

**A rekonstruált ellenállás értékek relatív hibája (2.2) képlet alapján, a 4.2.6. ábrán szemléltetett gráfra vonatkozóan**

Az eljárás 39 lépésből konvergált, a hiba értéke:  $1.1378 \cdot 10^{-16}$ , a futási idő: 136.783070 s. Az egyenletek száma: 1536, míg az ismeretlenek száma: 976. A fenti ábrákból is látható, hogy a rekonstrukció sikeres, a visszaállított R és C értékek relatív hibája 6% alatt marad. A zaj hozzáadása nem volt jelentős hatással a végeredményre.

## 5. ÖSSZEGZÉS

Az eddigi fejezetekben leírtak alapján jelenleg egy olyan algoritmus készül, mely a képrekonstrukció során felmerülő inverz probléma megoldásához szükséges egyenletrendszert állítja elő. Az algoritmus szándékaink szerint teljesen univerzális, ami azt jelenti, hogy bármekkora elektródaszám és héj darabszám esetében képes összeállítani a megoldandó egyenletrendszert és megoldani azt.

A számítási algoritmus fejlesztésével a következő irányokban léphetünk tovább:

1. szakirodalmazás segítségével kiválasztjuk azokat a matematikai eljárásokat, melyek alkalmasak az ilyen egyenletrendszerek megoldására (algoritmus gyorsításának és robusztusságának növelése),
2. az algoritmust ki kell egészítenünk a képalkotáshoz szükséges elvi és matematikai alapokkal, valamint azok algoritmikus megvalósításával,
3. a matematikai modellt úgy kell megalkotnunk, hogy az tényleges fizikai modell megoldására legyen alkalmas (peremfeltételek definiálása, mérési stratégiák kiválasztása stb.)
4. a megvalósított algoritmust fizikai modellen validáljuk.

## SZAKIRODALOMJEGYZÉK

1. Standeisky I.: Elektrodinamika; 2007, Egyetemi Jegyzet, Széchenyi István Egyetem, UNIVERSITAS-GYŐR Kht., Győr
2. Holder, D. S.: ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY, 2005, Methods, History and Applications, Institute of Physics Publishing, IOP Publishing Ltd.
3. Duraiswami R., Sarkar K., Chahine G. L.: „Efficient 2D and 3D electrical impedance tomography using dual reciprocity boundary element techniques”, Engineering Analysis with Boundary Elements 22 (PII: S0955-7997(98)00028-9), 1998, 13–31,
4. Rasteiro, M. G., Silva, R., Garcia, F. A. P. and Faia P.: „Electrical Tomography: a review of Configurations and Applications to Particulate Processes”, 2011, Hosokawa Powder Technology Foundation
5. Erkel, A., Dr Meskó, A., Dr Stegena, L.: Geofizikai Kutatási Módszerek III., 1970, Felszíni Geofizika, Tankönykiadó Vállalat, Bp.
6. Lesparre N., Adler A., Gibert D., Nicollin F.: Electrical Impedance Tomography in geophysics, application of EIDORS, 2017
7. Polydorides, N.: Image reconstruction algorithms for soft-field tomography, 2002, UMIST, PhD thesis
8. Lipponen, A., Seppanen, A., Kaipio, J. P.: „Reduced order estimation of nonstationary flows with electrical impedance tomography”, 2010, 17th Australasian Fluid Mechanics Conference
9. Meraa, NS., Lesnic, D.: A boundary element method for the numerical inversion of discontinuous anisotropic conductivities. 2003, Engineering Analysis with Bondary Elements 27
10. Kima, K. Y., Kima, B. S., Kimb, M. C., Kimc, S.: „Dynamic inverse obstacle problems with electrical impedance tomography, Mathematics and Computers in Simulation” 2004, 66, 399–408
11. Bera, T. K., Nagaraju, J.: „Resistivity imaging of a reconfigurable phantom with circular inhomogeneities in 2D-electrical impedance tomography”, 2010, ELSEVIER 44, 0263-2241
12. George D. L. and Ceccio S. L.: „Validation of Electrical-impedance Tomography for Measurements of Materlal Distribution in Two-phase Flows”, Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Michigan, 48109-2121 USA
13. Woo, E. J.: „Impedance Spectroscopy and Multi-Frequency Electrical Impedance Tomography”, 2007, International Journal of Bioelectromagnetism, Vol. 9 No. 2
14. Oh, T. I., Koo, H., Lee, K. H., Kim, S. M., Lee, J., Kim, S. W., Seo J. K. and Woo, E. J.: „Validation of a multi-frequency electrical impedance tomography (mfEIT) system KHU Mark1: impedance spectroscopy and time-difference imaging”, 2008, IOP PUBLISHING, Physiol. Meas. 29 295–307
15. Grieve, B. D.: On-line Electrical Impedance Tomography for Industrial Batch Processing, 2002, Department of Chemical Engineering UMIST, Manchester, UK, Thesis
16. Hua, P., Woo, E. J., Webster, J. G., Tompkins, W. J.: „Improved Methods to Determine Optimal Currents in Electrical Impedance Tomography”, 1992, IEEE Transactions On Medical Imaging. Vol. 1 I, NO. 4,
17. Wang, M.: Three- dimensional Effects in Electrical Impedance Tomography, 1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester, April 14-17, 1999
18. Maimaitijiang, Y., Bohm, S., Gaggero, P. O., Adler A.: „Evaluation of EIT System Performance”, Physiol Meas. 2011 Jul;32(7):851-65

19. Hossain, M. A., Dr. A.-U.-Ambia, Aktaruzzaman, M., Khan, M. A.: „Implementation of Radon Transformation for Electrical Impedance Tomography (EIT)”, International Journal of Information Sciences and Techniques (IJIST) Vol.2, No.5, September 2012
20. Uhlmann, G.: Electrical impedance tomography and Calderón's problem, 2009 Inverse Problems 25 123011
21. Lee, I. B.: Determining Conductivity by Boundary Measurements: Some Numerical Results, Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland, College Park, Maryland, Technical Note, 1988,
22. Parker, M. J.: An Inverse Problem for Networks, Electrical, Massachusetts Institute of Technology, 1990
23. Simonyi, K., Zombory, L.: Elméleti villamosságtan, Műszaki Kiadó, 2006.
24. Adler, A., Lionheart, W. R. B.: Uses and abuses of EIDORS: An extensible software base for EIT, 2006 Physiol. Meas.
25. Adler, A., Borsic, A., Polydorides, N., Lionheart, W. R. B.: Simple FEMs aren't as good as we thought: experiences developing EIDORS v3.3, Manchester Institute for Mathematical Sciences, 2008.
26. Polydorides, N., Lionheart W. R. B.: „A Matlab toolkit for three-dimensional electrical impedance tomography: a contribution to the Electrical Impedance and Diffuse Optical Reconstruction Software project”, 2002 Meas. Sci. Technol. 13 1871
27. Vauhkonen, M., Lionheart, W. R. B., Heikkinen, L. M., Vauhkonen, P. J., Kaipio, J. P.: A MATLAB package for the EIDORS project to reconstruct two-dimensional EIT images, 2001 Physiol. Meas. 22 107
28. Aster, R. C., Borchers, B. and Thurber, C. H.: Parameter Estimation and Inverse Problems, Elsevier Academic Press, 2005.
29. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0046\\_nemlinearis\\_optimalizalas/ch04s02.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0046_nemlinearis_optimalizalas/ch04s02.html)
30. Hanka, L.: An efficient quadratic programming optimization method for deconvolution of gamma-ray spectra, AARMS Technology, Vol. 9, No. 1 (2010) 47–66
31. Márki, F: Zajforrások azonosítása peremelem módszer alapokon, Doktori (Phd) Értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék, Budapest, 2010
32. [48] P. C. Hansen, Regularization Tools: A Matlab package for analysis and solution of discrete ill-posed problems, Numerical Algorithms, 6 (1994), pp. 1-35.
33. [49] P. C. Hansen, Regularization Tools Version 4.0 for Matlab 7.3, Numerical Algorithms, 46 (2007), pp. 189-194.
34. [50] P. C. Hansen, Rank-Deficient and Discrete Ill-Posed Problems: Numerical Aspects of Linear Inversion, SIAM, Philadelphia, 1998.



## **MEZŐGAZDASÁGI MELLÉKTERMÉKEKBŐL KÉSZÜLT KEVERÉK PELLETEK ENERGETIKAI VIZSGÁLATAI**

### **ABSZTRAKT**

A klímaváltozás megfékezése és a megújuló energiák használatának növelése miatt egyre nagyobb figyelmet kap a különböző mezőgazdasági növényi melléktermékek és hulladékok hasznosítása. A növénytermesztés során keletkező szalma és szár maradványok közös tulajdonsága, hogy alacsony térfogati sűrűséggel rendelkeznek, ezért átalakításuk szükséges. Az egyik lehetőség a pelletálás, amely egy tömörítési eljárás, eredményeként gazdaságosan szállítható, az automatizált berendezésekben jól hasznosítható tüzelőanyagot nyerünk.

A fapellet előállítás szignifikánsan emelkedett az utóbbi tíz évben az Európai Unióban és hazánkban is. Oka, hogy mind a lakossági, mind az ipari szektor ezirányú felhasználása jelentősen növekedett, emiatt a faiparból származó melléktermékek már nem fedezik a szükségletet. Így a jövőben a mezőgazdasági melléktermékekből előállított tömörítvények is nagyobb szerephez juthatnak. Magyarország adottságai révén jelentős mennyiségű lágyszárú mezőgazdasági melléktermékkel rendelkezik, így ehhez az alapanyag bázis adott.

A kutatás során búzaszalma, repceszár és napraforgó héjból készült pelletek fűtőérték, nedvességtartalom és hamutartalom vizsgálataival foglalkoztunk. Míg a magas hamutartalom és az alacsony hőmérsékleten bekövetkező hamulágyulás tüzeléstechnikai szempontból okozhat problémát, addig az alapanyag magas nedvességtartalma egyrészt a pellet töredezését, szétesését okozza, másrészt a folyamat gazdaságosságát rontja a szükséges szárítási folyamat magas energiaigénye miatt. Emellett a magas nedvességtartalom a fűtőértéket is hátrányosan befolyásolja.

A fapellet esetén az EU piac megköveteli a jó minőségű pellet gyártását, azonban az agripelletek esetében a szabványnak megfelelő minőségű pellet előállítása egyelőre kevésbé jellemző. Az EN plus rendszer már külön kitér az agripelletre, előírása alacsonyabb fűtőértéket, és magasabb hamutartalom értékeket enged meg.

A mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy a napraforgó héj energetikai jellemzői a fapellethez hasonlóak. Fűtőértéke az olajmaradványok miatt sokkal magasabb, mint általában a lágyszárú növények melléktermékéből készült agripelleteké. A hamutartalom 3 % körüli, ami a fapellet hamujának többszöröse, viszont jelentősen alacsonyabb, mint a szalmafélék hamutartalma. A repce-szár átlagos fűtőértéke betakarítás idején 16 MJ/kg volt, ami agripelletek esetén jó értéknek mondható. A nedvességtartalom csökkenése miatt a pellet fűtőértéke valamivel magasabb, 16,2 MJ/kg volt. A szentesi T&T Technik Kft-nél előállított repceszár, illetve repceszár-búzaszalma (50-50%-os) keverék pelleteket is vizsgáltuk. A tiszta repceszár tömörítvény energetikai jellemzői agripelletekhez viszonyítva megfelelőek voltak, a búzaszalma-repceszár keverék pellet hamutartalma kis mértékben magasabb volt.

**KULCSSZAVAK:** pellet, agripellet, mezőgazdasági melléktermék, szalma, energetika

## BEVEZETÉS

A fapellet és agripellet nagy nyomáson, 800-1000 bar-on előállított energetikai tömörítvény. A faforgács és a különböző mezőgazdasági melléktermékek kis térfogati sűrűséggel rendelkeznek, ezért az energiasűrűség növelésének egyik legalkalmasabb módja az alapanyag tömörítése. A tömörítés során a kiinduló alapanyag halmazsűrűségét megnövelik 80-160 kg/m<sup>3</sup>-ről [1] 600-750 kg/m<sup>3</sup>-re [2]. Technológiától függően a pelletek mérete változó, átmérőjük 4-10 mm, hosszuk 15-50 mm közötti. Európában a 6 és 8 mm átmérőjű pelletek terjedtek el. A kémiai összetevők közül a lignin, a pentozánok valamint a fehérje jelenléte nagyban befolyásolja a tömörítvény tulajdonságait. A lignin jelenléte megváltoztatja, ill. alakítja ki a kötési jellemzőket. Viszonylag alacsony hőmérsékleten, 140 C°-on megolvad, s később ez tartja össze a részecskéket a tömörítés után [3]. A fehérje tartalom is fontos szerepet játszik a pelletálás során kialakuló kötésekben. A tartózkodási idő, a hőmérséklet, valamint a magas nyomás a fehérjék részleges denaturációját okozza [4]. A biomassza pelletek tulajdonságait nagyban befolyásolja a préselési nyomás is, újabb kutatásokban a radiális nyomáseloszlás vizsgálatával is foglalkoznak [13].

A fapellet előállítása és kereskedelme szignifikánsan emelkedett 2008 óta [5,6]. Az Egyesült Államok és Kanada fő gyártó és exportőr lett, elsődlegesen az Európai Unióba. Az EU fapellet „függőségét” az üvegházhatású gázok csökkentésére, és a megújuló energiák arányának növelésére irányuló politikai irányelv idézi elő. Számos európai villamos-energia előállító konvertálta, vagy folyamatban van a szén és gáz kiváltása biomasszával, mely sok esetben fapellettel történik. Hazánk adottságai révén azonban nagy mennyiségű lágyszárú melléktermékkel rendelkezik, melyek az agripellet gyártás alapanyagai lehetnek [7]. A lágyszárú növények kémiai összetételük miatt energetikai szempontból nehezebben hasznosíthatók, mint a faanyag. Az agripelletek a fapellethez képest alacsonyabb fűtőértékkel, magasabb hamutartalommal rendelkeznek. A viszonylag alacsony hamuolvadási pont a kazánokban salakosodási problémákat is okozhat. Ezen problémák elsősorban a tüzelőanyag megtermelése és betakarítása során a talajból a biomasszába beépülő kémiai elemek jelenlétével és azok hatásával magyarázhatók. A környezetkímélő eltüzelés szempontjából elsősorban a N-, Cl- és S-tartalom érdekes, míg tüzeléstechnikai szempontból – főleg a salaklágyulás és -olvadás – az alkáli (Na, K) és alkáli földfémek (Mg, Ca) jelenléte lényeges [8]. Szálas takarmányok eltüzelésekor a fatüzeléshez képest több a salak, nagyobb a N-, Cl- és K-tartalom, valamint alacsonyabb a salakolvadási hőmérséklet. Mindez megnöveli az emissziót és az üzemeltetési kiadásokat. Az agripellet kazánok mozgó rostéllyal rendelkeznek, ezzel részlegesen kiküszöbölve a salakosodási problémát. Az agripelletek gyengébb minőségi tulajdonságai mellett, a kazánok magas ára is hátráltatja a nagyobb mértékű elterjedést.

## VIZSGÁLATOK BEMUTATÁSA

A mérések során kísérleti síkmatricás pelletálón előállított keverék pelleteket, illetve üzemi körülmények között készült tömörítvényeket vizsgáltunk. Repceszár, illetve repceszár és búzaszalma 50-50%-os keverékeket, valamint az olajprés üzemeknél nagy mennyiségben megjelenő napraforgó héjból készült pelletet is bevontuk a vizsgálatokba. Az évente országosan keletkező héj energiatartalmát 1,7 PJ-ra, a napraforgószárét 16 PJ-ra becsülik [9]. Különböző biomasszákat, és a napraforgó héj erőművi hasznosítását és hamutartalmát is vizsgálták a Miskolci Egyetemen [10]. Méréseik szerint a napraforgó héj 7,8%-os nedvességtartalomnál, 57 % illó anyagot, 31 % fix-szenet, és 3,9 % hamut tartalmazott. Fűtőértéke a héjban lévő olajmaradékok, és magas lignin tartalom miatt, magasabb, mint általában az agripelleteké, 16- 19,5 MJ/kg között alakul. A Renergy UK Ltd. is foglalkozik

nagy mennyiségű napraforgó héj kereskedelmével és pelletálásával, vizsgálataik szerint a fűtőérték 17-18 MJ/kg, a hamutartalom 2,6-3 % körül alakul. A problémát a pelletnél a magas finomhányad, illetve mechanikai szilárdság okozhat, mely főleg az Oroszországból érkező pelletekre igaz, az Ukrajnából szállított pellet valamivel jobb minőségű [11].

Kaloriméteres mérésekkel meghatároztuk a fűtőértéket, vizsgáltuk a kiinduló anyag és az agripelletek nedvességtartalmát. Hamutartalom méréseket végeztünk izzító kemencés vizsgálatokkal.

A fűtőérték meghatározása energetikai szempontból a legfontosabb kérdés. A különböző anyagok és a belőlük készült tömörítvények energia tartalma alapján határozható meg az energia hatékonyság, ezért az energia mérleg vizsgálatához minden esetben szükség van az alapanyag és kész-termék fűtőértékének ismeretére [12]. Egy kaloriméter működésének lényege, hogy égés következik be meghatározott körülmények mellett. Ehhez a feltáróedénybe egy megmért tüzelőanyag mintát kell tenni, majd meg kell gyújtani és közben a gép méri a kaloriméter hőmérsékletének növekedését. Az alsó fűtőértéket úgy kapjuk meg, hogy az égéstermék csökkentjük a tüzelőanyagban lévő és az égés által képződő víz kondenzációs energiájával. Ez a szám, amit fűtőértéknek is hívnak, a műszakilag fontosabb mérőszám, hiszen ezt lehet energetikailag kiértékelni. IKA 2000C típusú bombakaloriméter segítségével végeztük a méréseket. A vizsgálat során a műszer segítségével közvetlenül az égéshő értékét kapjuk meg.



*Figure 1*

**IKA-2000 C típusú kaloriméter**

A hamutartalom energetikai szempontból fontos jellemző, a tüzelő berendezések kialakítása miatt is lényeges. A fapellet hamuja alacsony, általában 0,5% alatti érték, míg a lágyszárú növényekből készült agripelletek magasabb, 3-10% körüli hamutartalommal rendelkeznek. A biomassza energetikai hasznosítása során keletkező éghetetlen salak, a nagyobb teljesítményű tüzelő berendezéseknél is speciális üzemeltetési gondokat vethet fel. Ez egyrészt tüzelőberendezés károsodásával, másrészt a nagy mennyiségben keletkező hamu elhelyezésével kapcsolatos.

A hamutartalom vizsgálat menete:

- Nedvességtartalom mérése, anyag szárítása
- Száraz anyag bemérése analitikai mérlegen

- Égetés izzító kemencében

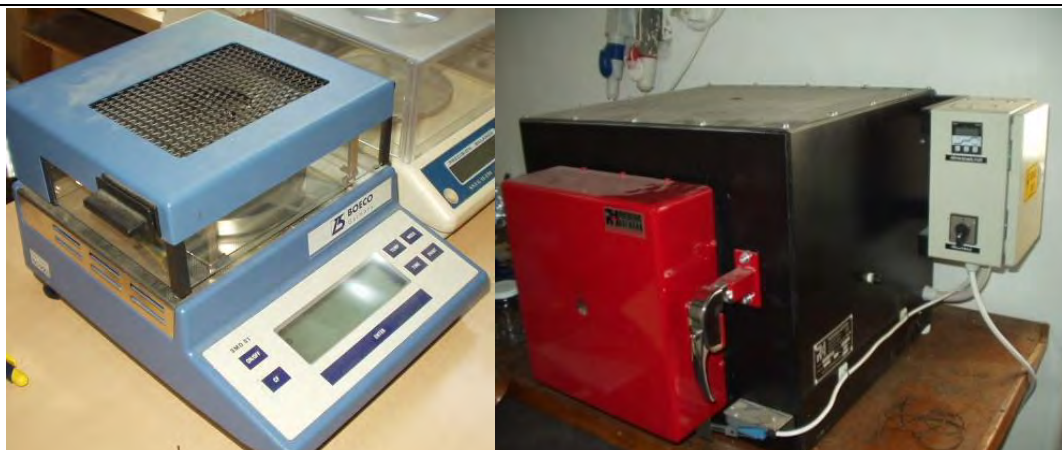


Figure 2

Nedvességtartalom mérő (Boeco SMO 01) és izzító kemence (Thermo Pr)

- Hamu visszamérése analitikai mérlegen

Tüzeléstechnikai szempontból a nedvességtartalom az egyik legfontosabb tulajdonság, hiszen szoros összefüggésben van a fűtőértékkel [8]. A nedvesség tartalom meghatározása a pelletálás miatt is lényeges, ha túl magas, vagy túl alacsony akkor a pellet töredezik, szétesik. Az optimális nedvességtartalom 10-12% körüli. Pelletálás után a nedvesség tartalom valamennyit csökken, előírás szerint, szabványban meghatározva 10 % alatt kell lennie.

## EREDMÉNYEK

A kaloriméteres, nedvességtartalom és hamutartalom méréseket minden minta esetében háromszor ismételtük, az eredmények átlagát az 1-es táblázat szemlélteti. A repce-szár átlag fűtőértéke betakarítás idején 16 MJ/kg volt, ami agripelletek esetén jó értéknek mondható. A nedvességtartalom csökkenése miatt a pellet fűtőértéke valamivel magasabb, 16,2 MJ/kg volt. Az energetikai jellemzőkben tiszta repceszár pellet esetén nem volt jelentős eltérés, a búzaszalma-repceszár keverék pellet hamutartalma viszont magasabb volt.

A mérési eredmények átlaga alapján, a napraforgó héj energetikai jellemzői a fapellethez hasonlóak. Fűtőértéke az olajmaradványok miatt sokkal magasabb, mint általában a lágyszárú növények melléktermékéből készült agripelleteké. A hamutartalom 3 % körüli, ami a fapellet hamujának többszöröse, viszont jelentősen alacsonyabb, mint a szalmafélék hamutartalma.

Table 1

Agripelletek energetikai laboratóriumi mérési eredményei

|                      | Nedvességtart. W (%) | Fűtőérték (MJ/kg) | Hamutart. AS (%) |
|----------------------|----------------------|-------------------|------------------|
| Repceszár            | 11,2                 | 16,0              | 5,1              |
| Repcepellet 6mm      | 10,1                 | 16,2              | 5,1              |
| Repcepellet 8 mm     | 9,4                  | 16,3              | 5,2              |
| Repce-búzaszalma 8mm | 8,7                  | 15,9              | 8,3              |
| Napraforgóhéj pellet | 8,9                  | 17,9              | 2,9              |

## KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgált agripellet minták közül a repceszár, illetve a búzaszalma-repceszár tömörítvények fűtőértéke is megfelelő volt. A keverék pellet hamutartalma magasabb volt, amit a szalmafélék betakarításakor jelenlévő szennyeződések is okozhattak. A napraforgó héj pellet jelentősen jobb energetikai tulajdonságait a héjban lévő olajmaradványok okozzák. A

napraforgó héj tulajdonságai miatt optimális pellet alapanyag lehet, a jövőben érdemes lenne különböző keverékeket vizsgálni, esetleg alacsonyabb fűtőértékű anyagokhoz keverve a héjat.

Vizsgálatok folynak a repceszár és búzaszalma pelletek mechanikai tulajdonságaira irányulva is, illetve füstgázelemzési méréseket is megkezdünk. Az optimális energetikai tulajdonságok ellenére, az agripellet tüzelés során számos probléma adódhat, melyek főként a hamulágyulással és a pellet töredezettséggel vannak összefüggésben.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Széchenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

1. **Fenyvesi L.; Ferencz Á.; Tóvári P.:** "A tűzipellet." Cser Kiadó, Budapest 2008, p. 11.
2. **Ongrádi M. (szerk.):** "A szalma, mint energiaforrás." Cser Kiadó, Budapest 2006, p. 92.
3. **Sen, S.; Patil, S.; Argyropoulos, D. S.:** "Thermal properties of lignin in copolymers, blends, and composites: a review." Green Chemistry, Vol. 2, Issue 11. 2015, p. 29.
4. **Wood, J. F.:** "The functional properties of feed raw materials and their effect on the production and quality of feed pellets." Animal Feed Science and Technology. Vol. 18, Issu 1. 1987, pp. 1-17.
5. **European Pellet Report:** "Pellet production in the EU." 2015. <http://www.enplus-pellets.eu/wp-content/uploads/2013/11/D2.2bis-European-pellet-report.pdf>
6. **Biofuels Annual Report:** "Biomass for heat and power." 2020, p. 44. [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual\\_The%20Hague\\_European%20Union\\_06-29-2020](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_The%20Hague_European%20Union_06-29-2020)
7. **Papp V.; Beszédes S.; Szalay D.:** "Opportunities and challenges of agripellet production in Hungary", Journal of International Scientific Publications: Agriculture and Food 7, 2019, pp. 197-204.
8. **Marosvölgyi B.:** "Szilárd, biomassza alapú tüzelőanyagok energetikai tulajdonságainak vizsgálata." 2006. <http://docplayer.hu/12093734-Szilard-biomassza-alaputuzeloanyagok-energetikai-tulajdonsagainak-vizsgalata-segedlet.html>
9. **Tóth P.; Bulla M.; Nagy G.:** "Energetika – Digitális tankönyvtár." 2011. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021\\_Energetika/ch04s02.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Energetika/ch04s02.html)
10. **Szemmelveiszné H. K.; Szűcs I.; Palotás Á. B.; Winkler L.:** "Biomasszák erőművi hasznosítása." 2007. [https://matarka.hu/koz/ISSN\\_1589-827X/2007/ISSN\\_1589-827X\\_2007\\_051-062\\_png.pdf](https://matarka.hu/koz/ISSN_1589-827X/2007/ISSN_1589-827X_2007_051-062_png.pdf)
11. **Renergy UK Ltd.:** "Sunflower husk pellets." 2015. <http://www.renergyuk.com/sunflower-husk-pellets/>
12. **Papp V.:** "Energetikai pelletek előállításának és hasznosításának ökoenergetikai vonatkozásai." Doktori értekezés, Soproni egyetem, 2018.
13. **Quyen T. V., Nagy S., Faitli J., Csőke B.:** Determination of radial pressure distribution on the wall of the press channel of a novel biomass single die pelletiser. EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS Open Access, published 17 August 2020 p. 12. (2020)

## ASSESSMENT OF BIOMASS QUALITY OF SOME TREE'S SPECIES FOR BIOENERGY PRODUCTION

### ***Abstract***

In view of the finite reserves of fossil fuels, and the impact of their utilization on the environment, there is a growing interest to exploit an alternative energy resources, including biomass for energy production, and reduce the net carbon emission as environmentally friendly. The increasing demand for biomass in energy production requires to be grown specifically for energy purposes. The energy plantation schemes not only for biomass production but also can improve both the livelihoods of communities and environment state and they mean more efficient land use management. Biomass feedstock is varying, and their chemical composition is highly depended on the plant species. Therefore, the most suitable plant species to be selected for energy plantation. In Our research we evaluate the biomass quality of some trees species to fill the knowledge gaps for unfamiliar species in term of bioenergy production. Our goal to address the issues of variability in biomass composition and select the most promising species as efficient feedstock for biomass-based energy production.

***Keywords.*** *biomass quality, energy plantation, efficient feedstock, bioenergy production.*

### **1. Introduction**

Biomass is currently the most widespread form of environmentally friendly energy and its exploitation is further increasing due to the concerns over the devastating impacts of fossil fuel utilization, on the climate and their negative impacts on human health (Galik *et al.*, 2009, Sántha *et al.*, 2020, Quyen *et al.*, 2020). Obligations of EU countries with respect to their national renewable action plans mobilized substantial amounts of forest biomass for production of wood chips and pellets (Pelkonen *et al.*, 2014). Furthermore, Africa also anticipating extending the energy tree plantation to satisfy the future increasing demands for biomass. The biomass is likely to become most common energy source worldwide in the future (Mononen *et al.*, 2016). In Hungary the annual energy consumption can be estimated 1000-1100 PJ of which the contribution of biomass is 405-540 PJ which can cover about the half of the annual needs (Vágvölgy, 2013). Another example Sudan, where the estimated woody biomass stock is 278 million m<sup>3</sup> and the total consumption averages 16.9 million m<sup>3</sup> (FAO, 2012). Although the demand for biomass is increasing in the two countries, there are problems with the species of energy plantation. For example, in Hungary Vágvölgy *et al* (2012) shows how the insects pests' effect on biomass production such as the red poplar leaf beetle (*Chrysomela populi* L.). Or we

can mention that there is currently no mature technology for harvesting black locust trees for energy purposes. Due to their high density and hardness, less energy is required than poplar and willow and the plantations can be harvested in one go (Deák *et al.*, 2017). According to Omer (2018), one of the biggest challenges in biomass utilisation in Sudan is the sustainable supply of wood fuels. Their volume is declining while the demand for renewable energy sources is constantly increasing. A reasonable approach to tackle this issue could be to present new native species with high growth performance, high biomass production and easy harvesting method to expand energy tree plantation spatially especially in marginal sites is necessary. Before proceeding to select the most suitable trees species for energy plantages, it is important must be taken into consideration the following. Firstly, there is a growing body of literature that recognises the importance of trees species selection (Gonçalves *et al.*, 2018, Neves *et al.*, 2011), as source of biomass and their affect to the different characteristics of fuel, furthermore to the variation within each species or types of biomass due to biological variation. And secondly, an assessing biomass quality is therefore vital to decide on its feasibility for conversion (Thomas, 2014), because some combustion technologies can accept a wide range of biomass feedstock, others require much more homogenous feedstock to operate. Identification criteria to measure biomass quality is importance for identifying the chemical and physical properties of the final product then defining the ideal use of the biomass (Da Silva *et al.*, 2019). With increasing pressure on natural forests, alternative sustainable approaches are needed to keep pace with the growing demand for bioenergy (FAO, 2005). There are knowledge gaps in terms of investigating their suitability as feedstock in energy production and, there is the need for the most suitable plant species must be identified before the potential biomass production. Further research needed into the combustion characteristic of many plant species which can serve as potential feedstock in the bioenergy production.

## **2. Objectives**

The sustainable supplies of wood fuels are declining while the need for these fuels continues to increase. Evidence suggests that correct biomass selection is among the most important factors for energy yield optimization (Da Silva *et al.*, 2019). The research to date has tended to focus on biomass production rather than quality. Therefore, this study attempt to address the knowledge gaps for unfamiliar species in term of bioenergy production, throughout biomass quality evaluation of some trees species and define approach to select the most promising species as efficient feedstock for biomass-based energy. The goal is low emission of unwanted elements that cause environmental problems. Specifically, the project objectives are,

1. To select a multi-purpose trees species with high initial growth rate and naturally distributed.
2. To test the variation in biomass properties among the species that identified as candidates for evaluation.
3. To identify the variation within selected species for energy yield and suitability of them to the various bioenergetic conversion techniques.
4. To identify the main elements that impacted on environment as result of solid biofuel combustion.
5. To develop a list of the most promising species in term of biomass quality for energy production.

### **3. Materials and methods**

#### ***3.1. Description of the study area***

This research intends to develop procedures for trees species selection for bioenergy production. Since there are different type of biomass produced from various sources. Energy contained in each of the biomass materials is not the same; they vary in type and geographical zone (Thomas, 2014). Therefore, different geographical zones will be selected to compare the biomass quality and their energy content. The study will be conducted in Hungary, a landlocked country in Central Europe. Located between the 44 and 48 north latitudes and the 16 and 22 east longitudes. The climate of Hungary is continental, with the western oceanic and the southern Mediterranean climate also having an impact. With the Two main zonal vegetation types appear in Hungary: the zone of deciduous forests, which is dominated by oak and beech (especially in hilly and mountainous areas). The other zonal vegetation is the forest steppe on lowland areas, which includes different sand and loess forest steppes, and herbaceous associations (eugo.gov.hu, 2020). While the other geographical zone located in the northeast Africa continent which is Sudan, lies between 15 N, north latitudes 30 E east longitudes. The climate ranges from hyper-arid in the north to tropical wet-and-dry in the far southwest. With the various vegetation types from desert in the northern zone to closed high forest in the most southern part of the country. The central part of the country with rainfall confined to the rainy season (3-5 month) is dominated by deciduous drought tolerant tree species (En.wikipedia.org, 2020).



### 3.2. Data collection

The study will be started with tree species selection. A combination of qualitative and quantitative data collection methods will be used to gather both primary and secondary data. Prior to the laboratory analysis, a review and analysis of secondary sources will be conducted to gain general insight into the case study area and issues related to energy trees species and biomass conversion process into energy in the selected regions. Key informant structured interviews will be conducted, including experts and individuals who have information about tree species for selecting appropriate species for the evaluation process. The structured interviews will cover different issues related to the biological characteristics of native species such as high initial growth rate; high regeneration potential; formation of coppice sprouts.

### 3.3. Laboratory procedure

To decide the potential of biomass on energy production and their suitability for various conversion technique, and environmental impact as result of their use, the following analysis methods are necessary:

#### 3.3.2. Proximate analysis

Many researchers have utilised proximate analysis to measure the most important characteristics of biomass fuel (Domalski *et al.*, 1986). From selected species each species will be sampled with diameter outside the bark at breast height of diameter classes 10, 15, 20 and 25 cm. A disc of about 1-inch thickness will be cut from the trunk wood of freshly cut trees of each of the species. The trunk wood samples and freshly removed trunk bark besides, twigs of diameter varying from 1 to 5 cm and mature leaves of the trees will be collected and used for the determination of various biomass fuel properties. The moisture content of plant parts will be determined according to the method described in ASTM D1762 methods. the sample will be weighed when wet, dried at 103 °C for at least 24 h and weighed again when dry. And then calculated according to equation 1 (Thomas, 2014).

$$CM = \frac{m - m_0}{m} \times 100\% \quad 1$$

where, m = mass of wet wood; m<sub>0</sub> = oven dry mass.

To determine the ash content, oven dry samples will be placed in a ceramic crucible and the weight of each crucible and the biomass is noted. The crucibles were then be placed and in the furnace at a temperature of 575 °C for 3 h according to EN 14775 methods. the resulting weights of ash and moisture level in the sample are used to calculate the percentage ash present at 525°C on a moisture-free sample basis by the relationship shown in equation 2 (Thomas, 2014).

$$Ash (\%) = \frac{mA \times 100}{m_0} \quad 2$$

Where, mA = mass of ash, m0 = mass of oven dry sample.

For bioenergy purposes the bulk density of chips is determined via shock impact BS EN 15103. A cylindrical vessel with known volume will be filled to the rim with chips and shock exposed (dropped from a certain height) to compact the chips. The vessel will then either be refilled to maximum level or the surplus material will be removed. The basic bulk density of the wet chips is then given by equation 3 (Thomas, 2014).

$$BDw = (m_2 - m_1) / V \quad 3$$

Where, m<sub>1</sub>: weight of vessel, m<sub>2</sub>: weight of vessel + biomass, V = inner volume of vessel.

To determine the volatile content, oven dry samples will be placed in a ceramic crucible and the weight of each crucible and the biomass will be noted. The crucibles will then be placed and in the furnace at a temperature of 900 °C for 7 min (ASTM E872-82). After cooling, the volatile content is calculated according to equation 4 (Thomas, 2014).

$$Volatile (\%) = \frac{100 \times (m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} \quad 4$$

Where, m<sub>1</sub> = mass of crucible, m<sub>2</sub> = mass of oven dry sample and crucible, m<sub>3</sub> = mass of contents and crucible after heating.

### 3.3.3. Elemental analysis

One of the most well-known methods for assessing unwanted elements that cause environmental problems is elemental analysis. Solid biomass samples will be weighed in tin containers and loaded into an automatic sampler. The tin cups will then be dropped in a tube where in the presence of external oxygen flask combustion occurs at a temperature of 1800 °C. The gaseous combustion products N<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> will be carried by the helium as carrier gas through a column filled with copper oxide and from there to a Cu-column where nitrogen oxides will be reduced to elementary nitrogen, and O<sub>2</sub> to CuO. Water will be absorbed in another column. The remaining gasses will be introduced into a TPD (Temperature Programmed Desorption) column where N<sub>2</sub> goes right through it and the other gases are bound to the column. With a programmed temperature raise in the column the gases are released separately. They flow along a thermal conductivity detector (TCD) which produces an electrical signal proportional to the concentration of nitrogen, carbon, hydrogen, and sulphur (CN elemental analyser, 2020).

### **3.4. Data analysis**

To determine differences between selected species and by type of wood of geographical zones, the analysis of variance will be carried out followed by a comparison of means with the method of minimum significant difference. The details of the final ranking of species and subsequent laboratory trials will be the subject of this research.

### **4. Expected outcomes**

This study will establish baseline data on the native tree species for energy production. This point is very important on the grounds that the native tree species is more resistant to the natural enemies than exotic species accordingly they can address the issue related with pest effect on the some current energetic plantation species in the study area. Moreover, it will contribute to the knowledge on the importance of biomass quality assessment for energy production and make it as basis for selecting energy plantation species on one side and on the other side to inform the beneficiaries and stockholders about suitability of selected tree species as feedstock for various energy conversion processes. Furthermore, will help us to identify the energy content of biomass raw material for different geographical zone and possibility of exploiting them locally and globally based on their energetic properties. And restore a large area of marginal site that need long-term of solution with tree species that have favourable growing characteristics. This will ensure a sustainable and efficient biomass feedstock supply to meet the future energy need and conserve the biodiversity.

### **5. Acknowledgements**

The described work was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

### **References**

- Domalski, E., Jobe, T. and Milne, T.:** “Thermodynamic Data for Biomass Conversion and Waste Incineration.” Paper prepared for Solar Technical Information Programme, U.S. Department of Energy, published 19 August 1986 p. 2-3. (1986)
- Da silva, Dimas Agostinho, Elder Eloy, Braulio Otomar Caron, Paulo Fernando Trugilho.:** “Elemental Chemical Composition of Forest Biomass at Different Ages for Energy Purposes Floresta Ambient.” Floresta e Ambiente Journal for Wood Science and Technology Open Access published 26 April 2019 p. 2/11. (2019)

- Deák, Zsuzsanna, Árpád Ferencz.:** “Financial Feasibility of Short Rotation Energy Crops in Hungary: A case Study.” Pallas Athene University, Kecskemét, Hungary. Published 20 June 2017 p. 42. (2017)
- En.wikipedia.org.:** “Geography of Sudan.” online Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Geography\\_of\\_Sudan](https://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_Sudan) (2020)
- FAO.:** “The Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping (WISDOM).” analysis was carried out in the framework of the Sudan Institutional Capacity Programme: Food Security Information for Action (SIFSIA) FAO OSRO/SUD/620/MUL Open Access, published April 2012 p. 3-5. (2012)
- FAO.:** “Global Forest Resources Assessment.” Progress towards sustainable forest management. Forestry Paper 147, published 2005 p. 30. (2005)
- Galik, Christopher S., Robert Abt, and Yun Wu.:** “Forest Biomass Supply in the South-eastern United States-Implications for Industrial Round wood and Bioenergy Production.” Journal of Forestry, published March 2009 p. 1-2. (2009)
- Gonçalves, Ana Cristina, Isabel Malico, Adélia M. O. Sousa.:** “Solid Biomass from Forest Trees to Energy.” Renewable Resources and Biorefineries Open Access Peer-reviewed chapter published 5 November 2018 p. 5. (2018)
- General Instrumentation.:** “CN Elemental Analyzer.” Available at: <https://www.ru.nl/science/gi/facilities-activities/elemental-analysis/cn-elemental>. (2020)
- Geography and climate, eugo.gov.hu.:** Retrieved 9 November 2020, from <http://eugo.gov.hu/key-facts-about-hungary/geography-and-climate>. (2020)
- Mononen, Kirsi, Sari Pitkänen.:** “Sustainable Fuelwood Management in West Africa.” research undertaken as part of a project, Building Biocarbon and Rural Development in West Africa (BIODEV), University of Eastern Finland, published August 2016 p. 10. (2016)
- Neves TA, Protásio TP, Couto AM, Trugilho PF, Silva VO, Vieira CMM.:** “Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. Pesquisa Florestal Brasileira.” Brazilian Journal of Forestry Research Published 28 December 2011 p. 320. (2011)
- Omer, AM.:** “Agricultural Residues for Future Energy Option in Sudan:An Analysis.” Ann Adv Chem published 13 July 2018 p. 017-031. (2018)
- Pelkonen, Paavo, Mika Mustonen, Antti Asikainen, Gustaf Egnell, Promode Kany, Sylvain Leduc and Davide Pettenella.:** “Forest bioenergy for Europe.” what science can tell us series, European Forest Institute, published 2014 p. 15-17. (2014)
- Quyen T. V., Nagy S., Faitli J., Csőke B.:** Determination of radial pressure distribution on the wall of the press channel of a novel biomass single die pelletiser. EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS Open Access, published 17 August 2020 p. 12. (2020)

- Sántha, Eszter, Niclas Scott Bentsen.:** “Ecosystem Service Benefits and Trade-Offs—Selecting Tree Species in Denmark for Bioenergy Production.” *Forest Ecology and Management*, Open Access Article, published 28 February 2020 p. 2/17. (2020)
- Thomas, Seifert.:** “Bioenergy from Wood: Sustainable Production in the Tropics.” *Managing Forest Ecosystems*, Book Chapter 8, published 2014 p. 169-175. (2014)
- Vágvölgyi, Andrea, Bálint Heil, Gábor Kovács.:** “Development trends of woody energy plantations in Hungary.” project sponsored by the EU and European Social Foundation 2012, 0068 p. 7. (2012)
- Vágvölgyi, Andrea.** “The Present Situation of Energy Forest Plantations in Hungary—Alternatives of Operation and Exploitation.” PhD dissertation 2013. (2013)

Agarwal Charu\*, Pásztor Zoltán

*Innovation Center, University of Sopron, Sopron 9400, Hungary*

*\*Corresponding author email: charu.agarwal3@gmail.com*

## **TIP-ENHANCED RAMAN SPECTROSCOPY FOR NANOSCALE CHARACTERIZATION OF MATERIALS**

### **ABSTRACT**

Tip Enhanced Raman Spectroscopy (TERS) is a super-resolution analytical imaging technique that combines Raman spectroscopy and scanning probe microscopy. TERS has been used as a chemical characterization tool in a wide range of applications including materials science, chemical engineering and biology. This review explains TERS, while focusing on its various applications.

### **1. INTRODUCTION- CONCEPT AND PRINCIPLES**

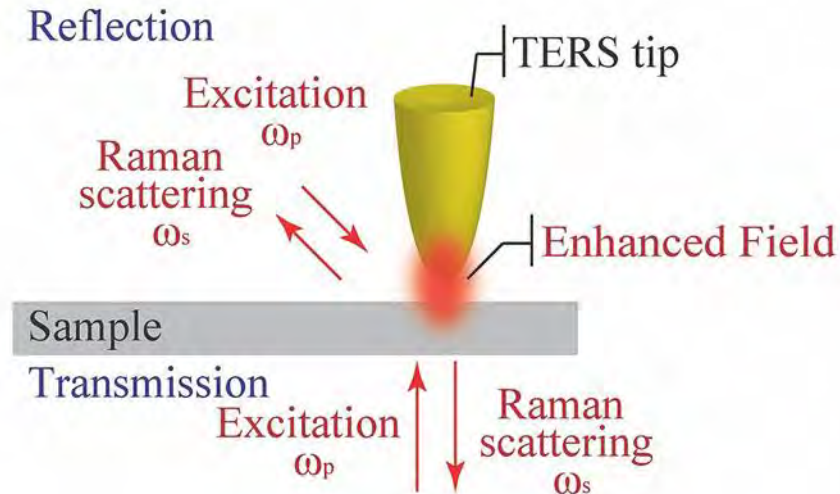
Tip Enhanced Raman Spectroscopy (TERS) has been a powerful microscopy technique for nanoscale characterization with growing applications ever since its inception in 2000 (1). The single nanoparticle at the probe or the tip generates a highly intense, evanescent field at the apex that interacts with the sample, as shown in Figure 1. The conventional Raman spectroscopy faces two major obstacles- low sensitivity and limited spatial resolution. The low sensitivity can be overcome by using surface-enhanced Raman scattering (SERS), where a strong electromagnetic field is generated on irradiating noble metal nanoparticles with a wavelength of light matching the plasmon resonance of the TERS tip. The limited resolution can be overcome by TERS that integrates the specificity of Raman spectroscopy with the nanoscale resolution of an atomic force microscope (AFM) by increasing the incident electromagnetic field by several orders of magnitude using the plasmonic nanostructures. A single plasmonic probe tip serves as both a Raman signal enhancing unit and a topography scanner (2).

TERS gives detailed information on the chemical composition including the molecular structure or conformation, defects, purity, etc. in a sample. A TERS system uses a metallic tip (gold or silver) that greatly enhances the Raman sensitivity (by a factor of  $10^3$ - $10^7$ ) and reduces the probed volume of the test specimen to the nanoregion right below the tip (3).

### **2. INSTRUMENTATION**

The AFM/Raman platform combines AFM with a confocal Raman spectrometer through an opto-mechanical coupling, which brings the excitation laser to the tip, while the spectrometer analyzes the Raman signal, thus producing an image with nanometer scale chemical contrast. There are two different configurations for this coupling- in transmission and reflection modes, with their own advantages and drawbacks. The configurations mainly differ by the irradiation patterns of the TERS tip (4,5). In bottom-illumination configuration, the laser beam is focused from the bottom through a transparent substrate (glass or mica) with a high numerical aperture (NA) objective ( $NA \geq 1.4$ ), giving a high signal-to-noise ratio. In side illumination, the laser is incident on the sample at an angle of  $45$ – $70^\circ$ , from the TERS tip. Top illumination enables asymmetric focusing that is tighter than that of side illumination with the help of a microscope objective ( $NA=0.7$ ) or a parabolic mirror ( $NA=1$ ).

The integrated platform can provide physical sample information at the nanometer scale, including topography, hardness, adhesion, friction, surface potential, electrical and thermal conductivity, temperature and piezo response, electrochemistry, along with the chemical information obtained from Raman spectroscopy and photoluminescence (6).



*Figure 1*

**TERS configurations in reflection and transmission modes (Source: Horiba)**



*Figure 2*

**AFM/Raman platform (Source: Horiba)**

### 3. APPLICATIONS

TERS has been explored for a plethora of diverse applications ranging from material science to complex molecular biology (7,8). The following are some of the most interesting and recent applications of TERS (7,9,10):

**a. Microbes:** The structural composition of disease causing pathogens such as bacteria and viruses can be probed with TERS, which can facilitate the investigation of host-pathogen interactions, formation of biofilms and bacterial pathogenesis.

**b. Biomolecules:** Complex biological systems such as those with lipid membranes can be analyzed with TERS to provide a label-free measurement of molecular distribution on the cell membrane at the nanoscale and to gain insights into the molecular dynamics. Similarly, nucleic acids can be tested to identify or confirm their structure.

**c. Proteins:** The high sensitivity and spatial resolution of TERS can be used to investigate protein structures. It can assign marker bands for proteins and track their distribution in complex biological specimens.

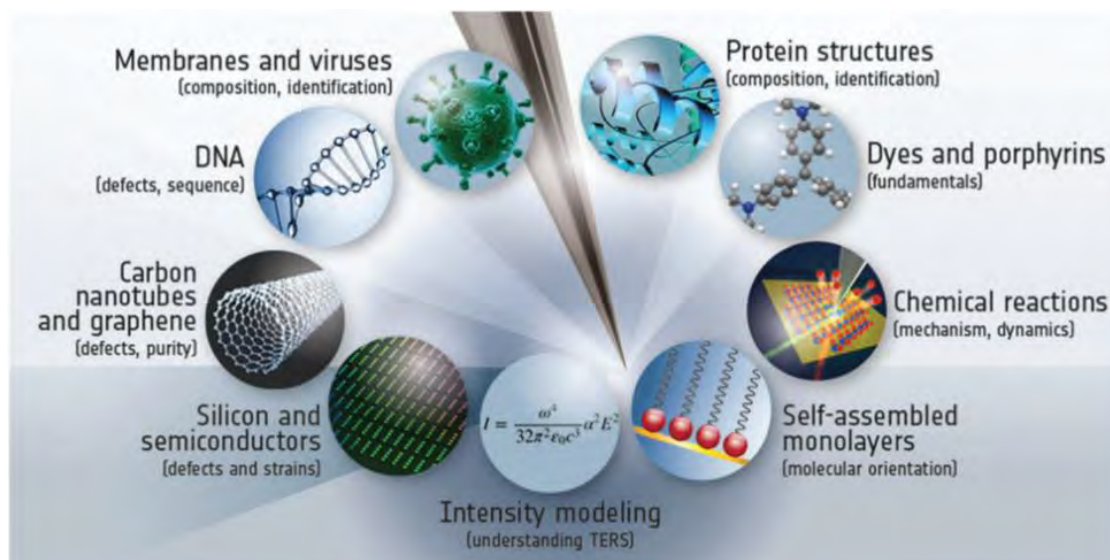
**d. Catalysis:** TERS can be used for monitoring chemical reactions as well as molecular dynamics occurring at catalytic sites with nanoscale resolution. Recent studies have paved the way for the use of TERS for investigating heterogeneous catalytic reactions on solid-liquid and solid-gas interfaces.

**e. Polymer blends:** The surface of the polymer blends can be studied using TERS to reveal sub-surface information and information on the interfaces between the polymer blend components with a nanoscale resolution.

**f. Semiconductors:** TERS can play a crucial role in the chemical characterization of semiconductors such as silicon. The TERS tip induces a depolarization in the near-field, thus allowing separation of the distant-field signal contribution (polarized) from the near-field signal (depolarized).

**g. Other materials:** One-dimensional materials such as carbon nanotubes have been extensively investigated using TERS mapping to study the structural details including the fraction of crystalline and amorphous regions. TERS has also been employed to study other 1-D materials like CdSe and GaN nanowires. Similarly, 2-D materials have also been tested using TERS, a prominent example among them being graphene. The presence of defects, edges, and contaminated areas within graphene can be identified with sub-diffraction-limited resolution of TERS, which otherwise cannot be resolved using confocal Raman spectroscopy.





**Figure 3**

**Various applications of TERS [Reproduced with permission from ref. (2) © 2017 RSC publisher]**

## SUMMARY

In the past two decades, TERS has emerged as an effective label-free nondestructive tool for nanoscale chemical and structural characterization of material surfaces. It brings together the conventional Raman spectrometer with a scanning probe microscope, such as AFM on a single platform. TERS is an ambient technique and does not require high vacuum or cryogenic conditions for its operation and can be applied in air and liquid environments. The high sensitivity and nanoscale spatial resolution have made TERS an immensely sought-after technique for a myriad of applications. TERS has been extensively employed for the investigation of carbon nanotubes, graphene, semiconductors as well as various biological species such as proteins, lipids, nucleic acids, etc. Recent developments focus on the in situ use of TERS to monitor the chemical reactions, and derive information on the mechanisms and dynamics of the reactions.

## ACKNOWLEDGEMENT

The work was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

1. Zhang Z, Sheng S, Wang R, Sun M. Tip-enhanced Raman spectroscopy. *Anal Chem.* 2016;88(19):9328–46. Available from: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.analchem.6b02093>
2. Deckert-Gaudig T, Taguchi A, Kawata S, Deckert V. Tip-enhanced Raman spectroscopy—from early developments to recent advances. *Chem Soc Rev.* 2017;46(13):4077–110. Available from: <http://dx.doi.org/10.1039/C7CS00209B>
3. Richard-Lacroix M, Zhang Y, Dong Z, Deckert V. Mastering high resolution tip-enhanced Raman spectroscopy: towards a shift of perception. *Chem Soc Rev.* 2017;46(13):3922–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1039/c7cs00203c>

4. Bonhommeau S, Lecomte S. Tip-enhanced Raman spectroscopy: a tool for nanoscale chemical and structural characterization of biomolecules. *ChemPhysChem*. 2018;19(1):8–18. Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/cphc.201701067>
5. Yeo BS, Stadler J, Schmid T, Zenobi R, Zhang W. Tip-enhanced Raman spectroscopy - its status, challenges and future directions. *Chem Phys Lett*. 2009;472(1–3):1–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cplett.2009.02.023>
6. Wang X, Huang SC, Huang TX, Su HS, Zhong JH, Zeng ZC, et al. Tip-enhanced Raman spectroscopy for surfaces and interfaces. *Chem Soc Rev*. 2017;46(13):4020–41. Available from: <http://dx.doi.org/10.1039/C7CS00206H>
7. Kumar N, Mignuzzi S, Su W, Roy D. Tip-enhanced Raman spectroscopy: principles and applications. *EPJ Tech Instrum*. 2015;2(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1140/epjti/s40485-015-0019-5>
8. Shao F, Zenobi R. Tip-enhanced Raman spectroscopy: principles, practice, and applications to nanospectroscopic imaging of 2D materials. *Anal Bioanal Chem*. 2019;411(1):37–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00216-018-1392-0>
9. Verma P. Tip-enhanced Raman spectroscopy: technique and recent advances. *Chem Rev*. 2017;117(9):6447–66. Available from: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00821>
10. Voylov DN, Bocharova V, Lavrik N V., Vlassiouk I, Polizos G, Volodin A, et al. Noncontact tip-enhanced Raman spectroscopy for nanomaterials and biomedical applications. *Nanoscale Adv*. 2019;1(9):3392–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1039/c9na00322c>

Nurbanu Yanar

*Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing,  
University of Miskolc, Hungary*

## **LAB-SCALE INVESTIGATION OF RAMAN SPECTROSCOPY FOR PLASTICS RECYCLING**

### **ABSTRACT**

Our society is now faced with the environmental and sustainability problems of the extensive usage of different plastic made goods and products. Raman spectrometry is a suitable option for waste plastic particles identification. Systematic tests have been carried out with a handheld Raman device for the identification of differently loaded plastic particles. Some real waste samples and mono-material plastic model pieces have been selected. These were polyamide (PA), polycarbonate (PC), polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET) and, light and dark-coloured acrylonitrile butadiene styrene (ABS), and polyvinyl chloride (PVC). A turning machine, a hammer mill and a cutting mill were used to load the samples before the identification. Raman spectra were detected and the so called feature: “matching percentage” was determined. Conclusions about the usability issues of the device have been drawn.

### **INTRODUCTION**

Plastics are indispensable part of our lives. We have been using plastics since 1950. The amounts of plastics consumed have grown since then, because of its beneficial properties such as strength, fabrication capabilities, durability, low weight, low density, low-cost, etc. (Subramanian, 2000). The identification and classification of plastics play a critical role in waste management and recycling processes. Sorting of plastics into categories is important due to the various characteristics that each resin types hold. Identification and classification methods of plastic wastes range from manual sorting to advanced automated technologies. The techniques are usually based on chemical, optical, electrical, or physical property differences between plastics such as different melting behaviour, rheology, and thermal stability (Scheirs, 1998). For example, some components may be melted while others remain solid in case of thermal processing (Scott, 1995). Automated sensor-based sorting is an established technology with applications in various processing operations. Automated waste sorting is expensive and not as common as manual sorting at the moment in developing countries. There are numerous automated sorting techniques for recovering various recyclable waste fractions such as metal, plastic, paper, glass, and wood. Direct sorting and indirect sorting are the two types of automated waste sorting techniques. Direct sorting techniques utilize material properties such as magnetic susceptibility, electrical conductivity, and density for heavy media separation by applying external fields like magnetic, eddy current, and gravity respectively (Gaustad et al., 2012; Mesina et al., 2003; Svoboda, 2004; Faitli et al., 2018; Faitli et al., 2019a and 2019b). On the other hand, indirect sorting applies sensors to detect the presence and the location of recyclables in the waste so that automated machines or robots can be employed to sort the detected recyclable materials (Gundupalli et al., 2017). Spectroscopy-based sorting is a subcategory of indirect automated sorting. The plastic waste sample is enlightened in spectroscopy-based techniques. The interaction between light and the sample is a unique set of wavelengths as the light gets reflected differently for each type of plastic

existing in the sample. There are various spectroscopy methods such as: infrared spectroscopy, mid-infrared spectroscopy, near-infrared spectroscopy, fourier-transform infrared spectroscopy, X-ray spectroscopy and, Raman spectroscopy. Sensors are used for reading the signature of reflected wavelengths from the target material. Afterwards, the material to be sorted out is determined by the processor unit (Gundupalli, et. al. 2017).

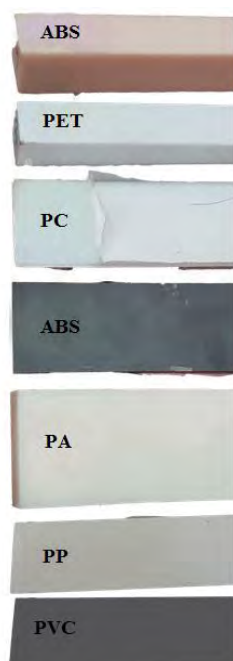
## **Operating Principles of Raman Spectroscopy**

When a sample is exposed to monochromatic light in a visible region, the sample absorbs light and, the major portion of the light gets transmitted through the sample. However, a minor part of the light is scattered by the sample in all the directions. One can observe the scattering at the right angle to the incident beam. The incident light has a particular frequency. If the scattered light has the frequency same as the incident light, then scattering is called Rayleigh scattering. However, it has been observed that about 1% of the total scattered intensity occurs at frequencies different from the incident frequency. This is called as Raman scattering. Raman scat can be thought of as a two-photon process. The electrons have different vibrational levels. They are defined by specific energy differences. When an incident monochromatic light interacts with an electron in the sample, the electron absorbs energy from the incident photon and it rises to a virtual state of energy. The energy transform is given by the formula  $E=h\nu$  where  $\nu$  is the frequency of the incident photon. The electron falls back to an energy level by losing energy. If the energy loss equals the energy of the incident photon, the electron falls back to its initial level and in this process emits another photon. Since the energy loss is equivalent to the energy of incident photon then released photon has the same frequency as the incident photon. As the frequency is the same, Rayleigh scattering occurs. However, sometimes electrons when losing energy from the virtual state, can fall back to a different vibrational level, in this case, the energy loss by the electron is different than the energy absorbed from the incident photon. As a result, the photon emitted by the electron has energy different than the incident photon. This is possible when the frequency of the emitted photon is different than the incident photon. This gives rise to Raman scattering. Depending on the final energy of the electron or final vibrational level of the electron, Raman scattering can be separated into Stokes scattering and Anti-Stokes scattering. If the frequency of the scattered photon is less than the incident photon, Stokes scattering is observed on Raman spectrum. This happens when the electron absorbs energy. Similarly, when the frequency of the emitted photon is greater than the incident photon, Anti-Stokes scattering is observed. This means that energy is released by the electron. By studying the spectra, one can identify the rotational levels and thus a particular molecule. Similarly, the intensity value of a particular Raman scattering helps to determine the concentration of a molecule in a sample. In this matter, quantitative analysis can be done. In all three types of scattering, an incident photon of energy  $h\nu$  raises the molecule from a vibrational state to one of the infinite numbers of virtual states located between the ground and the first electronic state. The type of scattering observed is dependent on how the molecule relaxes after excitation. Rayleigh scattering is by far the most common transition, due to the fact that no change has to occur in the vibrational state of the molecule. The anti-Stokes transition is the least common, as it requires the molecule to be vibrationally excited before the photon is incident upon it.

## **MATERIALS AND METHOD**

Polymers are large, complex molecules, yet their spectra may be relatively simple. Six different kinds of plastics were collected for laboratory measurements. All of the samples were flat. The samples were not cleaned before measurements, and in some cases, they were

notably dusty on their surfaces. The measurements of the black and grey coloured samples were not successful due to their colour, as a result of the absorption of the laser light by dark colours. Fig. 1 shows the model material samples.



Samples were;

- Polyamide (PA),
- Polycarbonate (PC),
- Polypropylene (PP),
- Polyethylene terephthalate (PET)
- Polyvinyl chloride (PVC) and,
- Acrylonitrile butadiene styrene (ABS).

*Figure 1. Original Model Plastic Samples*

Raman measurements were performed using a handheld Raman spectrometer, Progeny TM (Rigaku Raman Technologies, Wilmington, DE, USA), equipped with a 1064-nm CLASS 3b laser which emits beam between 30 - 490 milliwatts. Class 3b lasers are hazardous for eye exposure. They can heat skin and materials but are not considered a burn hazard.



#### **Laser Beam Properties:**

Properties: **Progeny 1064**

Power: **30-490 mW (Progeny LT 300mW max)**

Frequency: **1064 nm**

Lens focal length: **11 mm**

Focused spot diameter: **25 microns**

*Figure 2. Handheld Raman Spectrometer*

The Raman spectrometer was factory calibrated for wavenumber accuracy according to ASTM E1840-96 using benzonitrile and verified with cyclohexane and naphthalene. It has a user-selected calibration module based on a certified benzonitrile calibration standard. The

Instrument Calibration was run using a certified calibration sample standard (Benzonitrile) provided by the company to ensure that the instrument accurately collects and processes spectral data and resets its Certification Status. The benzonitrile standard was placed into the sample holder for the best result. The spectrometer passed the calibration test. To ensure the result, the Performance Verification test was performed and passed too.



*Figure 3. Samples after the turning machine process*

Mechanical processing, namely loading of the samples were carried out in a turning machine, a hammer mill and a cutting mill. A standard 3 kW power turning machine with vertical cutting tool shaft was used. A standard 4 kW hammer mill made by the Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing with four hammers and 10 mm openings size underneath screen was used. A 2.2 kW power, 1500 rpm rotor revolution and 129.5 mm cutting disc diameter Retsch cutting mill was also used.

## RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 shows the plastic chips produced by the turning machine.

Figure 4 shows samples which were used for the hammer mill experiment.



*Figure 4. Samples which were used for the hammer mill experiment*

The results of the measurements before and after the mechanical loading of the samples are as follows. Both measurements of the original samples and of the loaded samples have different codes. Settings were updated for each sample to be able to get the best spectrums. Codes and settings can be seen in Table 1. Figure 5 shows the measures spectra of tests PA.0 and PA.1 for comparison. Figure 6 compares the results of the PC.0 and PC.1 tests, while Figure 7 shows the measured spectra of the PP.0 and PP.1 tests.



Table 1

## Specifications of each measurement

| Sample and test identifier | Used Machinery  | Code    | MW  | Msec | Averages |
|----------------------------|-----------------|---------|-----|------|----------|
| ABS/black                  | -               | ABS.b.0 | 70  | 1500 | 5        |
| ABS/black                  | Turning Machine | ABS.b.1 | NA  | NA   | NA       |
| ABS/black                  | Cutting Mill    | ABS.b.2 | 35  | 2500 | 10       |
| ABS/cream                  | -               | ABS.c.0 | 490 | 3000 | 10       |
| ABS/cream                  | Turning Machine | ABS.c.1 | 490 | 3000 | 10       |
| ABS/cream                  | Hammer Mill     | ABS.c.2 | 275 | 4500 | 10       |
| PET                        | -               | PET.0   | 490 | 1500 | 10       |
| PET                        | Turning Machine | PET.1   | 490 | 1500 | 10       |
| PET                        | Cutting Mill    | PET.2   | 490 | 1500 | 10       |
| PC                         | -               | PC.0    | 490 | 1500 | 10       |
| PC                         | Turning Machine | PC.1    | 490 | 1500 | 10       |
| PC                         | Hammer mill     | PC.2    | 100 | 4500 | 10       |
| PC                         | Cutting Mill    | PC.3    | 490 | 4500 | 2        |
| PA                         | -               | PA.0    | 490 | 3000 | 10       |
| PA                         | Turning Machine | PA.1    | 490 | 3000 | 10       |
| PA                         | Cutting Mill    | PA.2    | 490 | 3000 | 10       |
| PP                         | -               | PP.0    | 300 | 3000 | 10       |
| PP                         | Turning Machine | PP.1    | 300 | 3000 | 10       |
| PP                         | Cutting Mill    | PP.2    | 300 | 3000 | 10       |
| PVC                        | -               | PVC.0   | NA  | NA   | NA       |
| PVC                        | Turning Machine | PVC.1   | 55  | 2500 | 10       |
| PVC                        | Cutting Mill    | PVC.2   | 55  | 2500 | 10       |

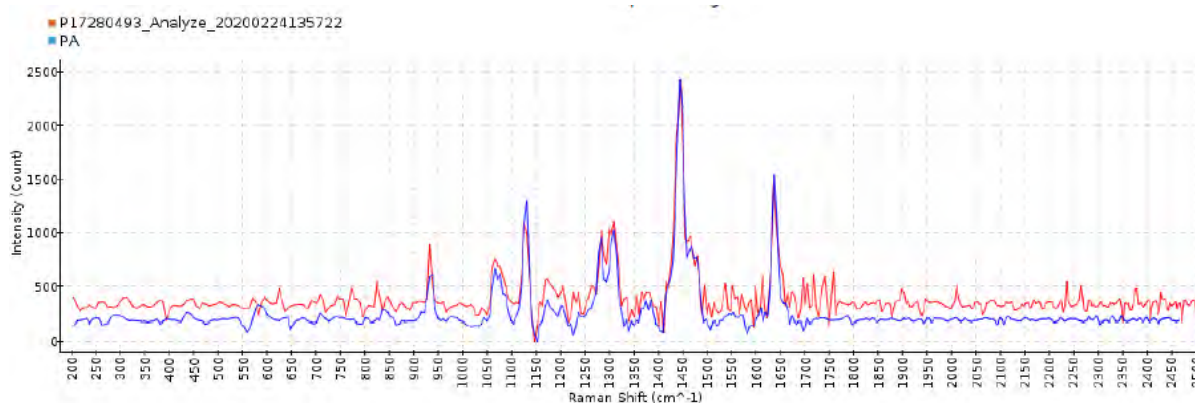
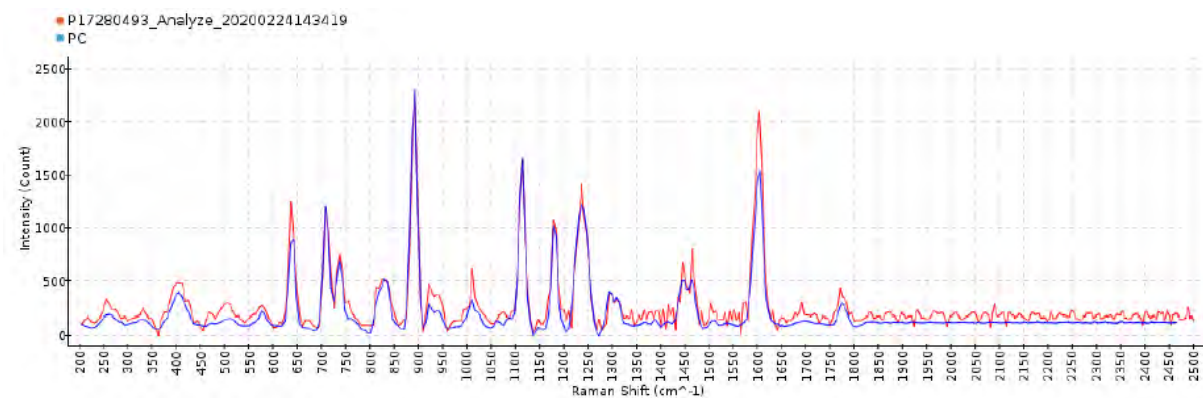
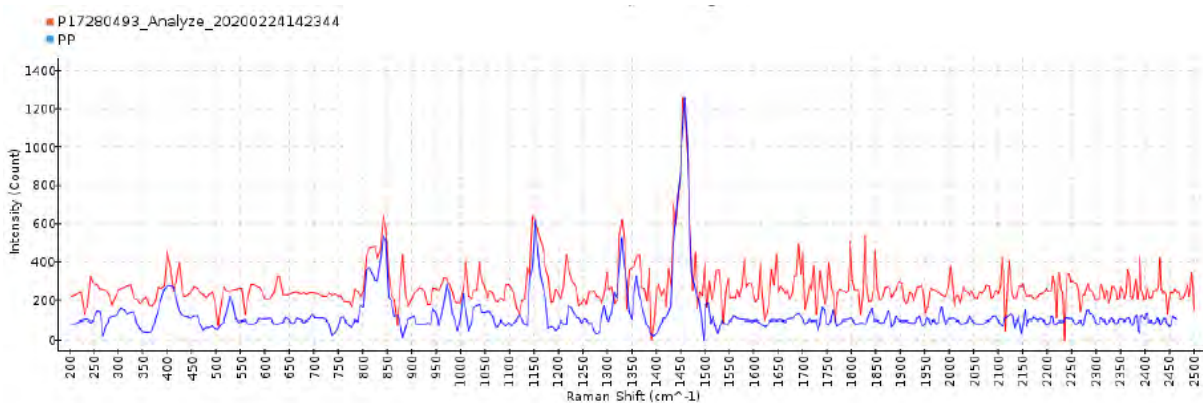


Figure 5. Comparison of PA.0 and PA.1



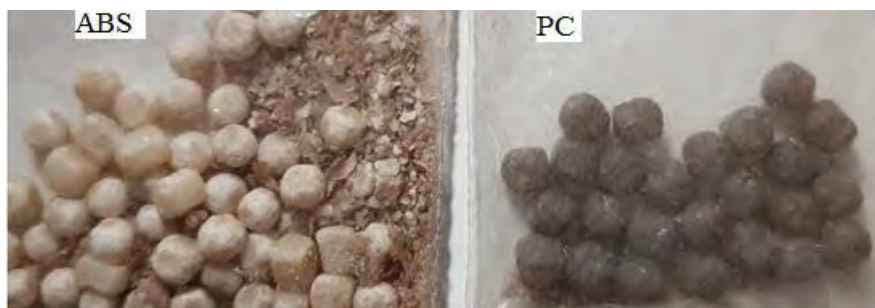
**Figure 6. Comparison of PC.0 and PC.1**



**Figure 7. Comparison of PP.0 and PP.1**

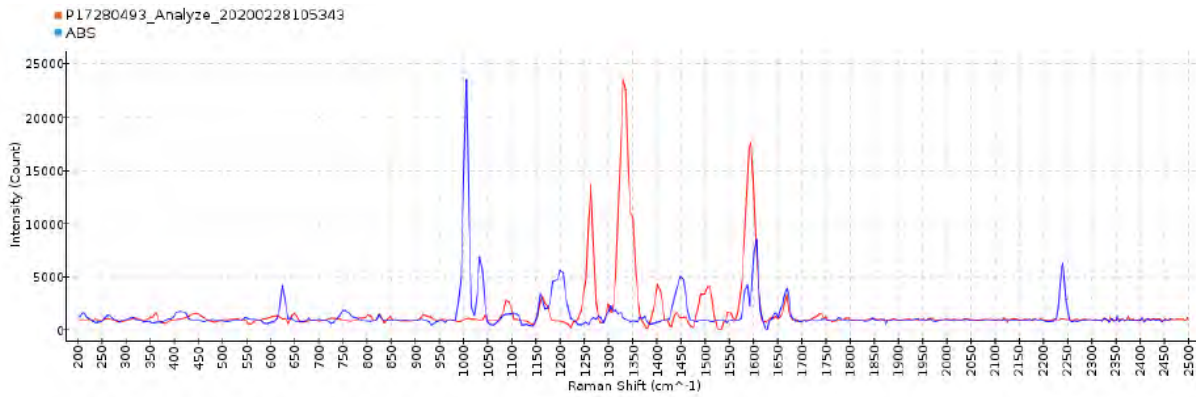
## Measurements of the Hammer Mill Process

Hammer mill can be used as a crusher for brittle materials. Since the polymers are elastic and not brittle materials, the cubic samples were only rounded on the edges, and they were burnt due to the heat that was produced by the hammer mill's rotation. Figure 8 shows the rounded ABS and PC particles after the hammer mill loading.



**Figure 8. Results of the hammer mill experiment**





*Figure 9. Comparison of ABS.c.0 and ABS.c.2*

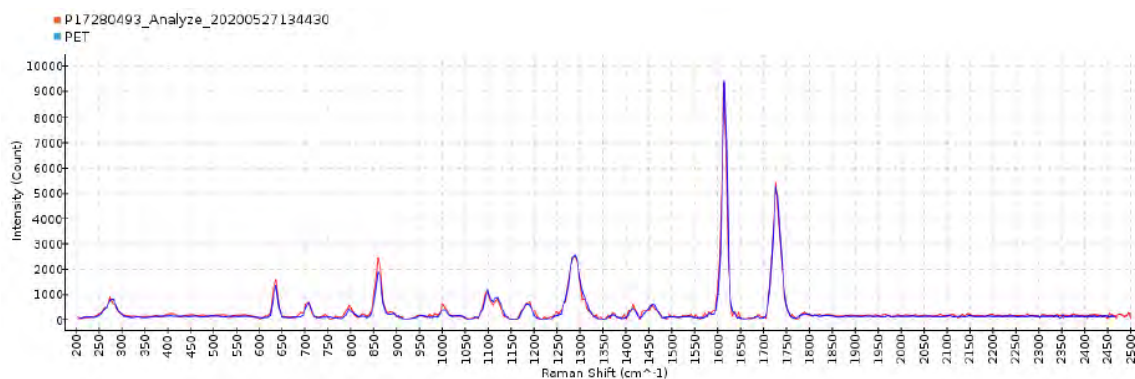
## Measurement of the Cutting Mill Process

The obtained comminution ratio of the PET was better than the other samples. In addition to this, the comparison of the original PET sample and the loaded sample shows a 99% match percentage. Figure 10 shows the samples of the PVC.1 and PVC.2 tests.



*Figure 10. PVC.1 and PVC.2*

Figure 11 shows the measured spectra of PET.0 and PET.2 tests.



*Figure 11. Comparison of PET.0 and PET.2*

Figure 12 shows the measured spectrum of the PVC.2 test.



*Figure 12. PVC.2*

ABS and PVC measurements weren't successful due to the noise. As Figure 12 indicates, signals of dark samples, black and grey, were very low in intensity and no polymer specific peak could be observed. This is a common phenomenon found in many spectroscopic techniques and is due to the absorption of the laser light by dark colours.

## CONCLUSION

This study shows that the Raman spectrophotometer can be used to identify numerous polymers of different colours by measuring their spectra and matching them with a library. The identification takes just a few seconds. Problems occur only when dark-coloured polymers have to be analysed. Such samples strongly absorb the spectrometer's laser light and thus, some polymer-specific peaks don't appear in the spectrum. Dark-coloured samples, therefore, cannot be identified by Raman spectroscopy.

Theoretically, the Raman bands should become broader as particle size gets smaller and it should decrease in intensity. Though, only the decrease in intensity was observed in this study. Raman spectroscopy is less sensitive to particle size than NIR. Regarding the recycling applicability of the used mechanical loading processes, the turning machine is not an option because it is used in machine production. The cutting mill is the best option for plastic wastes preparation since it has the capability to liberate any kind of polymer.

In respect to polymers used in this study, the best identification results were obtained with the PET sample, regarding the comminution ratio as well as the match of the original sample and the sample after the cutting process. For these reasons, Raman spectroscopy can be a second option to NIR and it can be used in terms of waste analysis and then recycling of PETs.

## ACKNOWLEDGEMENT

The described article was carried out as part of the "Sustainable Raw Material Management Thematic Network - RING 2017", EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 program. The realisation of these projects is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

- [1.] **V. Allen, J.H. Kalivas, R.G. Rodriguez:** Post-consumer plastic identification using Raman spectroscopy, *Appl. Spectrosc.* 53 pp. 672–681. (1999)
- [2.] **Buschow, K.J., Cahn, R.W., Flemings, M.C., Ilshner, B., Kramer, E.J. and Mahajan, S.:** *Encyclopedia of materials. Science and technology*, 1, p.11. (2001)

- [3.] **Dalm, M., Buxton, M.W., van Ruitenbeek, F.J. and Voncken, J.H.:** Application of near-infrared spectroscopy to sensor-based sorting of a porphyry copper ore. *Minerals Engineering*, 58, pp.7-16. (2014)
- [4.] **J, Faitli; B, Csóke; R, Romenda; Z, Nagy; S, Németh:** Developing the combined magnetic, electric and air flow (KLME) separator for RMSW processing. *WASTE MANAGEMENT & RESEARCH* 36 pp. 779-787. (2018)
- [5.] **Faitli, J; Nagy, S; Romenda, R; Gombkötő, I; Bokányi, L; Barna, L.:** Assessment of a residual municipal solid waste landfill for prospective 'landfill mining' *WASTE MANAGEMENT & RESEARCH* 29 Oct. p. 11 (2019a)
- [6.] **Faitli, J.; Romenda, R.:** Detailed Sampling Protocol for the Analysis of Residual Municipal Solid Wastes. In: K., Moustakas; M., Loizidou (eds.) *Proceedings of the 7th International Conference on Sustainable Solid Waste Management Herakleion, Görögország: Hellenic Mediterranean University, Paper: Session XXIII. paper 10., 10 p* (2019b)
- [7.] **Gaustad, G., Olivetti, E., Kirchain, R.:** Improving aluminium recycling: a survey of sorting and impurity removal technologies. *Resour. Conserv. Recycl.* 58, pp. 79–87. (2012)
- [8.] **Gundupalli, S.P., Hait, S. and Thakur, A.:** A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste management*, 60, pp.56-74. (2017)
- [9.] **Hopewell, J., Dvorak, R. and Kosior, E.:** Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), pp. 2115-2126. (2009)
- [10.] **Mesina, Catalina T., et al.** "Effects of attenuation correction and reconstruction method on PET activation studies." *Neuroimage* 20.2 pp. 898-908. (2003)
- [11.] **Niaounakis, M.:** Biopolymers: Reuse, Recycling, and Disposal. William Andrew. chapter 5. *Physical Recycling. Plastics Design Library*, pp. 1151–163. (2013)
- [12.] **Rutkowski, Joseph V., and Barbara C. Levin.** "Acrylonitrile–butadiene–styrene copolymers (ABS): Pyrolysis and combustion products and their toxicity—a review of the literature." *Fire and materials* 10.3-4 pp. 93-105. (1986)
- [13.] **Safavi, S.M., Masoumi, H., Mirian, S.S., Tabrizchi, M.,** “Sorting of polypropylene resins by colour in MSW using visible reflectance spectroscopy” *Waste Management* 30, pp. 2216-2222. (2010)
- [14.] **Scott, D. M.:** A Two-Colour Near-Infrared Sensor for Sorting Recycled Plastic Waste. *Measurement Science and Technology*, v6 n2, February, 156-159. (1995)
- [15.] **Scheirs, J.:** *Polymer Recycling*, Wiley Publication, (1998)
- [16.] **Scott, D. M.:** A Two-Colour Near-Infrared Sensor for Sorting Recycled Plastic Waste. *Measurement Science and Technology*, v6 n2, February, 156-159. (1995)
- [17.] **Svoboda, J.:** *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*. Springer. (2004)
- [18.] **P. M. Subramanian,** “Plastics recycling and waste management in the US,” *Resour. Conserv. Recycl.* 28, 253–263. (2000)

H. Sukmana<sup>1</sup> – C. Hodúr<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Doctoral School of Environmental Sciences, University of Szeged,  
H-6720 Szeged, Hungary*

<sup>2</sup> *Department of Process Engineering, University of Szeged, H-6725 Szeged, Hungary;  
hodur@mk.u-szeged.hu*

## **GRAIN/RICE HUSK AND GRAIN/RICE HUSK ASH UTILIZATION IN THE WASTEWATER TREATMENT**

**Abstract:** In Indonesia, the grain-dry-grain production of grain was about 54.60 million tons in 2019, however, it became  $\pm 64\%$  rice and  $\pm 36\%$  by-product. The rice husk is estimated to reach  $\pm 10.92$  million tonnes in 2019. In fact, the use of by-products from the rice mill process is still limited and sometimes becomes waste and pollutes the environment. Agriculture waste is one of the largest renewable resources in the world and is available in huge quantities. In this perspective, rice husk (RH) and rice husk ash (RHA), which is agriculture waste, are a potentially and invaluable source for use in wastewater treatment. RH and RHA have properties that provide excellent adsorption and coagulation ability due to the presence of carboxyl and silanol groups. The RH and RHA are potential as a material for treatment oily content in the wastewater. The industrial process such as palm oil, olive oil, sunflower oil etc. generates a lot of oily contents to wastewater, forming pollution. The RH and RHA as a potential adsorbent and coagulant would be as a potential solution for mitigation of pollution. It gives a good base to compare the removable effectiveness with other grain derives.

**Keywords:** agriculture waste, oily content, rice husk, rice husk ash.

### **1. INTRODUCTION**

Indonesia is the fourth-largest rice producer in the world with rice production reaching 34 million metric tons in 2019/2020 (Foreign Agricultural Service, 2020). In Indonesia, the grain-dry-grain production of grain was about 54.60 million tons in 2019, however, it became  $\pm 64\%$  rice and  $\pm 36\%$  by-product. The by-product from rice mill processes such as rice husk (RH) (15-20%), bran (8-12%), and rice groat ( $\pm 5\%$ ) (Central Bureau of Statistics of Indonesia, 2018). Thus, the estimation of rice husk in 2019 reaches  $\pm 10.92$  million tons. The utilization of agriculture waste such as rice husk from the rice mill process is still limited, sometimes becomes waste and pollutes the environment (Central Bureau of Statistics of Indonesia, 2018).

Agriculture waste is one of the foremost abundant renewable resources in the world and available in a huge amount (Adegoke and Bello, 2015), becoming a source of porous materials that is rich in active functional groups (da Rocha et al., 2020). Today, research about material from a natural resource for wastewater treatment is still under development, one of the potential resources is agriculture waste. Agriculture waste could become new material for wastewater treatment which is low-cost, efficient, and environmentally friendly.

The RH is an agriculture waste that could be utilized in wastewater treatment. RH is insoluble in water, having a granular structure, advanced mechanical quality, and chemical stability, making it a potential material for wastewater treatment. RH and rice husk ash (RHA) have properties that provide excellent adsorption and coagulation ability due to the presence of carboxyl and silanol groups (Ahmaruzzaman and Gupta, 2011). The RH is burnt ~20 wt% to produce the ash, RHA has more than 95 wt% of silica with advanced porosity and a huge surface range since it retains a cellular structure skeleton (Ahmaruzzaman and Gupta, 2011).

The industrial process such as palm oil, olive oil, sunflower oil, etc. generates a lot of oily contents to wastewater, forming pollution. Oily content is a harmful waste that is discharged into the environment. The concentration and physical nature of the oily content and the droplet sizes affect the removal of oily in wastewater (Coca-Prados and Gutiérrez-Cervelló, 2010). The wastewater treatment methods for the oil industry among others are biological, chemical, or a combination of both (Kontos et al., 2014). For instance, the advanced treatment of palm oil mill effluent (POME) includes advanced oxidation process (AOP)-photocatalysis, coagulation-flocculation (CF), membrane filtration, and adsorption (Yashni et al., 2020).

The adsorption is a wastewater treatment method with a simple design and lower processing cost (Cai et al., 2019), and also an excellent approach for the removal of organic pollutants (de Tuesta et al., 2018). Adsorption uses organic materials (Martini et al., 2020) as a wastewater treatment method which is environmentally friendly. Coagulation is a simple and effective treatment method that could be used in industrial wastewater (dos Santos et al., 2018). The coagulation process has an essential function in wastewater treatment for reclamation or removed pollutants (Ang and Mohammad, 2020). The natural coagulant is an environmentally friendly green product, unlike chemical coagulants that could affect human health and the environment (Othmani et al., 2020).

The number of researches RH and RHA for wastewater treatment is still limited. RH and RHA as a potential adsorbent and coagulant would be a potential solution for mitigation of pollution. This study aimed to find out the removable effectiveness of RH and RHA in the wastewater and compare it with other grain derives.

## 2. LITERATURE REVIEW

The use of RH and RHA as a bio-adsorbent for wastewater has been done in some previous researches. In the research by (Elham et al., 2010) the RH utilization in the dairy wastewater for adsorption of Pb (II) and Zn (II) ions. The result shows that removing Pb (II) and Zn (II) was

achieved at 96.8% and 70%, respectively. Besides, in a study by (Sharma et al., 2010) RH and RHA use for adsorption of methylene blue in aqueous waste. The higher capacities for removal of methylene blue by adjusting pH around 7, time of 30 minutes, and temperature setting of 323°K.

The modification of RH or RHA was conducted by (Phan et al., 2019) Triamine-activated rice husk ash (TRI-ARHA) is a potential bio-adsorbent for nitrate and other anions removal. The TRI-ARHA shows a nitrate adsorption capacity ( $>160 \text{ mgNO}_3^-/\text{g}$ ) compared to the anion exchange resin akulite A420 ( $\sim 80 \text{ mgNO}_3^-/\text{g}$ ), with 10 cycles of adsorption-desorption. In the research conducted by (Mor et al., 2016) using the activated rice husk ash (ARHA) for removal of phosphate in wastewater and water. The ARHA would enhance of adsorption capacity for phosphate with maximum removal of 89% with pH 7, 2 g/L dose, and time of 120 minutes.

Besides, in an investigation of (Wongjunda and Saueprasearsit, 2010) the rice husk ash (RHA) and modified rice husk ash (MRHA) using for adsorption of Cr (VI). The result shows adsorption ability of RHA and MRHA of 59.12% and 81.39% at pH 2 with room temperature, contact time is 180 minutes, adsorbent size 250-500  $\mu\text{m}$ , speed of agitation is 120 rpm, dosage of adsorbent is 40 g/L and concentration of Cr (VI) is 10 mg/L also, the adsorption capacity of RHA and MRHA was 0.49 mg/g and 0.84 mg/g, respectively.

The several bio-adsorbent from natural resource has been studied for removed pollutants in wastewater. For instance, a study was conducted by (Bellahsen et al., 2020) using bio-adsorbent from the banana peel, compost, bark, wheat husk, wheat bran, sugar beet pulp and pomegranate peel for adsorption of ammonium. The result shows pomegranate peel powder (PPP) could remove ammonium of 97% at a dosage of adsorbent is 400 mg, pH 4 and the speed of stirring is 100 rpm, however, other materials showed a negative and low adsorption ability.

Other than that, bio-coagulant from RH/RHA or other grains has been studied in some previous researches. In the research (Huzir et al., 2019) RHA as a potential bio-coagulant for palm oil mill effluent (POME) treatment with optimum conditions was pH 3.6, 6.0 g with a time of 57 minutes. The results show RHA could remove the total suspended solids (TSS) and chemical oxygen demand (COD) up to 83.88% and 52.38%, respectively.

A research was conducted by (Jagaba et al., 2020) using *Moringa oleifera* as a bio-coagulant to compare with a chemical coagulant. The result shows the dosage optimum of *Moringa oleifera* obtained 2000 mg/L for removing turbidity, oil & grease, TSS, COD, Colour, and  $\text{NH}_3\text{-N}$ . (Ahmad et al., 2015) reported the pre-treatment for POME using *Moringa oleifera* and chitosan as a bio-coagulant combined with the integrated membrane. The result shows percentage of recovery for turbidity value 20 NTU obtained 78%. Other than that, a study by (Nikam et al., 2012) shows the effectivity of *Moringa oleifera* as a bio-coagulant for reduction turbidity in wastewater. The percentage of reduction of turbidity obtained 32.52% with an optimum dosage of 10 mg/L.

Furthermore, in the research by (Kim et al., 2020) *Trigonella foenum-graecum* (fenugreek) as a bio-coagulant and *Hibiscus esculentus* (okra) as a bio-flocculant for treatment of POME. The

optimum conditions of removal percentages for TSS, COD, and turbidity were found in a dosage of fenugreek is 4.6 g/L, a dosage of okra is 40 ml/500 ml POME, pH 4, and speed of mixing is 155 rpm. The results from fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy show fenugreek and okra have properties that provide excellent coagulation-flocculation ability due to the presence of polysaccharides groups.

Besides, in a study by (Shak and Wu, 2015) *Cassia obtusifolia* seed gum as a bio-coagulant with alum application for treatment of POME. The optimum conditions using response surface methodology (RSM) were found in a dosage of alum is 1.15 g/L, a dosage of *Cassia obtusifolia* seed gum is 2.47 g/L, and settling time of 35.16 minutes. The removal percentages for COD and TSS up to 48.22% and 81.58%, respectively.

### 3. CONCLUSION

The RH and RHA are potential materials for use in wastewater treatment. The previous study showed RH and RHA as an alternative of bio-adsorbent and bio-coagulant has effectiveness for removing pollutants in the wastewater. RH and RHA could be compared with other grains as a base study for further research in the future.

### 4. REFERENCES

1. Adegoke, Kayode Adesina, and Olugbenga Solomon Bello. "Dye Sequestration Using Agricultural Wastes as Adsorbents." *Water Resources and Industry*, vol. 12, Elsevier, 2015, pp. 8–24.
2. Ahmad, A. L., et al. "Reclamation from Palm Oil Mill Effluent Using an Integrated Zero Discharge Membrane-Based Process." *Polish Journal of Chemical Technology*, vol. 17, no. 4, Sciendo, 2015, pp. 49–55.
3. Ahmaruzzaman, M., and Vinod K. Gupta. "Rice Husk and Its Ash as Low-Cost Adsorbents in Water and Wastewater Treatment." *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 50, no. 24, ACS Publications, 2011, pp. 13589–613.
4. Ang, Wei Lun, and Abdul Wahab Mohammad. "State of the Art and Sustainability of Natural Coagulants in Water and Wastewater Treatment." *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, 2020, p. 121267.
5. Bellahsen, N., et al. "Pomegranate Peel as a New Low-Cost Adsorbent for Ammonium Removal." *International Journal of Environmental Science and Technology*, Springer, 2020, pp. 1–12.
6. Cai, Lu, et al. "Effective Adsorption of Diesel Oil by Crab-Shell-Derived Biochar Nanomaterials." *Materials*, vol. 12, no. 2, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2019, p. 236.
7. Central Bureau of Statistics of Indonesia. *The Guidebook Supervisor or Investigator for Survey of Conversion of Grain to Rice*. Catalog BPS:1404045, 2018.
8. Coca-Prados, José, and Gemma Gutiérrez-Cervelló. *Water Purification and Management*. Springer, 2010.

9. da Rocha, Hérica D., et al. "Use of PMMA/(Rice Husk Ash)/Polypyrrole Membranes for the Removal of Dyes and Heavy Metal Ions." *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Elsevier, 2020.
10. de Tuesta, Jose L. Diaz, et al. "Removal of Sudan IV from a Simulated Biphasic Oily Wastewater by Using Lipophilic Carbon Adsorbents." *Chemical Engineering Journal*, vol. 347, Elsevier, 2018, pp. 963–71.
11. dos Santos, Jordana Dorca, et al. "Use of Different Coagulants for Cassava Processing Wastewater Treatment." *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 6, no. 2, Elsevier, 2018, pp. 1821–27.
12. Elham, Asrari, et al. "Removal of Zn (II) and Pb (II) Ions Using Rice Husk in Food Industrial Wastewater." *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 14, no. 4, 2010.
13. Foreign Agricultural Service. "Rice." *USDA*, Oct. 2020, pp. 7–24, <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain-rice.pdf>.
14. Huzir, Nurhamieza Md, et al. "Optimization of Coagulation-Flocculation Process for the Palm Oil Mill Effluent Treatment by Using Rice Husk Ash." *Industrial Crops and Products*, vol. 139, Elsevier, 2019, p. 111482.
15. Jagaba, A. H., et al. "Sustainable Use of Natural and Chemical Coagulants for Contaminants Removal from Palm Oil Mill Effluent: A Comparative Analysis." *Ain Shams Engineering Journal*, Elsevier, 2020.
16. Kim, Isabelle Tay Sui, et al. "Fenugreek Seeds and Okra for the Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME)—Characterization Studies and Modeling with Backpropagation Feedforward Neural Network (BFNN)." *Journal of Water Process Engineering*, vol. 37, Elsevier, 2020, p. 101500.
17. Kontos, S. S., et al. "Removal and Recovery of Phenolic Compounds from Olive Mill Wastewater by Cooling Crystallization." *Chemical Engineering Journal*, vol. 251, Elsevier, 2014, pp. 319–28.
18. Martini, Sri, et al. "Modified Eucalyptus Bark as a Sorbent for Simultaneous Removal of COD, Oil, and Cr (III) from Industrial Wastewater." *Alexandria Engineering Journal*, Elsevier, 2020.
19. Mor, Suman, et al. "Application of Agro-Waste Rice Husk Ash for the Removal of Phosphate from the Wastewater." *Journal of Cleaner Production*, vol. 129, Elsevier, 2016, pp. 673–80.
20. Nikam, S. A., et al. "Biocoagulant: For Waste Water Treatment." *Advances in Computational Sciences and Technology*, vol. 5, no. 2, 2012, pp. 111–17.
21. Othmani, Bouthaina, et al. "Toward Green Technology: A Review on Some Efficient Model Plant-based Coagulants/Flocculants for Freshwater and Wastewater Remediation." *Clean Technologies And Environmental Policy*, Springer, 2020.
22. Phan, Phuoc Toan, et al. "Triamine-Bearing Activated Rice Husk Ash as an Advanced Functional Material for Nitrate Removal from Aqueous Solution." *Water Science and Technology*, vol. 79, no. 5, IWA Publishing, 2019, pp. 850–56.
23. Shak, Katrina Pui Yee, and Ta Yeong Wu. "Optimized Use of Alum Together with Unmodified Cassia Obtusifolia Seed Gum as a Coagulant Aid in Treatment of Palm Oil Mill Effluent under Natural PH of Wastewater." *Industrial Crops and Products*, vol. 76, Elsevier, 2015, pp. 1169–78.



24. Sharma, Pankaj, et al. "Removal of Methylene Blue from Aqueous Waste Using Rice Husk and Rice Husk Ash." *Desalination*, vol. 259, no. 1–3, Elsevier, 2010, pp. 249–57.
25. Wongjunda, J., and P. Saueprasearsit. "Biosorption of Chromium (VI) Using Rice Husk Ash and Modified Rice Husk Ash." *Environmental Research Journal*, vol. 4, no. 3, Medwell Publishing, 2010, pp. 244–50.
26. Yashni, G., et al. "Conventional and Advanced Treatment Technologies for Palm Oil Mill Effluents: A Systematic Literature Review." *Journal of Dispersion Science and Technology*, Taylor & Francis, 2020, pp. 1–19.

SZIGONY János<sup>1</sup> – KONDOR Tamás<sup>1</sup> – VÉR Csaba<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Breuer Marcell Doktori Iskola,  
7624 Pécs, Boszorkány út 2.

<sup>2</sup>Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák  
Intézet, Környezetmérnök Tanszék, 7624 Pécs, Boszorkány út 2.

## INNOVATÍV MEGOLDÁSOK, TERMÉSZETES ANYAGOK A FENNTARTHATÓ ÉPÍTÉSZETBEN

### -SOLAR DECATHLON 2019-

Napjainkban számos szabályozási javaslat születik a környezettudatos építésre, egyre inkább előtérbe kerül az építés során felhasznált anyagok elő- és utóélete, annak környezetre gyakorolt hatása nem csak a burkolati anyagok szintjén, de a szerkezeti megoldások tekintetében is. A Solar Decathlon Europe építészeti innovációs verseny keretében létrehozott HUNGARIAN NEST+ project a fenntartható építészet tervezési és gyakorlati sajátosságait ötvözi. A ház prototípusának kidolgozásánál egy interdiszciplináris közeg dolgozott folyamatosan a fenntartható innovációs módszereken, ahol a környezettudatos anyaghasználat és az adaptálhatóság kiemelt jelentőséget kapott, mind a tervezésben, mind a kivitelezésben egyaránt. A meglévő épületállományaink rekultivációja éppúgy elengedhetetlen feladata lenne a jelen kor építészeteinek, mint a természetes építőanyagok fejlesztése és használata. A versenyépület egy családi ház prototípus, amely innovatív megoldásainak köszönhetően lehetőséget ad Magyarországon, a 20. század második felében elterjedt kádár-kocka épületeink újragondolására is. A produktum egy megvalósult könnyűszerkezetes épület adaptálhatósági lehetőségekkel, természetes anyaghasználatú szerkezetekkel, ősi és innovatív módszerek ötvözéséből létrehozott újító megoldásokkal.



1. ábra

Megvalósult versenyépület

## SOLAR DECATHLON '19 ÉS A FELÚJÍTHATÓSÁG KÉRDÉSE AZ ÉPÍTÉSZETBEN

A fenntartható, innovatív építészetet sok oldalról meg lehet közelíteni, sokféle képpen lehet törekedni a környezettudatos anyaghasználatra. Egy megvalósult projekt kapcsán vizsgálva a témát, nem csak elméleti képet kaphatunk adott rendszerekről, működőképességéről is visszaigazolást nyerhetünk. Nem beszélve arról, ha az épületet versenykörülmények között mérések alá vetik és összehasonlítják a versenytársak koncepcióival és az azokba épített innovációk adataival. A 2019-es Solar Decathlonra nevező SOMESHINE csapat versenyépületével pontosan ez történt, amely csapatnak sokadmagammal én is tagja lehettem.

A Solar Decathlon egy nemzetközi innovációs házépítő verseny, amelyet 2002-ben rendeztek meg először az Egyesült Államokban, Washingtonban, azóta rendszeresen megrendezésre kerül a kontinensen. A verseny sikereinek hála eljutott Dél-Amerikába, Ázsiába, a tavalyi évben első ízben Afrikába. Európában is többször bemutatkozhatott, 2019-ben Magyarország adhatott otthont a versenynek Szentendrén.

A verseny célkitűzése, hogy a hallgatók oktatói segítséggel, különböző cégekkel, támogatókkal, szakemberekkel együttműködve egy innovatív, energiatudatos ház hozzanak létre a fenntarthatóság jegyében, majd ezt a tervezési és előkészítési idő után a verseny keretében két hét alatt felépítsék. A feladat ekkor nem ér véget, a hallgatóknak a verseny további két hetes értékelése alatt működtetni kell a házat, miközben nemzetközi zsűri különböző méréseket hajt végre a házban a beépített rendszerek, megoldások hatékonyságát tesztelve. Természetesen az építészeti megjelenés is értékelésre kerül.

A Someshine csapat a nemzetközi mezőnynek a Hungarian Nest + projekttel vágott neki, amelyen három egyetem hallgatói dolgoztak, a Pécsi Tudományegyetem, a Miskolci Egyetem és egy algériai, a Blidai Egyetem. Megoldandó feladatként a csapat az 1950-es évektől, több mint 30 éven keresztül tömegesen épülő „Kádár kockák” felújítását tűzte ki célul. Magyarországon ebből a háztípusból több mint 800 000 darab található országszerte, amelyek mára felújításra, korszerűsítésre szorulnak. Térosztásaik, energetikai teljesítményük elavultnak számítanak, mindemellett tartószerkezeti rendszerük megfelelőnek mondható.

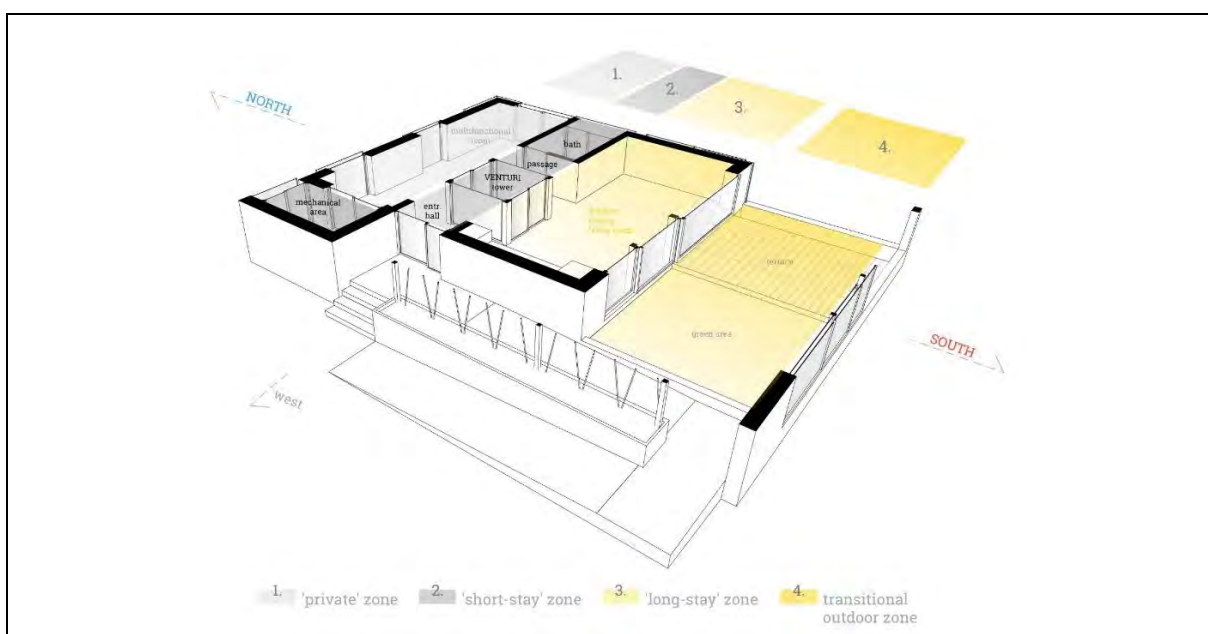
Mindenekelőtt, ha egy épületet fel szeretnénk újítani, számos szempontot figyelembe kell vennünk. Vizsgálunk kell az épület építészeti, társadalmi és gazdasági érdekeit is. Természetesen adódhatnak olyan helyszínek, igények és feladatok, melyek ellátását csak újjépítéssel lehet megvalósítani, de már azzal is sokat tehetünk a környezetünkért és a jövőnkért, ha adódó lehetőség esetén megfontoljuk a régi épület újjáépítését. Amennyiben az ellátni kívánt funkciónak megfelel a fellelt épület elhelyezkedése és pozíciója, úgy azután meg kell vizsgálni az állapotát és a szerkezetét, hogy alkalmasságát felmérjük az új kiszorgálandó feladathoz. Egy hasznosítható épület lebontása mindenképp kiadási költséget jelent, építési hulladék keletkezik melynek elszállítása és az új építőanyag előállítása is rengeteg energiába kerül, és nagy környezetkárosítással jár. A legoptimálisabb esetben a megvalósítani kívánt funkció és a fellelt épület képes egy teljes egységet alkotni, egymást erősíteni, ezáltal megvalósítva a teljes újragondolás folyamatát. A döntéshozatal metodikájában fontos az objektív és szubjektív értékrendszer vizsgálata, ezek szervezett rendszer szerinti mérlegelése szükséges a helyes, ésszerű rendszert képviselő és értékálló produktum létrehozásához.

Csapatunk a „Kádár-kockák” felújítását tűzte ki célul, mégpedig oly módon, hogy az elérhető modern technikát segítségül hívva, azt környezettudatos, innovatív eszközökkel támogatva gazdaságilag is kedvező koncepció születhessen meg.

## ÚJRAHASZNOSÍTÁS, ÚJRAGONDOLÁS, ÚJRAALKOTÁS

Az egész tervezési szemléletet végigkísérte az ökológiailag fenntartható rendszerek alkalmazása. A verseny kettőssége miatt igazán érdekessé vált a projekt azáltal, hogy ugyan egy felújítási koncepciót készült, a verseny sajátossága, előírása szerint az épületnek két hét alatt a helyszínen felépíthetőnek kellett lennie. Ez a tény kizárta a nedves technológiával készülő szerkezetek használatát, így egy új építésű, könnyűszerkezetes technológia biztosíthatta csak az időkorlát alatti kivitelezést. A produktum ezáltal új épületként építhető tervként jött létre, amely adaptálható a 20. század második felében Magyarországon tömegesen épülő házakra.

A kockaházak eredeti térosztását újraosztva a „zónázás” elméletét segítségül hívva, egy energetikailag jobban működő rendszer jött létre, passzív módon, csupán az alaprajzi rendszerek változtatásával. A tájolás figyelembe vételével, az átmeneti, privát, lakózónák megfelelő sorolásával a terek egymás pufferzónájaként válnak külön egységekké a termikus burkon belül.



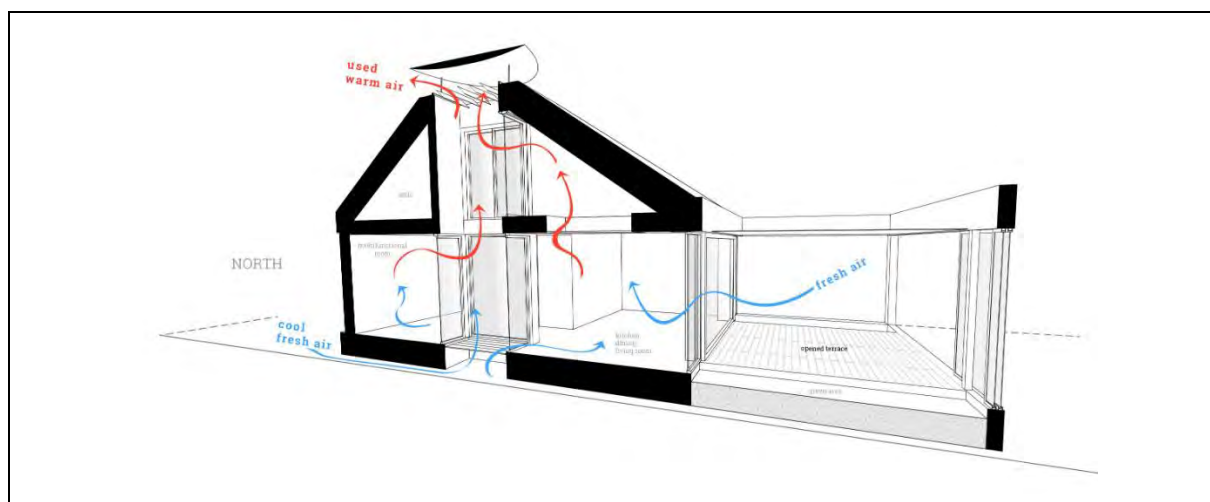
2. ábra

### „Zónázás” működési analízise

Úgy a primer, mint a szekunder szerkezetek esetében is fontos az újrahasznosított, természetes anyagok használata, ez nem csupán környezetünk védelme szempontjából fontos, de a mesterséges anyagok háttérbe szorítása a komfortérzetet is emeli. Egy felújítás esetén a meglévő jó állapotú szerkezetek a leinkább energiahatékonyak, mivel ezek legyártása nem jelentkezik többlet energia befektetésként, másrészt nem keletkezik az elbontásuk folytán bontási hulladék.

Az építési folyamat során keletkezik egy épület energiafelhasználásának, környezeti terhelésének egy meghatározó hányada, mégsem mehetünk el szó nélkül az üzemeltetési, karbantartási energiaszükségletek mellett. Nem elég, ha építés során törekszünk a környezettudatosságra, az épület élete során felhasznált energiaszükséglet nagyban csökkenthető beépített passzív rendszerek alkalmazásával. Üzemeltetés közbeni

energiafelhasználás nagyban függ a lakók épülethasználati kultúrájától, az automatizálási



3. ábra

### Passzív szellőzés (VENTURI torony) működési analízise

rendszerek hatékonyságától.

A projekt fenntarthatóságát innovatív anyagok, rendszerek segítségével fokozható. A különböző passzív rendszerek elve felfedezhető különböző tájak népi építészetében, ezen technikák átértelmezése, ötvözése modern anyagokkal, megoldásokkal felerősíti azok egyedülálló hatását. Az épületen beüli klíma természetes módon javítható mozgatható árnyékolók, passzív szellőztetés, Venturi torony, vályogvakolat alkalmazásával.

## SZERKEZETI ANYAGOK ÉS ÚJRAGONDOLÁSUK

A projekt szerkezetépítése fa keretvázis falpanelelkel valósul meg. A fa, mint természetes, megújuló anyag az élete során megkötött szén-dioxidot mindaddig megkötí, míg használatban van, azt csupán az égés, oxidáció szabadítja fel ismét. Az előregyártás, fapaneles rendszer gyors építést tesz lehetővé az előépítésnek köszönhetően, amely műhelyekben megvalósítva, környezeti hatásoktól védve történik, így az egész évben alkalmazható. Magasabb minőség létrehozását garantálja, így megnyújtva a primer szerkezet élettartamát a beépítést követően is. Az előre tervezhető vágási méretek kiszámításával minimalizálható a hulladék, amely fontos szempont nem csak gazdasági oldalról. Faanyag lévén használhatóak a különböző modern hosszoldási, rétegragasztási eljárások, amelyekkel kiejthetőek egyes fahibák, a fa gazdaságosabban felhasználható, a létrehozott szerkezet homogénebb tartósabb. Pontos szerkezeti méreteket biztosít. A panelben cellulóz hőszigetelés található, amely tulajdonképpen kezelt, összedarált, újrahasznosított papír, amely kiváló hőszigetelési értékekkel rendelkezik. A panelszerkezeten levő kiegészítő hőszigetelések különböző keménységű fagyapot alapú táblák felhasználásával készülnek.

A belső vakolt felületek burkolatát vályog látja el. Tartószerkezetként a vályog az elmúlt évtizedekben száműzött anyagként volt jelen, bár a 21.század elején közel 800 000 darab földépítésű házat tartottak számon. A kockaházak építésének kezdeti korszakában még ezen háztípusok is épületek vályog szerkezettel. A régen tartószerkezetként kezelt anyag, ma innovatív módon táblás elemként gyártva, vályogvakolattal ellátva, megőrzi a régi vályogszerkezet jó tulajdonságait, egy szerelt épületben is. Természetes, kitűnő páraakiegyenlítő, a nagyobb páratelhelés esetén elnyeli a nedvességet, száraz levegő esetén visszaadja a térnek, így javítva a



levegő minőséget, jó hőkomfortot biztosít, hőtárolásban is hasznos segítséget nyújt, amely kiemelten fontos egy könnyűszerkezetes épület esetében. Nem utolsó szempontból, viaszolással impregnálva, vízhatlan homogén felületet ad, így elhagyható a fürdőszoba burkolata egy természetes anyag segítségével.

A projekt nem csak egy egyedülálló mintaépületként kell kezelni, figyelemfelhívásként is, amely megmutatja, van lehetőség a fenntartható épületek fejlesztésében. Nem szabad elfeledni a régen, akár tapasztalati úton szerzett tudást az épületeket építése és üzemeltetése kapcsán sem, mert ezek a modern technikákkal összekapcsolva egy igazán innovatív rendszereket hívnak életre, amely a kulcsa lehet a jövő környezettudatos építkezésének.

Ugyanakkor lehetővé kell tenni, hogy különböző interdiszciplinák más-más aspektuspól vizsgálják a továbbfejlesztési, különböző megvalósíthatósági lehetőségeket. Fontosnak tartom a jövőbeni mérések, adatok összehasonlítását, különböző megvalósult épületek esetében is. Más szakterületek bevonásával fejleszthető, kitérhető azon látásmód, amely nem csupán szakmai, de a társadalmi szerepvállalást is megcélozná a jövőbeli épületek fenntarthatóvá tételére.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kara által, az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 számú, „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodás Tematikus Hálózat – RING 2017” című projekt keretében kiírt ösztöndíjpályázat segítségével valósulhatott meg.

## HIVATKOZÁSOK

1. **Mednyánszky Miklós.:** “VÁLYOGHÁZAK.” 2019, Terc.
2. **Solar Decathlon 2019**, Szentendre hivatalos honlap  
<http://sde2019.hu/index.html> [2020.10.05.]

Győrfi A. - Jakab A. R. - Leitol Cs. - Kiss T.

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék  
[leitol.csaba@mik.pte.hu](mailto:leitol.csaba@mik.pte.hu)*

## **MENNYISÉGI VÁLTOZÁSOK EGY LAKOSSÁGI VEGYES SZELEKTÍV HULLADÉKOT KEZELŐ KÉZI VÁLOGATÓMŰBEN**

### **ABSZTRAKT**

A kutatásunk során a szelektíven gyűjtött hulladék mennyiségi változásait figyeltük meg az üzem indulásától napjainkig. Vizsgáltuk, a begyűjtött és leválogatott mennyiségek alakulását, az évszakok ezekre gyakorolt hatásait, következtetéseket vontunk le az emberek szelektív hulladékgyűjtési szokásairól. A beérkező hulladék mennyisége lineárisan nőtt az évek során, azonban az évszakok váltakozásai egyértelmű mintát mutatnak a növekedés mellett is. Az eredmények azt mutatják, hogy a leválogatott haszonanyag legnagyobb részét a papír és műanyag teszi ki. A melegebb hónapokban megnő a papír, PET, alumínium mennyisége, mivel a hidegebb hónapokban az emberek hajlamosak elégetni a hulladékokat is. Egy anyagfajtánál figyelhető meg ellentétes változás, az üveg mennyisége a téli hónapokban a legtöbb a szilveszter és a karácsony hatására. A műanyag esetében a karácsony előtti időszakban van megnövekedett mennyiségi változás, valószínűsíthetően a vásárlás következtében keletkező csomagolóanyagok miatt.

### **BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS**

A mindennapi életben az emberek nagy mennyiségű műanyag hulladékot termelnek, ami komoly környezeti problémát jelent. [1] Az újrahasznosítható anyagok gyűjtési hatékonyságának fokozása érdekében elengedhetetlen a lakosok viselkedésének felmérése a különféle hulladékgyűjtő rendszerekkel kapcsolatban. [2]

A szelektív gyűjtésben részt vevő lakosság korától függően megfigyelhető, hogy jelenleg az idősebb korosztály hajlamos részt venni. Tehát figyelemfelhívó kampányokra van szükség összpontosítani a fiatalabb népességszektorra. Az egy főre jutó szelektíven összegyűjtött újrahasznosítható anyagok aránya növekedést mutat, ez a növekedés lassú, de pozitív, összehasonlítva más fejlettebb országokban tapasztaltakkal. [3] Az uniós országokban pozitívan befolyásolta a válogatási viselkedés, hogy az országok erőfeszítéseket tettek a hulladék csökkentése érdekében. Eközben az általános és személyes hulladékkezelés ismerete negatívan vagy jelentéktelen módon befolyásolta a válogatási magatartást. [4]

A szelektíven gyűjtött hulladék aránya az évek során azt jelzi, hogy a környezeti előnyök csak különálló ütemben növekednek. [5] A szilárd hulladék összetételének ingadozása nem jelentős a hulladék kategorizálása szempontjából, de bizonyos helyzetek vagy események következtében a hulladék egyes kategóriái növekedhetnek vagy csökkenhetnek. [6] December és január között megfigyelhető volt elektromos és elektronikus berendezések növekedése a szelektív hulladékban, valószínűleg a karácsony miatt. Ennek hatására szükséges karácsony előtt kampányokat tartani az embereknek az elektromos és elektronikus berendezések hulladékának helyes ártalmatlanításáról. [7]

A globális alkalmazások szempontjából a szelektív hulladék válogatás során egyre inkább a tudatosság az újrahasznosítható anyagok háztartási hulladékokból történő visszanyerésének szükségessége lesz fontos. [8] Az újrahasznosítható termékek kevesebb szennyeződése és a

felhasznált termékek magasabb visszanyerési aránya származik a letétbe helyezési rendszerekből, mint a telek melletti újrahasznosítási programokból; a betét-visszatérítésnél azonban az adminisztráció költsége magasabb, mint a telekparti gyűjtő rendszereknél. [2]

## ANYAGOK ÉS MÓDSZERTAN

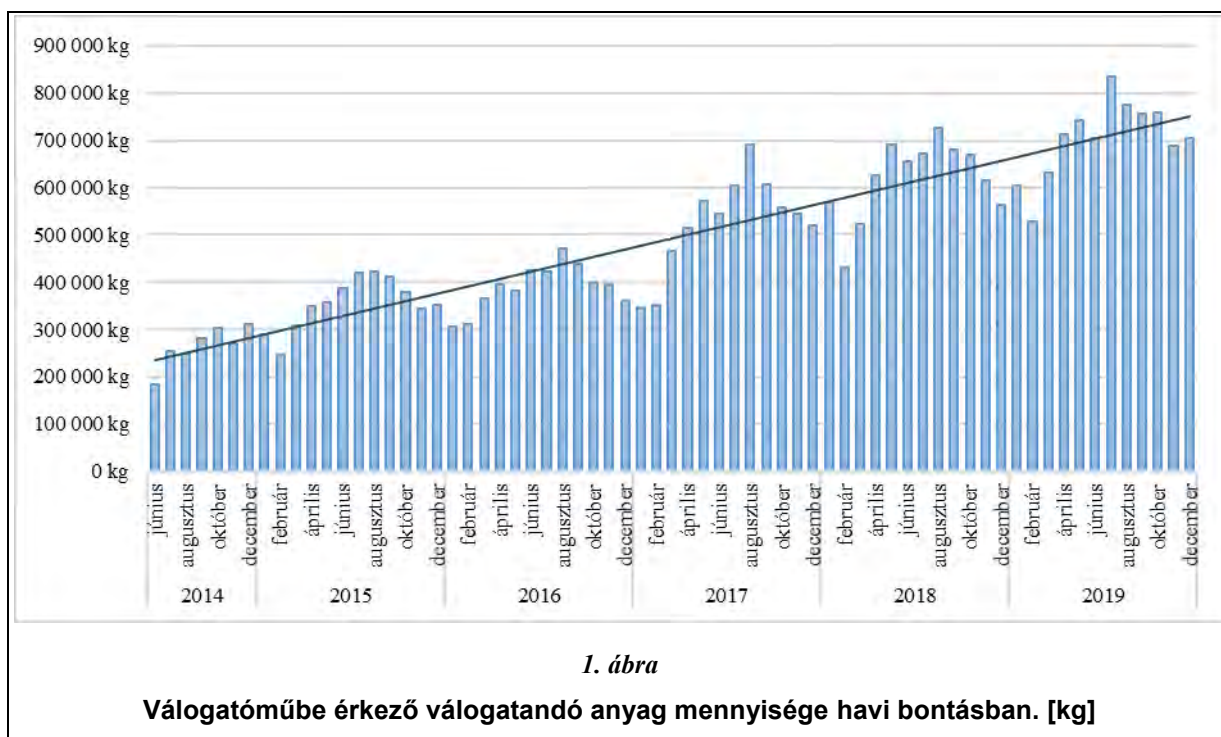
Adataink a Pécs-Kökenyi Regionális Hulladékkezelő Központ válogatóművéből származnak, ahol a lakosságtól szelektíven gyűjtött csomagolóanyagok kézi válogatása zajlik. A beérkező anyag három helyről érkezik az üzembe: társasházi kevert csomagolási gyűjtésből, családiházak kevert csomagolási gyűjtésből, és közterületi szigetes, papír és műanyag frakciókra bontott gyűjtésből. Elkülönített gyűjtésre kerül a szigetektől az üveg hulladék, ezzel külön nem foglalkoztunk a kutatás során.

A kézi válogatás párhuzamosan két kabinban történik, kisegítve dobostával a kis méretű anyagok leválasztására, illetve szalag feletti mágnessel, a mágnesezhető fémek leválasztására. A kézi válogatás során a következő anyagfajtákra bontják a szalagra keverten érkező anyagot: vegyes papír, karton, italoskarton, PET, LDPE, HDPE, vegyes műanyag, alumínium, vas, üveg, zavaró anyagok.

Az vizsgálat során a próbaüzem indulásától napjainkig, a 2014-től 2019-ig tartó adatokat vettük alapul. A válogatóműben nyilvántartott adatok alapján elemeztük az egyes anyagfajták mennyiségi változásait az idő előrehaladtával a különböző évszakokban. Az anyagok mennyiségét napi bontásban kaptuk meg, majd ezeket az adatokat összesítettük havi és évszakok szerinti mennyiségekre.

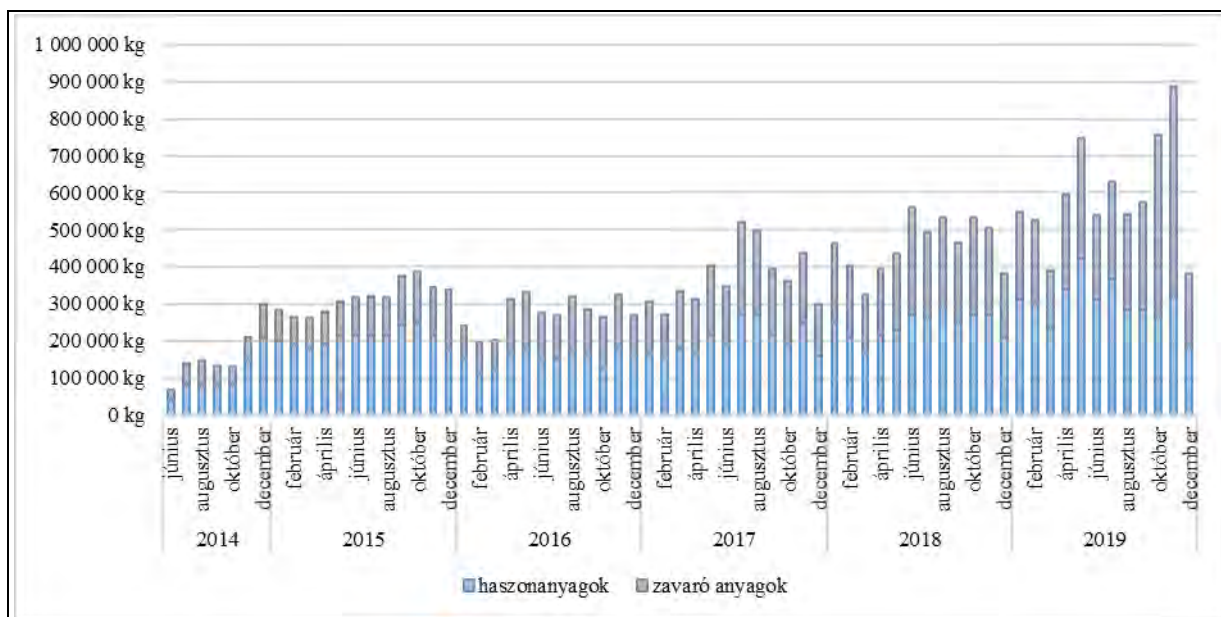
## EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉS

Az 1. ábrán látható a beérkező hulladék mennyisége, amely évről évre növekedett. Ez azt mutatja, hogy egyre több ember egyre nagyobb mennyiségben gyűjti szelektíven a hulladékát. A beérkező hulladék mennyisége a nyári hónapokban a legmagasabb, télen pedig a legalacsonyabb.



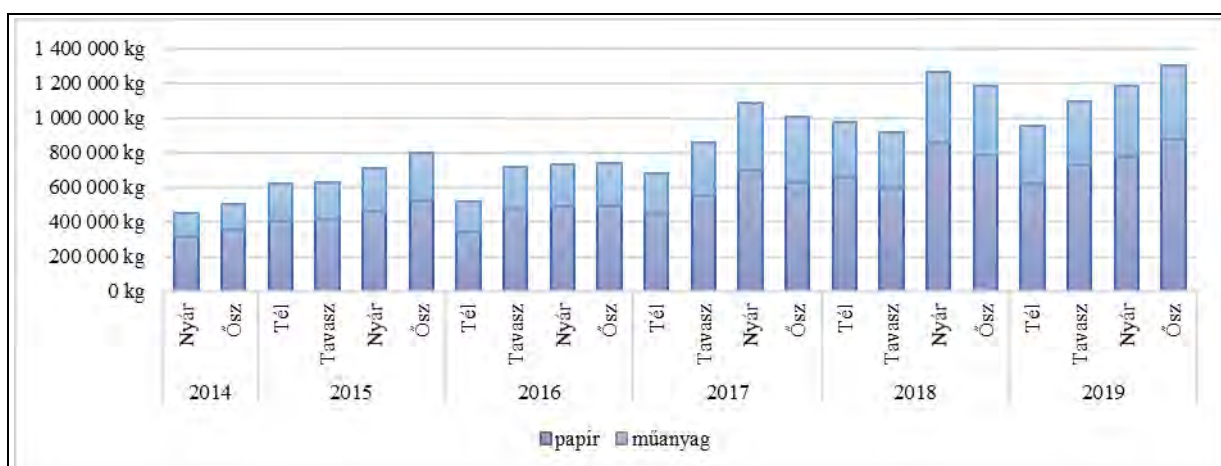


A 2. ábrán megfigyelhető a leválogatott haszonanyag mennyiségi növekedése, azonban az is látszik, hogy a haszonanyaggal együtt nőtt a zavaró anyagok mennyisége is. A válogatószalagról leszedett haszonanyagok közé tartozik a vegyes papír, karton, italoskarton, PET, LDPE, HDPE, vegyes műanyag, alumínium, vas, üveg. Utóbbi ugyan haszonanyagként szedik le, azonban a gyűjtési szabályok szerint nem szabad a kevert gyűjtőkbe dobni, így ezt elkülönítve tárolják. A válogatószalagról kézzel szednek le veszélyes és elektronikai hulladékot is, ezek a zavaró anyagok közé tartoznak. Ide soroltuk még a válogatási maradékot és a dobrosta által leválasztott kis szemcseméretű hulladékot is.



2. ábra

Leválogatott haszonanyagok és zavaró anyagok mennyiségei havi bontásban. [kg]

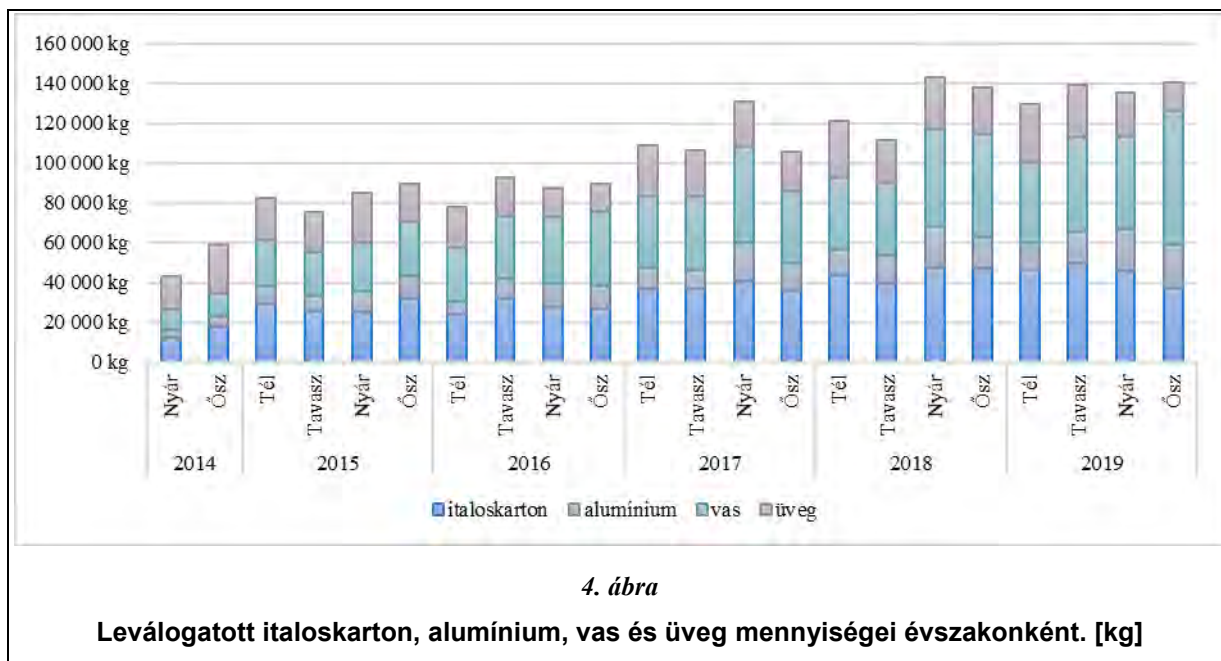


3. ábra

Leválogatott papír és műanyag mennyiségei évszakonként. [kg]

A feldolgozott haszonanyagban, legnagyobb mennyiségben a papír (vegyes papír és karton) és a műanyag (PET, LDPE, HDPE és vegyes műanyag) van jelen, ami a 3. ábrán látható. A papír leválogatott mennyisége 300.000 kg-ról 750.000 kg-ra, a műanyagé pedig

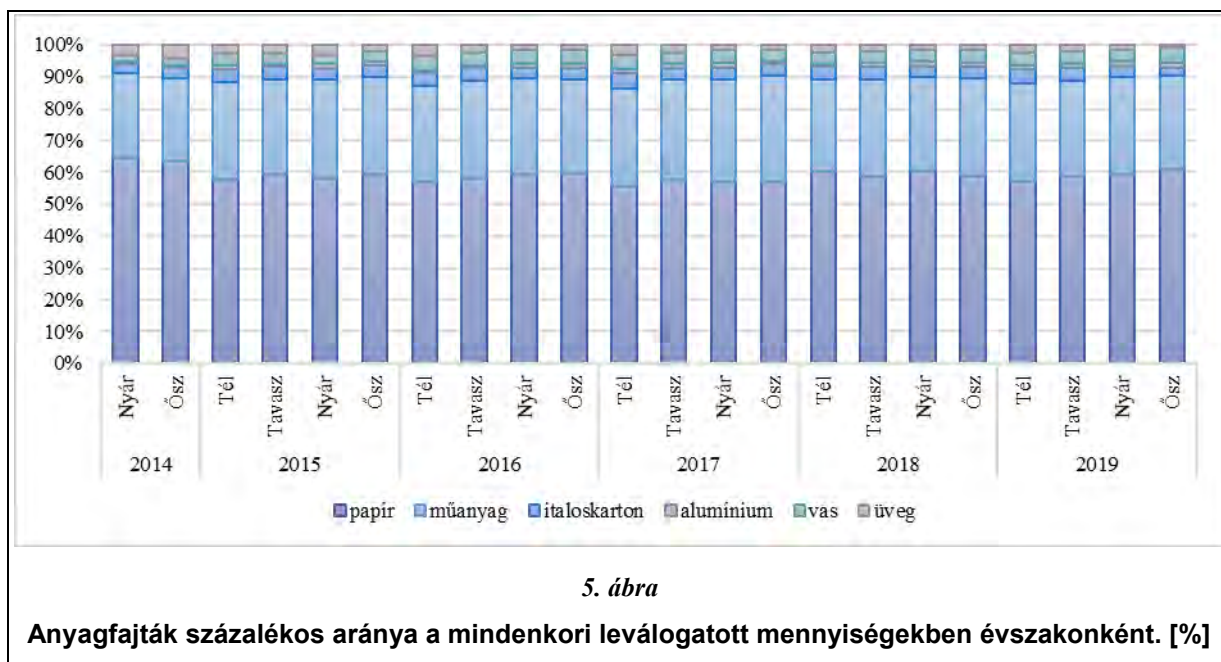
100.000 kg-ról 400.000 kg-ra növekedett az évek alatt. A 4. ábrával összevetve látszik, hogy a többi haszonanyag mennyisége egy nagyságrenddel kisebb, mint a papíré és a műanyagé. Az italoskarton évi átlagos mennyisége 15.000 kg-ról 45.000 kg-ra, az alumínium 5.000 kg-ról 20.000 kg-ra, a vas 10.000 kg-ról 60.000 kg-ra, az üveg 15.000 kg-ról 25.000 kg-ra növekedett.



4. ábra

Leválogatott italoskarton, alumínium, vas és üveg mennyiségei évszakonként. [kg]

Az 5. ábráról leolvasható, hogy a papír a mindenkor leválogatott haszonanyag-mennyiség 60%-át, a műanyag a 30%-át adja. A maradék 10%-ot teszi ki az italoskarton, az alumínium, a vas és az üveg.

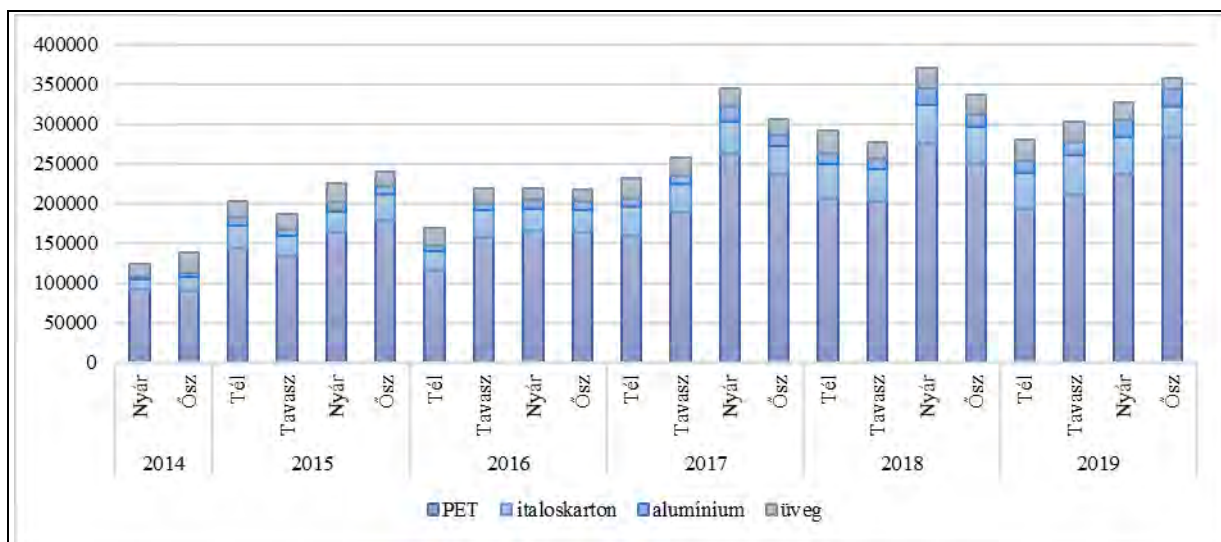


5. ábra

Anyagfajták százalékos aránya a mindenkor leválogatott mennyiségekben évszakonként. [%]

Az italok csomagolásához használt anyagok mennyiségét megfigyelve a 6. ábrán látható, hogy legnagyobb mennyiségben PET kerül visszagyűjtésre, és a meleg hónapok kiemelt

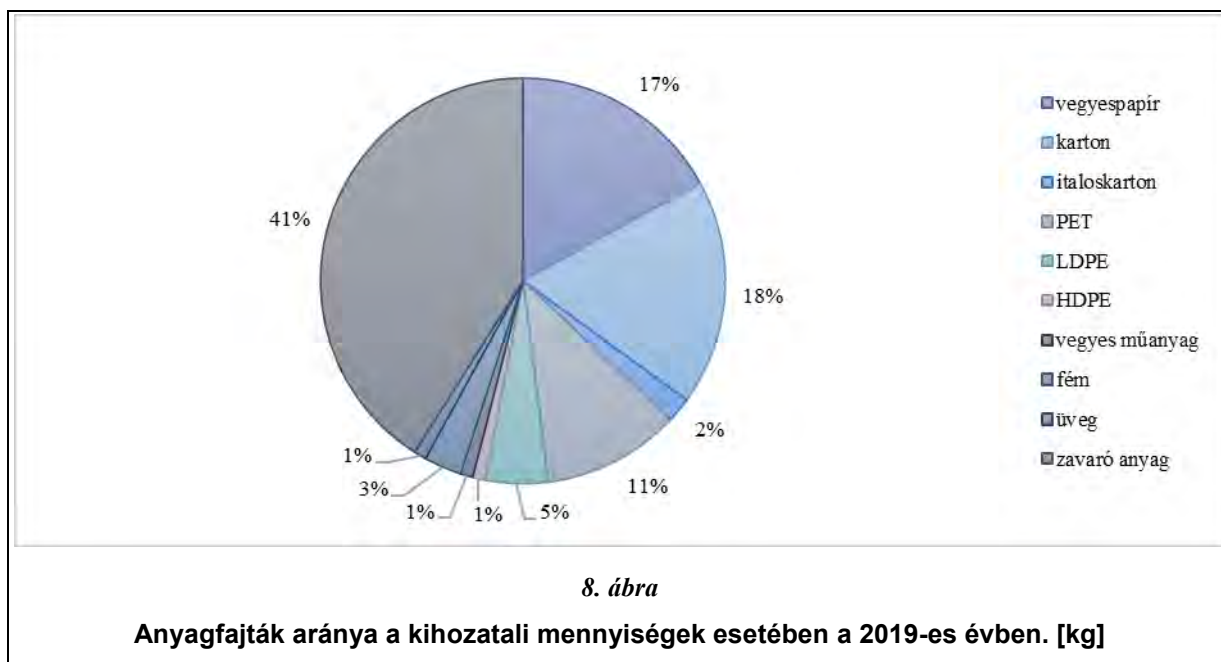
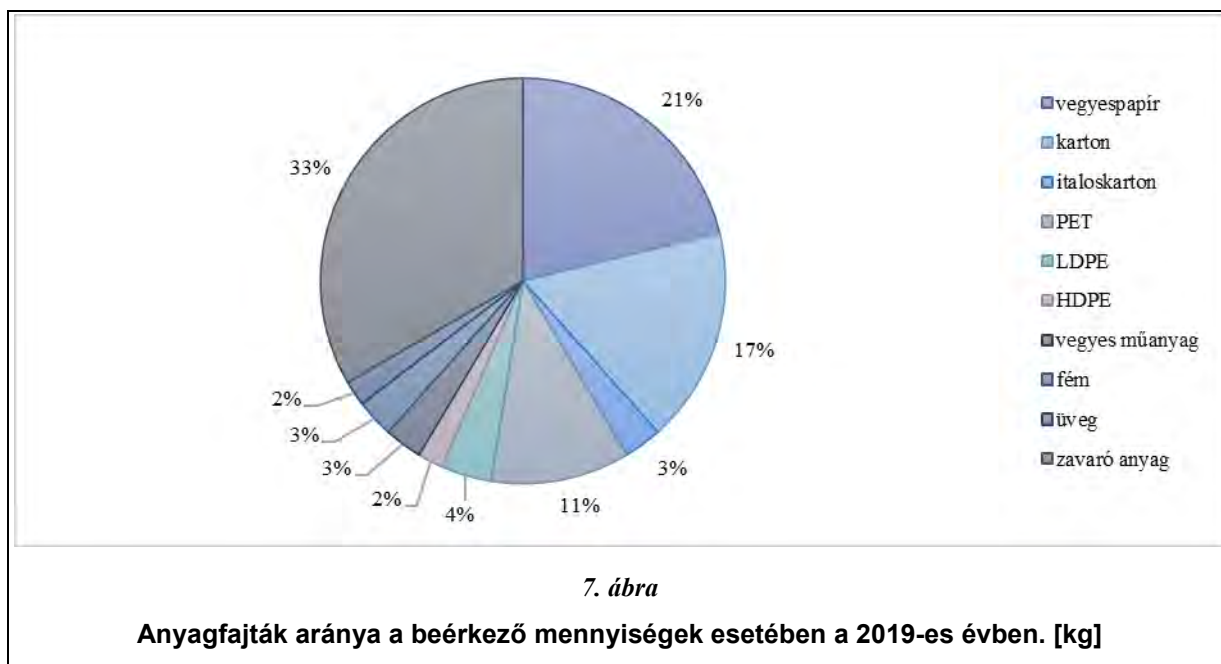
hatással vannak erre az anyagfajtára, ilyenkor 20-40%-kal több kerül leválogatásra belőle. Az alumínium is hasonló tendenciákat mutat, ennél az anyagnál 40-60%-kal több kerül leválogatásra a meleg hónapokban a hideg hónapokhoz képest. Az üveg mennyisége ezekkel ellentétben télen magasabb, átlagosan 20%-kal több kerül leválogatásra, mint a nyári hónapokban. Az italoskarton nem mutat szignifikáns különbségeket az évszakok vonatkozásában.



6. ábra

Italok csomagolásához használt anyagok mennyiségei évszakonként. [kg]

A 7. ábrán a beérkező anyagra általunk végzett összetételi elemzések láthatók, a 8. ábrán pedig a kihozatali mennyiségekből számolt összetételi mennyiségek találhatók. A két ábrát összehasonlítva látszik, hogy nincs jelentős különbség az általunk mért értékek és a válogatómű által jelentett értékek között. A haszonanyagoknál látható néhány százalékos eltérések a zavaró anyagoknál akkumulálódnak, mivel ennél a frakciónál található a különböző alkotóknál jelentős méretbeli és súlybéli eltérés.



## KÖVETKEZTETÉSEK

A megfigyelt anyagmennyiségekből megállapítható, hogy nyáron és ősszel kerülnek be a legmagasabb mennyiségek a válogatóműbe. A hidegebb hónapokban minden évben az év többi részéhez képest kevesebb mennyiség kerül begyűjtésre. Ennek oka lehet, hogy a szelektív hulladékban számos olyan anyag van, amelyet égési tulajdonságai miatt a lakhelyük függvényében az emberek esetlegesen eltűzelnek - például a papír és a műanyag - annak ellenére, hogy ezt ma Magyarországon jogszabály tiltja, és pénzbüntetéssel jár a tevékenység.

A leválogatott anyagok mennyiségei függenek az évszakok váltakozásától és a különböző eseményektől az év során (ünnepek, fesztiválok, nyaralás). Az üveg mennyisége minden évben a hidegebb hónapokban több, mint a melegebb hónapokban. A téli magasabb érték valószínűleg az ünnepek miatt van, ilyenkor több üveges italt fogyasztanak az emberek a kulturális szokások miatt. Az alumíniumnál és a PET-nél nyáron a legnagyobb a leválogatási

menyiség, ami a melegebb idő miatt lehetséges, mivel nyáron több előre palackozott/dobozolt ital fogy. Az italok csomagolásánál a kompozit anyagoknál nem figyelhető meg ugyan ez az összefüggés.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció az EFOP-3.6.2.-16-2017-00010 „Fenntartható nyersanyag gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése -RING 2017” projekt részeként valósul meg.

## HIVATKOZÁSOK

1. **Ruj, B.,** et al.: “Sorting of plastic waste for effective recycling” *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research* (2015) 4:4, 564-571.
2. **Mwanzaa, B.G.,** et al.: “The Influence of Waste Collection Systems on Resource Recovery: A Review” *Procedia Manufacturing* (2018) 21, 846-853.
3. **Ibáñez-Forésa, V.,** et al.: “Influence of implementing selective collection on municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study” *Resources, Conservation and Recycling* (2018) 134, 100-111.
4. **Minelgaité, A.,** et al.: “The problem of not waste sorting behaviour, comparison of waste sorters and non-sorters in European Union: Cross-cultural analysis” *Science of The Total Environment* (2019) 672, 174-182
5. **Ibáñez-Forésa, V.,** et al.: “Temporal evolution of the environmental performance of implementing selective collection in municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study” *Waste Management* (2018) 72, 65-77.
6. **Abdulredhaa, M.,** et al.: “The Development of a Waste Management System in Kerbala during Major Pilgrimage Events: Determination of Solid Waste Composition” *Procedia Engineering* (2017) 196, 779-784.
7. **Moura, J.M.B.M.,** et al.: “Gravimetric composition of the rejects coming from the segregation process of the municipal recyclable wastes” *Waste Management* (2018) 74, 98-109.
8. **Bonello, D.,** et al.: “An exploratory study on the automated sorting of commingled recyclable domestic waste” *Procedia Manufacturing* (2017) 11, 686-694.



Győrfi A. - Rostás A. K. - Leitöl Cs. - Kiss T.

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnöki Tanszék*

## **HULLADÉKBÓL SZÁRMAZTATOTT TÜZELŐANYAG NEHÉZFÉMTARTALMÁNAK VIZSGÁLATA**

### **ABSZTRAKT**

A fűtőerőművekre és a cementgyárakra vonatkozó környezeti jogszabályok egyre nagyobb szigorításokkal rendelkeznek. Ennek következtében megnőtt az igény a hulladékból származtatott másod-tüzelőanyag minőségének javítására. Az előállítónak érdekében áll a jelenleg működő technológiai fejlesztése, annak érdekében, hogy a tüzelőanyag jobb kihozatali aránnyal és jobb fizikai, kémiai - mint nedvességtartalom, fűtőérték, hamutartalom, klórtartalom, nehézfém-tartalom - tulajdonságokkal rendelkezzen. A kutatás során azt vizsgáltuk, hogy milyen összefüggések vannak a hulladékból származtatott tüzelőanyag szemcsemérete és nehézfém-tartalma között. A mérési eredmények azt mutatták, hogy a nehézfém koncentrációja és a szemcseméret között fordított arányosság van, azaz minél kisebb a tüzelőanyag szemcsemérete, annál nagyobb mennyiségben található benne a vizsgált elem. Azon minták esetében, amelyek ettől a tendenciától térnek el a hulladék összetétel inhomogenitása a magyarázat. A vizsgálatokból azt a következtetést lehet levonni, hogy a kisebb, mint 10 mm-es átmérőjű szemcseméret tartományban és a nagyobb, mint 40 mm-es frakcióban az összesített nehézfém-tartalom között mintegy 70%-os eltérés mutatható ki.

### **BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS**

Az Európai Unióban a hulladékgazdálkodás fő előírásait a hulladékról szóló 2008/98/EK irányelv tartalmazza. Gazdasági és környezeti szempontból fő irány a keletkező hulladék mennyiségének, illetve lerakásának és energetikai célú felhasználás nélküli égetésének csökkentése. [1] Európában, így Magyarországon is évről évre egyre több hulladék keletkezik. [2] A települési szilárd hulladék (TSZH) nagy része a mai napig deponálásra kerül annak ellenére, hogy ez a módszer a hulladékhierarchia legalsó szintje, amit a leginkább kerülni kellene. [3]

A hulladékoknak általánosságban háromféle hasznosítási módszerét alkalmazzák: újrahasználat, újrahasznosítás és energetikai hasznosítás. Előnyben részesítendő az anyagában való hasznosítás, ha ez nem lehetséges, akkor alkalmazandó az energetikai hasznosítás. [4] Hazánkban a keletkezett hulladék mennyiségnek csak mintegy a fele az, amit anyagában vagy energetikai céllal hasznosítanak. Utóbbi kategóriába tartozik a hulladékból származtatott tüzelőanyag hasznosítása égetéssel vagy együttégetéssel. A 2012. évi CLXXXV. törvény kimondja, hogy hulladékégető műben vagy hulladék-együttégető műben hulladékégetés vagy hulladék-együttégetés akkor engedélyezhető, ha az égetés vagy együttégetés elektromos-, illetve hőenergia termelésre irányul, vagy pedig cement-, téglá-, illetve építőipari cserép- és kerámiagyártásra. Hulladékégető műben vagy hulladék-együttégető műben égetni, vagy együtt égetni csak olyan hulladékot lehet, amely anyagában már nem hasznosítható. [5]

Számos tényezőtől függ a települési szilárd hulladékok összetétele, ilyen a lakosok fogyasztási szokásai, a település nagysága és elhelyezkedése. Jellemzően élelmiszermaradékokat, zöldség, gyümölcs héjat, csomagoló anyagokat (papír, műanyag), egyéb háztartási eszközöket, otthoni felújításokból származó bontási maradékot tartalmaz. [6] Ennek következtében a hulladékból származtatott tüzelőanyag (RDF/SRF) minősége igen

nagy változékonyságot mutat. A TSZH kezelésére szolgáló mechanikai technológiák három osztályba sorolhatóak: mechanikai-biológiai stabilizálás (MBS), mechanikai-fizikai stabilizálás (MFS) és mechanikai-biológiai hulladékkezelés (MBH). [7] Az MBH technológia legnagyobb előnye, hogy jól illeszkedik a hulladéklerakókról szóló 1999/31/EK irányelv céljaihoz. [8]. Ez a kezelési sor egy összetett folyamat, aminek az első lépcsője egy mechanikai-fizikai szétválasztás, melynek egyik kimenete a biológiailag lebomló anyagokban dús, kis szemcseméretű (általában <60-80 mm) frakció, mely biológiai kezelésre kerül, a másik kimenete pedig egy magas fűtőértékű, jó tüzeléstechnikai tulajdonságokkal bíró frakció (általában >60-80 mm), amely energetikai hasznosításra kerül. [9]

A mechanikai kezelőkben keletkezett RDF/SRF minősítésére és osztályozására vonatkozóan Magyarországon még nincsen jogszabály, ezért erre az MSZ EN 15359:2012 szabványt használják. Az SRF-et három fő paraméter alapján osztályozzuk, amelyek a fűtőérték, klór- és higanytartalom. A szabványban szerepel 12 nehézfém a kötelezően vizsgálandó komponensek között, az általános tüzeléstechnikai tulajdonságok meghatározásához szükséges paramétereken kívül. [10] Ezek vizsgálatára azért van szükség, mert a tüzelőanyag égetése során a nehézfémek különböző vegyületekben a keletkező füstgázzal és hamuval a természetbe kerülhetnek, így visszakerülve a növényeket tápláló talajba, tovább szennyezve a környezetet. [11]

## ANYAGOK ÉS MÓDSZERTAN

Pécs-Kökeny Regionális Hulladékkezelő Központ mechanikai-biológiai hulladékkezelő műben keletkező RDF/SRF nehézfém tartalmát vizsgáltuk szemcseméret eloszlás alapján. A napi beérkező hulladékból, miután a mechanikai-biológiai hulladékkezelési fázisokon átesik, hulladékból származtatott tüzelőanyag keletkezik, amelyből az elvégzendő vizsgálatokhoz szükséges nyers mintákat vettük. A mintát egy saját tervezésű síkrosta soron vezetjük végig, amelynek segítségével szemcseméret szerint a következő tartományokra osztályozzuk: <10 mm, 10-20 mm, 20-30 mm, 30-40 mm, illetve >40 mm. A további méréseket az egyes tartományokra végeztük el, az osztályozás nélküli nyers anyagból vett mintával együtt.

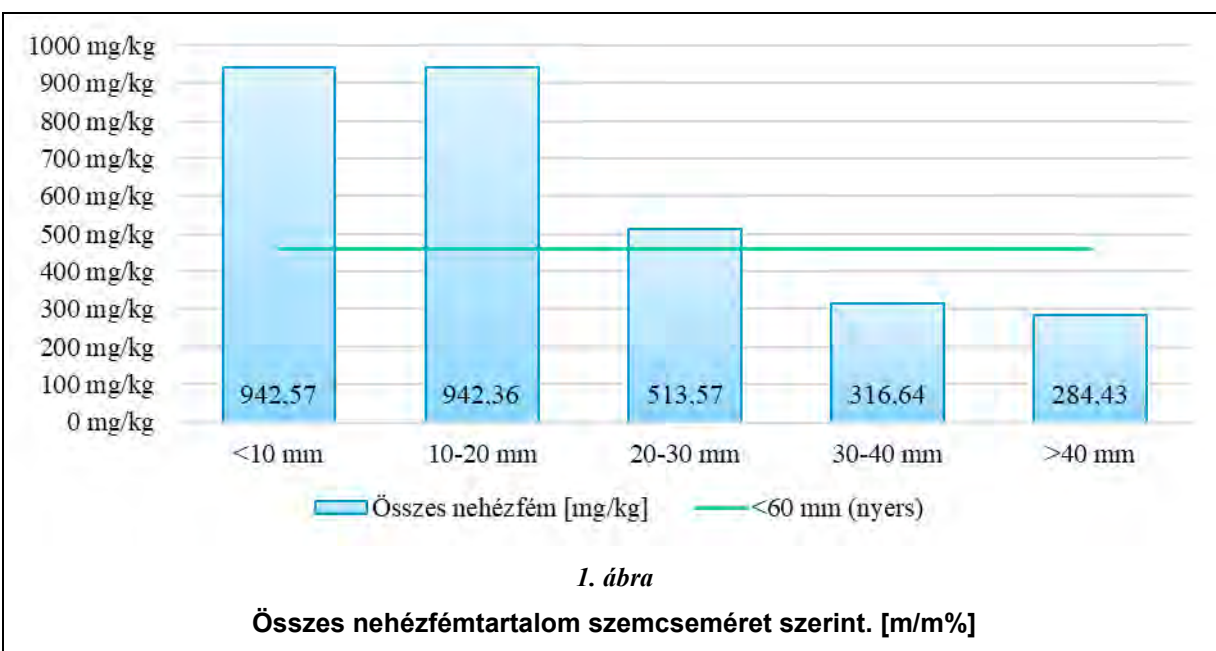
A szemcseméret szerint szétválogatott mintákból minden frakcióra 3 párhuzamos mintasor készült, amelyet a telepen lévő labor szárító szekrényben 105 °C-on szárítottunk, majd visszamértünk. A száraz, visszamért mintákat a reprezentativitás érdekében egy 10 mm szemcseátmérőjű aprítón vezetjük keresztül. A nehézfém tartalom méréséhez a mintákat <0,25 mm átlag szemcseméretre kellett aprítanunk, majd 270°C-os homokfürdőben nyílt kémiai roncsolást végeztünk. A nehezen oldódó fémek oldatba viteléhez sósavat (HCl) és salétromsavat (HNO<sub>3</sub>) használtunk. A szervesanyag oxidációja érdekében hidrogén-peroxidot (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) adagoltunk a mintákhoz. A roncsolás végeztével egy kis pórusátmérőjű (0,45 µm) fecskendőszűrőn nyomtuk át a mintákat.

A nehézfém tartalom meghatározásánál az MSZ EN 15359:2012 szabványnak megfelelően antimon (Sb), arzén (As), kadmium (Cd), króm (Cr), kobalt (Co), réz (Cu), ólom (Pb), mangán (Mn), higany (Hg), nikkel (Ni), tallium (Tl), vanádium (V) mérése történt. A méréseket induktív csatolású plazmaégő optikai emissziós atom-spektroszkópiás (ICP-OES) módszerrel végeztük.

## EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉS

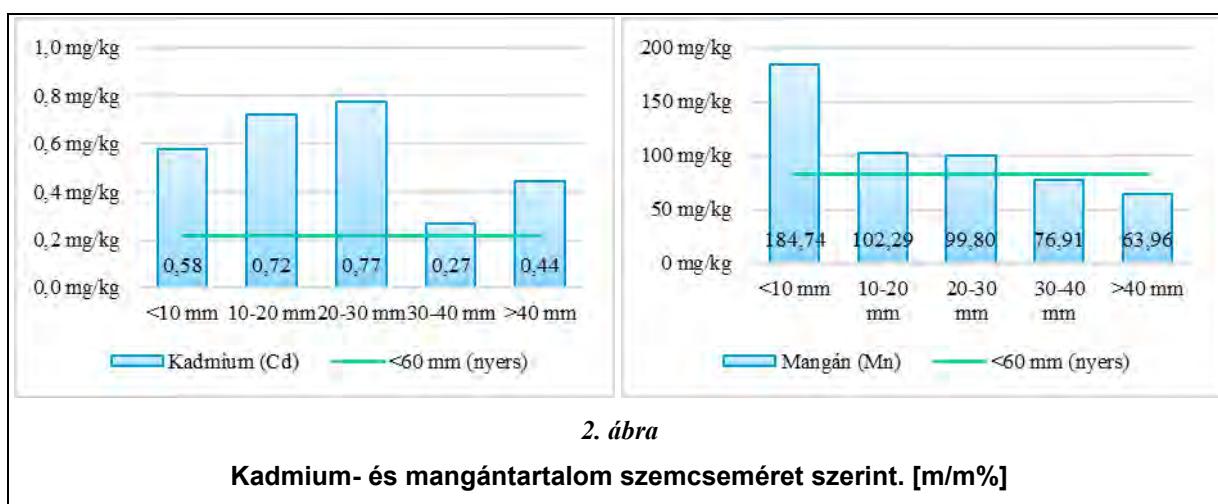
A vizsgált összes nehézfém tartalmat a 1. ábra mutatja be. A kapott vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy minél kisebb a szemcseméret, annál több nehézfém tartalmaz egy adott frakció. A nehézfémek legnagyobb része a hulladékba kerülő ipari termékekből, mint kerámiagyártás (V, Ni, Mn, Cr, Sb), üveggyártás (Ti, Mn, Pb, Cr, As, Sb), acélggyártás (V, Ni, Mn, Cr, Cd), festékipar (Ni, Pb, Co, Cr, Cd, As, Sb), elemgyártás (Ni, Mn), ötvözetek

készítése (Ti, Ni, Mn, Pb, Co, Cr, Cd, As, Sb), továbbá az ételmaradékokból (As, Mn, Cr, Cd, Hg) származik. [12]



Külön komponensekre vizsgálva hasonló eredmények mutatkoznak. Ettől a kadmium, antimon, tallium, króm és az arzén mutat eltérést, illetve a nikkel, de ott csak a 10-20 mm-es frakció az, ami nem illeszkedik az összes nehézfémtartalom által mutatott trendre.

Kadmium és mangán (2. ábra) nagyobb mennyiségben a kompozit anyagokban, fémek ötvözőjeként, elemekben és akkumulátorokban, festékekben és műanyagokban fordul elő. Előbbiek a 10-30 mm mérettartományban fordulnak elő, míg utóbbi inkább a >40 mm mérettartományba csúszik át. [12] [13]

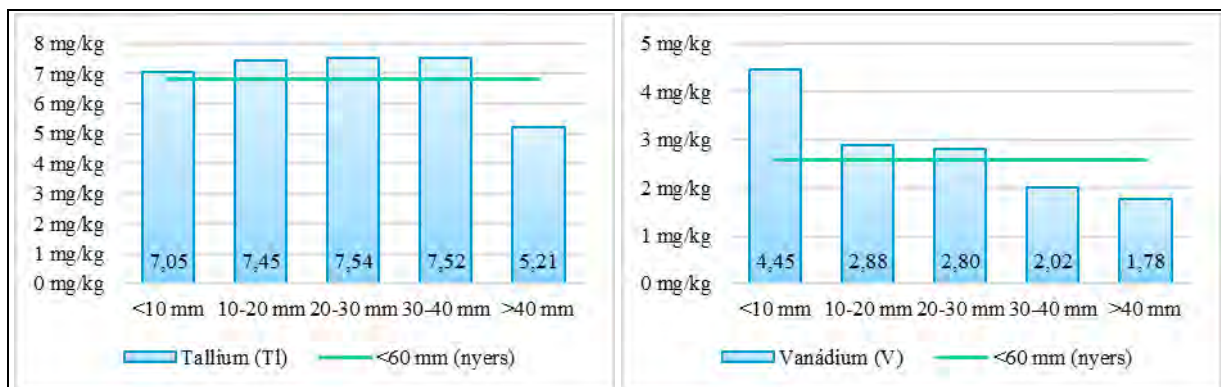


Tallium (3. ábra) a bányászatból származó nyersanyagok használata során szennyezőként kerül számos termékbe. Vanádiumot (3. ábra) a vaskohászatban használják jó ötvöztulajdonságai miatt. [14]

Króm (4. ábra) az üvegekben, a kompozit anyagokban, elektronikai eszközökben és fémek ötvözőjeként fordul elő. Nikkel (4. ábra) bekerül a talajba, élelmiszerekbe, vízbe és légkörbe a földkéreg eróziójával, illetve nagyon sok ipar is felhasználja, mint nyersanyag. Jó

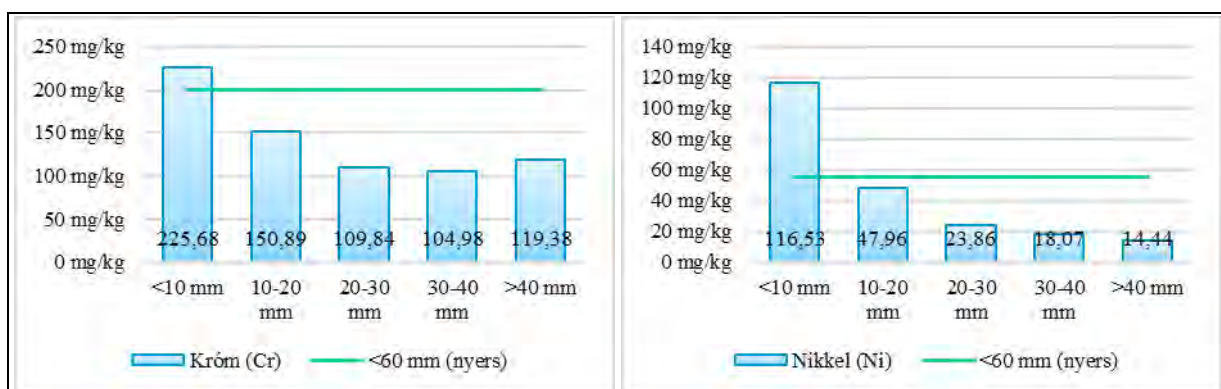


ötvöző anyag és mágnesezhető, így felhasználják, mint elemek, evőeszközök, gyújtógyertyák, festékek gyártásához. [12]



3. ábra

**Tallium- és vanádiumtartalom szemcseméret szerint. [m/m%]**

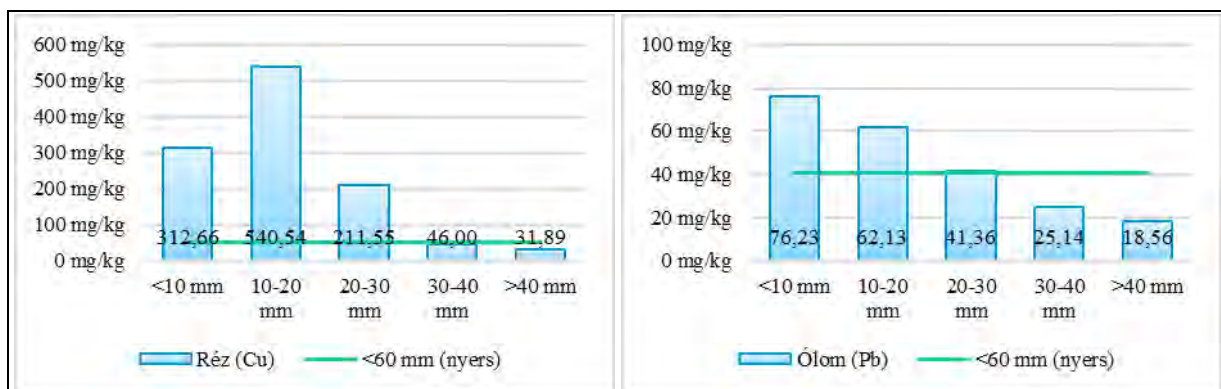


4. ábra

**Króm- és nikkeltartalom szemcseméret szerint. [m/m%]**

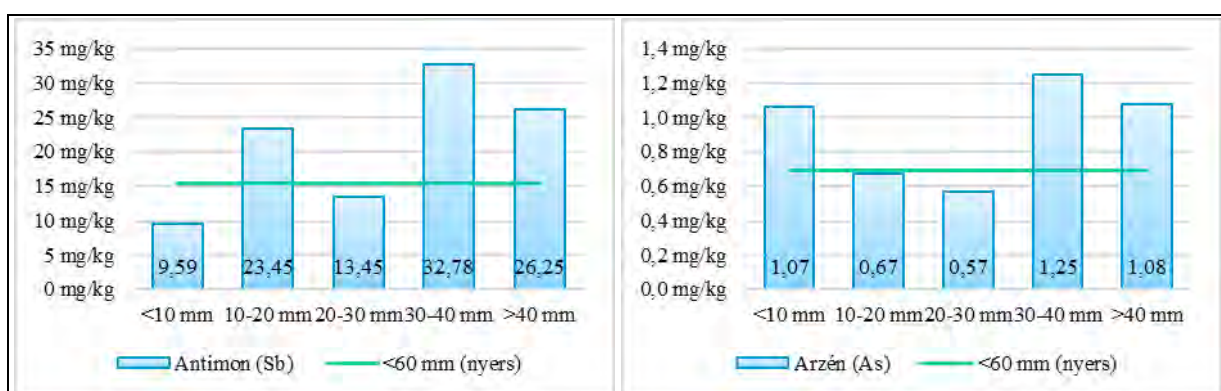
A réznek (5. ábra) a magas tartalma adódik abból, hogy vezetőként használják különböző elektromos kábelekhez. Mivel ezek kis fajsúllyal rendelkeznek és viszonylag kicsik, így benne maradnak a hulladékáramban, nem kerülnek leválasztásra, mert más anyagokhoz hozzátapadnak. [15] Az ólomnak (5. ábra) sokrétű felhasználása ismert. A kutatás szempontjából azok az anyagok jelentősek, melyek háztartási hulladékként végezhetik. Ilyenek lehetnek a horgászathoz használt ólomnehezékek, kompozit anyagok, illetve ezt az anyagot használják még csövek és kábelek burkolására is. [12]

Antimont (6. ábra) az üvegekben, fémekben, elektronikai eszközök tűzgátló bevonatában és a PET gyártásban használnak. [16] A hulladékban található arzén (6. ábra) javarészt a szerves eredetű hulladékokból származik, mint például az élelmiszermaradékok és a kerti hulladékok. [17]



5. ábra

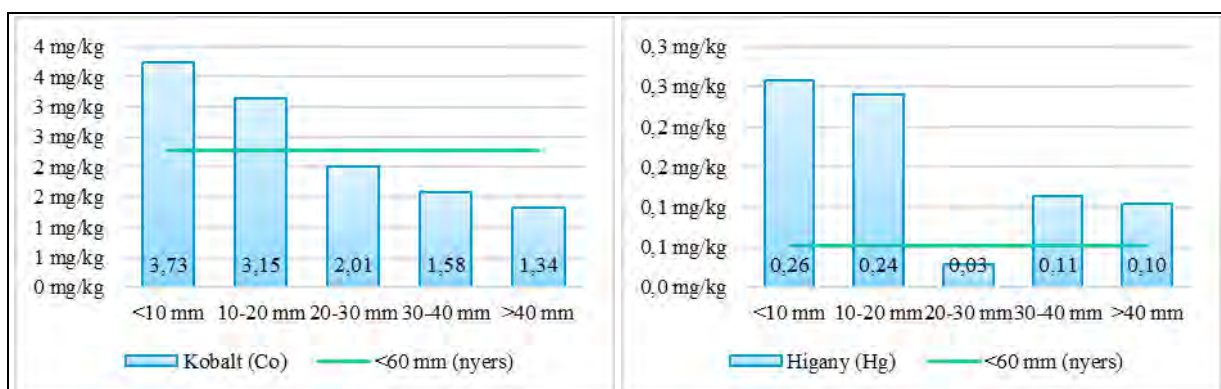
Réz- és ólomtartalom szemcseméret szerint. [m/m%]



6. ábra

Antimon- és arzéntartalom szemcseméret szerint. [m/m%]

Kobalt (7. ábra) gyakran fordul elő az inert hulladékokban, a fémek ötvözőjeként és a műanyagokban is. A higanytartalom (7. ábra) az élelmiszerhulladékokban, az éghető anyagokban és a műanyagokban fordul elő nyomokban. [12]



7. ábra

Kobalt- és higanytartalom szemcseméret szerint. [m/m%]

## KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatok során megállapítható, hogy minél kisebb a szemcseméret, annál nagyobb mennyiségben tartalmaz nehézfémeket. A legnagyobb arányban a réz, nikkel, mangán és ólom van jelen a mintákban.

A vizsgált nehézfémek főként csomagolóanyagokban találhatók meg, fémek esetében ötvözőanyagként, műanyagok esetében pedig festékek alkotójaként is. Az elektronikai berendezések és a veszélyes hulladékok nem megfelelő gyűjtése is eredményezi ezeknek a komponenseknek a megjelenését a tüzelőanyagban.

A hulladékkezelő gépek kopása is hozzájárulhat a nehézfém-tartalmakhoz, hiszen a gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy az üzemekben nagy sebességgel amortizálódnak a hulladék súrlódásának folyamatosan kitett kések, rámpák, szalagok.

Vannak olyan nehézfémek, amelyek különböző vegyületekben a szerves hulladékokban is megtalálhatók, ezek magas nedvességtartalmuk miatt könnyen a nagyobb, jól éghető tüzelőanyagdarabokra ragadva szintén a kész termék nehézfém-tartalmának növekedését eredményezik.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció az EFOP-3.6.2.-16-2017-00010 „Fenntartható nyersanyag gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése -RING 2017” projekt részeként valósul meg.

## HIVATKOZÁSOK

1. **Az Európai Parlament és a Tanács 2008/98/EK irányelve:** „a hulladékokról és egyes irányelvek hatályon kívül helyezéséről”
2. **Központi Statisztikai Hivatal:** „A közszolgáltatás keretében elszállított települési hulladék keletkezése” [https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_ur009b.html](https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ur009b.html)
3. **Központi Statisztikai Hivatal:** „Az egyes hulladékfajták mennyisége a kezelés módja szerint” [http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_ur006b.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ur006b.html)
4. **Faitli J., et al.:** „Developing the combined magnetic, electric and air flow (KLME) separator for RMSW processing” *Waste Management & Research* (2018) 36:9, 1-9.
5. **2012. évi CLXXXV. törvény:** „a hulladékról”
6. **Bodnár I.:** „Hulladékok energetikai célú hasznosításának vizsgálata energiahatékonyság, költség-haszon és életciklus-elemzési módszerekkel” *Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai kar* (2016) PhD értekezés
7. **Dr. Csőke B., et al.:** „Mechanikai-biológiai hulladékkezelés kézikönyve” *Profikomp könyvek, Gödöllő* (2006)
8. **A Tanács 1999/31/EK irányelve:** „a hulladéklerakókról”
9. **Dr. Leitöl Cs.:** „Visszacsatoláson alapuló több szempontú műszaki, környezeti és közgazdasági elemzés alkalmazása a mechanikai-biológiai hulladékkezelő művek technológiai tervezésében” *Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai kar* (2017) PhD értekezés
10. **MSZ EN 15359:** „Szilárd újrahasznosítható tüzelőanyagok. Jellemzés és osztályok” (2012)
11. **Jagodzinska, K., et al.:** “The impact of additives on the retention of heavy metals in the bottom ash during RDF incineration” *Energy* (2019) 183, 854-868.
12. **Viczek, S.A., et al.:** “Origins and carriers of Sb, As, Cd, Cl, Cr, Co, Pb, Hg, and Ni in mixed solid waste – A literature-based evaluation” *Waste Management* (2020) 103, 87-112.

13. **Ono, K.:** “Past and future cadmium emissions from municipal solid-waste incinerators in Japan for the assessment of cadmium control policy” *Journal of Hazardous Materials* (2013) 262, 741-747.
14. **D'Orazio, M.,** et al.: „Thallium pollution in water, soils and plants from a past-mining site of Tuscany: Sources, transfer processes and toxicity” *Journal of Geochemical Exploration* (2020) 209, 106434
15. **Haccuria, E.,** et al.: „Effective treatment for electronic waste - Selective recovery of copper by combining electrochemical dissolution and deposition” *Journal of Cleaner Production* (2017) 152, 150-156.
16. **Intrakamhaeng, V.,** et al.: „Antimony mobility from E-waste plastic in simulated municipal solid waste landfills” *Chemosphere* (2020) 125042
17. **Zhang, H.,** et al.: „Source analysis of heavy metals and Arsenic in organic fractions of municipal solid waste in a megacity (Shanghai)” *Environmental Science & Technology* (2008) 42:5, 1586-1593.

Romenda R. - Szalai P. - Faitli J.

*Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet  
Kapcsolat: ejtrom@uni-miskolc.hu*

## **SZABÁLYOS ALAKÚ SZEMCSÉK KÖZEGELLENÁLLÁSÁNAK VIZSGÁLATA EGYEDI FEJLESZTÉSŰ LÉGCSATORNÁBAN**

### **ABSZTRAKT**

A hulladékgyűjtésben alkalmazott légáramkészülékek fejlesztése érdekében szemcsemozgási alapvizsgálatokat végeztünk, mely során szabályos alakú szemcséket vizsgáltunk egy egyedi fejlesztésű légcsonatban. A légcsonatban létrehozott rendezett áramlásba helyezett szemcsékre ható közegellenálló erőt mértük egy erőmérő cellával. A vizsgálatoknak kettős célja volt. Az egyik, hogy a már ismert szemcseformák tulajdonságaival a légcsonatát hitelesítsük, és ellenőrizzük a berendezés használhatóságát. A másik, hogy az egyszerűbb szemcseformák vizsgálata során olyan összefüggéseket állapítsunk meg, amelyek később a légáramkészülékek fejlesztésében, tervezésében felhasználhatók.

**Kulcsszavak:** légáramkészülék, szeparálás, szemcsemozgás, hulladékhasznosítás.

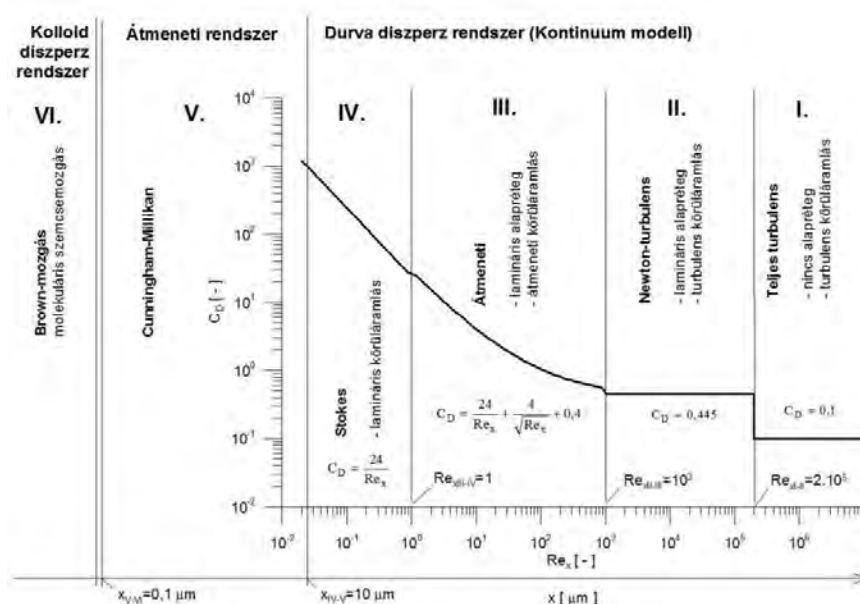
### **BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS**

Az EU körforgásos gazdaság stratégiája korszerű hulladékgyűjtést kíván. A termelésből és a fogyasztásból kikerülő hulladék és maradvány anyagokat a hulladékgyűjtés-technika segítségével lehet újra a gazdasági körforgásba vezetni. A légáramkészülékeket gyakran alkalmazzák kommunális hulladékok és más hulladékáramok feldolgozása során az anyag nemesítésére, a nagy fűtőértékű könnyű anyagok leválasztására. Ezen kívül a szemcsemozgás jelensége más berendezések működésére is hatással van, mint például az alak szerinti szétválasztó berendezésekre, ballisztikus vagy más 2D-3D szeparátorokra, illetve a szenzorokra alapozott válogató berendezések esetében a szemcsék kifújására. Számos tanulmány foglalkozik szemcsemozgási kísérletekkel, azonban a szemcsealak hatását még nem tudjuk elméleti úton számítani. A szakirodalomban (Romenda és Burinda, 2019) az un. egyentérfogatú gömb számított süllyedési végsebességére vonatkoztatott alaktényező használata terjedt el, amelyet kísérletekkel kell meghatározni (1. egyenlet).

$$SF = \frac{v_0}{v_{0V}} = \sqrt{\frac{C_{dV}}{C_d}} \quad 0 < SF < 1 \quad (1.)$$

Méréssel kell meghatározni a valódi szemcse süllyedési végsebességét ( $v_0$ ), majd kiszámítani az egyentérfogatú gömb átmérőjét és annak a süllyedési végsebességét ( $v_{0V}$ ). Az alaktényező a közegellenállási tényezők hányadosának a négyzetgyökeként is kiszámítható. Az alak vizsgálata a hulladékgyűjtésben alapvető fontosságú, mert a valódi hulladékszémcsék jellemzően nem gömb alakúak. A korábbiakban számos szemcsemozgási vizsgálatot végeztünk el, amelyek mindegyike esetében a szemcsék mozgott az álló vagy mozgó közegben. Ezt most megfordítottuk és a szemcsét egy erőmérő cellához rögzítettük és légáramba helyeztük, így közvetlenül a közegellenálló erőt mérhetjük meg.

A szemcsemozgás alapjelensége az, amikor egy darab gömb alakú szemcse falhatással nem zavart közegben, gravitációs erőterben, Newtoni közegben süllyed. Ez jól ismert a szakirodalomban. Ekkor a szemcse körüláramlása lehet lamináris illetve turbulens ezért körüláramlási tartományokat kell megkülönböztetni, amelyet az 1. ábra szemléltet (Faitli, 2015).



1. ábra: Newtoni közegben süllyedő, gömb alakú szemcse ellenállás tényező diagramja (Faitli, 2015)

A folyadékban vagy gázban elmozduló testekre a közeg erőit fejti ki. Az ún. közegellenálló erő egyrészt a test körül áramló közeg viszkozitása miatt fellépő fal menti súrlódásból, másrészt a nyomáseloszlásból, - mivel a test előtt torló pont, nagy nyomás, mögötte leválások, kis nyomás alakul ki – származik. Stokes megoldotta a mozgásegyenletet, a kontinuitási egyenletet és a Newtoni közegek anyagegyenletét egy gömb alakú szemcsére és bevezette az ún. közegellenállási tényezőt és a 2. egyenletre jutott (Pokorádi, 2002; Tarján, 1997).

$$F = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho_f \cdot v^2 \quad (2.)$$

A 2. egyenletben  $C_d$  a közegellenállási tényező,  $A$  a test és közeg relatív mozgásakor az áramlásra merőleges keresztmetszet,  $\rho_f$  a közeg sűrűsége és  $v$  a test és a közeg relatív sebessége. Gravitációs erőterben történő stacionárius szemcsemozgás esetén a szemcse időben állandó süllyedési sebessége az úgynevezett süllyedési végsebesség a 3. egyenlettel számítható.

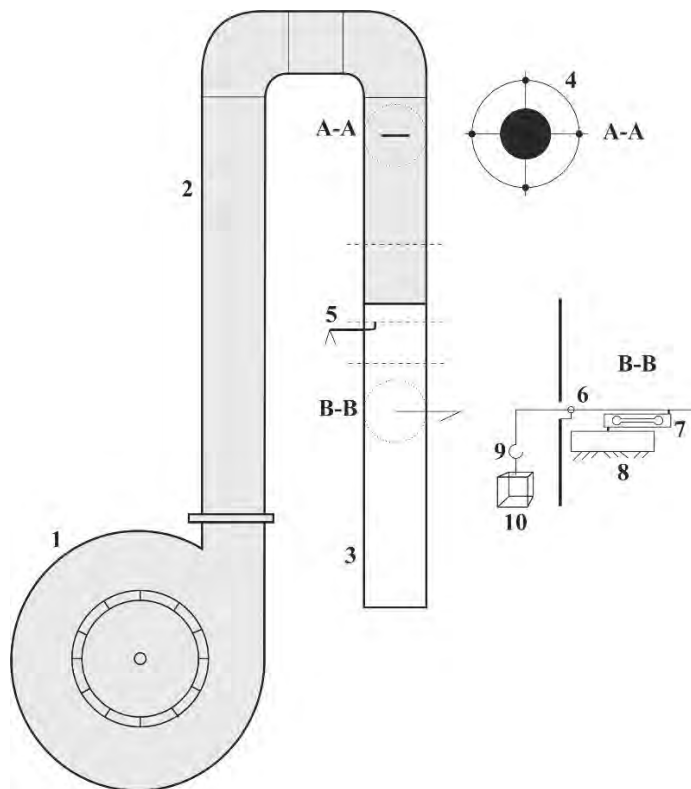
$$v_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot x \cdot \rho_s - \rho_f}{3 \cdot C_d \cdot \rho_f}} \quad (3.)$$

A 3. egyenletben  $g$  a gravitációs gyorsulás,  $x$  a szemcseméret és  $\rho_s$  a test sűrűsége. A 3. egyenlet segítségével számítható az egyentérfogatú gömb süllyedési végsebessége az 1. ábrán közölt módszertan szerint.

Tarján (1997) szerint a kocka alakú testeknek az 1. egyenlet szerint definiált alaktényezője a IV. Stokes körüláramlási tartományon 0,92; míg a II. Newton turbulens tartományon pedig 0,56.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében egy egyedileg tervezett légcatornát építettünk, amelynek a vázlati rajza az 1. ábrán látható.



A-A keresztmetszet:

Áramlás-rendező

B-B keresztmetszet:

Mérés helye

1. Forgólapátos ventilátor

2. PVC cső (D=300mm)

3. Plexi cső (D=300 mm)

4. Áramlásrendező lemez

5. Prandtl cső

6. A mérlegkar tengelye

7. Erőmérő cella

8. Rögzített pont

9. Kampó

10. Mintatest

Szaggatott vonalak:

A mérési pont felett 35, 65 és 95 cm-el a légsebesség kalibrálására

2. ábra: A kísérleti légcatorna sematikus rajza

A kísérletekhez a légáramot egy forgólapátos radiális kiömlésű ventilátor (1) biztosítja, amelynek a kivezetésére egy 300 mm belső átmérőjű PVC cső (2) van helyezve. A nem átlátszó falú PVC cső egy 1 méteres és egy 2 méteres csőszakaszból áll. A 3 méteres csőszakasz két 90 fokos könyökkel visszafordul, amit újabb 1 méter PVC cső, és végül a 2 méter hosszú átlátszó falú, plexiből készült mérőcső (3) követ, melynek belső átmérője 295 mm. A ventilátort hajtó kalickás aszinkronmotorhoz egy frekvenciaváltó csatlakozott, amivel a ventilátor tengely-fordulatszámát tudtuk beállítani, ezzel változtatva az áramló levegő sebességét. A visszafordító PVC könyök után található egy áramlásrendező lemez (4). Ez nem más, mint a csőkeresztmetszet közepébe helyezett fél csőátmérőjű acéllemez, amelyet négy darab csavarral lehet központosítani. Ez egy jól ismert mérés technikai megoldás olyan esetekre, amikor nem biztosítható az ún. 10D szabály, azaz a mérési pont előtt nem alakítható ki a csőátmérő nagyságához mért 10-szeres hosszúságú egyenes csőszakasz. A légtechnika kalibrálását három kijelölt keresztmetszetben végeztük el. A három kijelölt keresztmetszetet az 1. ábrán szaggatott vonalak jelölik a B-B mérési keresztmetszet felett. Ezeket a mérési keresztmetszet feletti magasságukkal jelöljük (35, 65 és 95 cm). A légsebességet egy-egy kiragadott pontban a megadott három keresztmetszetben Prandtl csővel (5) mértük meg. Az B-B mérési kereszt-



metszetben egy tengelyre (6) erőkart rögzítettünk. Az erőkar belső végén egy kampó található (9), amelyre a vizsgált szemcséket akasztottuk. Az erőkar és a kampó „üres-járási”, szemcsék nélküli közegálló erejét előre megmértük minden vizsgált légáram esetében, amelyet a kiértékelés során korrigáltunk. Az erőkar másik vége egy nyúlásmérő bélyeggel felszerelt Stauer CK 500-0P4 precíziós erőmérő cellához (7) volt rögzítve. Az erőkar állítható volt, így az 500 g névleges méréstartományú cellát 0-800 g méréstartományon tudtuk alkalmazni. Az erőmérő cellát egy National Instruments egyenfeszültségű mérőerősítőhöz (Wheatstone híd) és AD kártyához csatlakoztattuk. A mérésadatgyűjtő programot LabWindows CVI C++ nyelven írtuk meg. A 3. ábrán az elkészült kísérleti berendezés látható.



3. ábra: A kísérleti légcatorna fényképe

A kísérleteket három különböző méretű kockával végeztük el, három különböző orientációban. A kockák paramétereit az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A vizsgált testek adatai

|               | oldalhossz<br>a [cm] | tömeg<br>m [g] | felszín<br>A [cm <sup>2</sup> ] | térfogat<br>V [cm <sup>3</sup> ] | egyentérfogatú<br>gömb átmérő<br>x <sub>v</sub> [mm] | sűrűség<br>ρ [g/cm <sup>3</sup> ] |
|---------------|----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Kiskocka      | 4,14                 | 14,45          | 102,84                          | 70,96                            | 5,14                                                 | 0,2036                            |
| Közepes kocka | 7,25                 | 88,75          | 315,38                          | 381,08                           | 9,00                                                 | 0,2329                            |
| Nagykocka     | 11,06                | 211,83         | 733,94                          | 1352,90                          | 13,72                                                | 0,1566                            |





**4. ábra: Légsebességgel szemben lapjával, élével és csúcsával mért kockák**

A közegellenállási tényező kiszámolásához szükség van a testek légárammal szembeni vetületére. Amikor az orientációt úgy választjuk meg, hogy a test a lapjának közepén van felfüggesztve, akkor ez a felület egyenlő a lapnak a felületével. Ha a felfüggesztési pont az élének a közepén van, akkor egy téglalap ez a felület, melynek egyik oldala a kocka oldala, a másik oldala pedig alapátló. A csúcsban való felfüggesztés esetén a vetület már bonyolultabb. Egy csúcsára állított kockát megfigyelve az áramlás irányából látszik, hogy a lapátlók egy merőleges síkot határoznak meg, s ezek egy egyenlő oldalú háromszöget zárnak be. Ennek a háromszög területének a kétszerese a légárammal szembeni felület. A vetületi keresztmetszetek nagyságát a 2. táblázat foglalja össze.

**2. táblázat: A különböző méretű kockák vetületi nagysága [cm<sup>2</sup>] adott orientációban felfüggesztve**

|               | Lapban [cm <sup>2</sup> ] | Élben [cm <sup>2</sup> ] | Csúcsban [cm <sup>2</sup> ] |
|---------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Kiskocka      | 17,14                     | 52,56                    | 122,32                      |
| Közepes kocka | 24,24                     | 74,33                    | 172,99                      |
| Nagykocka     | 29,69                     | 91,04                    | 211,87                      |

## EREDMÉNYEK

A részletes mérési eredményeket terjedelmi okokból nem közöljük. A kísérleteket a légtechnikai rendszer kalibrálásával kezdtük el. Elsőként számos ventilátor fordulatszám esetén a mérőcső három kiragadott keresztmetszetének 8-8 pontjában megmértük a légsebességet egy Prandtl cső segítségével. Megállapítottuk, hogy a 2. ábrán 4-essel jelölt áramlásrendező jól működött, mert a sebességeloszlás minden keresztmetszetben és vizsgált sebességnél 0,04 %-nál kisebb eltérést mutatott. Ezt követően minden kocka esetében a súlyerő – mínusz felhajtó erő nagyságát megmértük álló levegőben. Ezt követően a különféle légsebességek esetében az erőmérő által mért erőből levontuk az adott kocka „üresjárás – súly mínusz felhajtó” erejét, így megkaptuk a mért közegellenálló erőt. A közegellenálló erő nagyságából és az áramlásra merőleges legnagyobb felületekből a 2. egyenlet segítségével kiszámítható a közegellenállási tényező. A mérési eredményeket a 3-5. táblázatok foglalják össze. A 3-5. táblázatokban  $Re_v$  az egyentérfogatú gömbátmérőkre számított Reynolds szám.

**3. táblázat: Kiskocka közegellenállás tényezői a három orientációban**

| Frekvencia<br>[Hz] | Légsebesség<br>[m/s] | Reynolds szám<br>$Re_V$ [-] | Közegellenállási tényező [-] |        |          |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------|----------|
|                    |                      |                             | lapban                       | élben  | csúcsban |
| 5                  | 2,43                 | 8 361,5                     | 2,4131                       | 1,7063 | 1,5788   |
| 7,5                | 3,63                 | 12 490,6                    | 1,5860                       | 1,3254 | 1,3734   |
| 10                 | 4,82                 | 16 585,4                    | 0,9813                       | 0,8095 | 0,8734   |
| 12,5               | 6,01                 | 20 680,1                    | 0,9279                       | 0,8659 | 1,0081   |
| 15                 | 7,19                 | 24 740,4                    | 0,9294                       | 0,8725 | 0,8569   |
| 17,5               | 8,36                 | 28 766,3                    | 0,9289                       | 0,8726 | 0,8379   |
| 20                 | 9,52                 | 32 757,8                    | 0,9170                       | 0,8643 | 0,8359   |
| 25                 | 11,83                | 40 706,4                    | 0,8934                       | 0,8799 | 0,8203   |
| 30                 | 14,1                 | 48 517,3                    | 0,8664                       | 0,8897 | 0,7993   |
| 40                 | 18,56                | 63 863,9                    | 0,8386                       | 0,8366 | 0,7817   |
| 50                 | 22,91                | 78 832,0                    | 0,8460                       | 0,8382 | 0,7828   |

**4. táblázat: Közepes kocka közegellenállás tényezői a három orientációban**

| Frekvencia<br>[Hz] | Légsebesség<br>[m/s] | Reynolds szám<br>$Re_V$ [-] | Közegellenállási tényező [-] |        |          |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------|----------|
|                    |                      |                             | lapban                       | élben  | csúcsban |
| 5                  | 2,43                 | 14 640,8                    | 1,6788                       | 0,8903 | 0,6663   |
| 7,5                | 3,63                 | 21 870,8                    | 1,2930                       | 0,9143 | 0,8958   |
| 10                 | 4,82                 | 29 040,5                    | 1,0401                       | 0,8392 | 0,8237   |
| 12,5               | 6,01                 | 36 210,3                    | 0,9609                       | 0,8779 | 0,8659   |
| 15                 | 7,19                 | 43 319,8                    | 0,9398                       | 0,9078 | 0,8922   |
| 17,5               | 8,36                 | 50 369,0                    | 0,9887                       | 0,9347 | 0,9117   |
| 20                 | 9,52                 | 57 358,0                    | 0,9411                       | 0,9485 | 0,9269   |
| 25                 | 11,83                | 71 275,8                    | 0,9033                       | 0,9518 | 0,9309   |
| 30                 | 14,10                | 84 952,5                    | 0,9221                       | 0,9548 | 0,9330   |
| 40                 | 18,56                | 111 824,0                   | 0,9314                       | 0,9596 | 0,9467   |
| 50                 | 22,91                | 138 032,8                   | 0,9466                       | 0,9711 | 0,9553   |

**5. táblázat: Nagykocka közegellenállás tényezői a három orientációban**

| Frekvencia<br>[Hz] | Légsebesség<br>[m/s] | Reynolds szám<br>$Re_V$ [-] | Közegellenállási tényező [-] |        |          |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------|----------|
|                    |                      |                             | lapban                       | élben  | csúcsban |
| 5                  | 2,43                 | 22319,0                     | 1,0370                       | 1,1477 | 1,5097   |
| 7,5                | 3,63                 | 33340,7                     | 1,1112                       | 1,2429 | 1,5689   |
| 10                 | 4,82                 | 44270,6                     | 1,1287                       | 1,3369 | 1,5646   |
| 12,5               | 6,01                 | 55200,5                     | 1,1874                       | 1,3884 | 1,6105   |
| 15                 | 7,19                 | 66038,6                     | 1,2650                       | 1,4166 | 1,6263   |
| 17,5               | 8,36                 | 76784,7                     | 1,2590                       | 1,4182 | 1,6434   |
| 20                 | 9,52                 | 87439,1                     | 1,2448                       | 1,4267 | 1,6695   |
| 25                 | 11,83                | 108655,9                    | 1,2690                       | 1,4436 | 1,6929   |
| 30                 | 14,10                | 129505,4                    | 1,2642                       | 1,4384 | 1,7067   |
| 40                 | 18,56                | 170469,5                    | 1,2981                       | 1,4553 | 1,7276   |
| 50                 | 22,91                | 210423,3                    | 1,3181                       | 1,4432 | 1,7065   |

A korábbiakban megadott összefüggés (1.) segítségével a vizsgált kockák különböző orientációban mért, - az egyentérfogatú gömb számított süllyedési végsebességére vonatkoztatott – alaktényezőit a 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat. A vizsgált próbatestek alaktényezői

| Kocka         | Orientáció | Alaktényező |
|---------------|------------|-------------|
| Kis kocka     | Lapban     | 0,7         |
|               | Élben      | 0,71        |
|               | Csúcsban   | 0,72        |
| Közepes kocka | Lapban     | 0,71        |
|               | Élben      | 0,71        |
|               | Csúcsban   | 0,71        |
| Nagy kocka    | Lapban     | 0,51        |
|               | Élben      | 0,55        |
|               | Csúcsban   | 0,59        |

A kísérleti berendezésben a légsebességet 2,4 és 23 m/s érték között lehetett változtatni. Ezzel szemben a vizsgált kockák egyentérfogatú gömbjeinek a számított süllyedési végsebesség értékei: kis kocka – 15,93 m/s, közepes kocka – 22,55 m/s és a nagy kocka 48,11 m/s. Látható, hogy a kis és közepes kockák esetében a berendezésben előállhat az az eset, amikor a nyugalomban lévő szemcse körül a légáram pont akkora közegellenálló erőt fejt ki, mint a súlyerő mínusz a felhajtó erő, azaz előáll az egyensúlyi (süllyedési végsebesség) állapot. Ezzel szemben a nagy kocka esetében az egyensúlyi állapotnál csak kisebb közegellenállásokat lehetett beállítani. A nagy kocka esetében az áramlás típusa is váltott, mert kisebb sebességeknél még volt lamináris alaprétég a szemcse körül (II. Newton turbulens tartomány), de az a nagyobb sebességeknél felbomlott, és tisztán turbulenssé vált az áramlás (I. Teljes turbulens tartomány).

## KONKLÚZIÓ

A kommunális hulladékok felhasználására szolgáló áramkészülékeket leggyakrabban a kb. 60 – 200 mm szemcsetartományon alkalmazzák. Az általunk megépített kísérleti légcsatorna mérőcsövének belső átmérője 295 mm, amiből az következik, hogy kb. 100 mm-nél kisebb szemcsék vizsgálhatók benne. A méréseim kimutatták, hogy az áramkészülékek fontos szemcseméret tartományán az I. Teljes turbulens és a II. Newton turbulens szemcse körüláramlási tartománnyal kell számolni. Ez a berendezések tervezését tovább nehezíti.

A kiértékelt eredményekből levonhatjuk azt a következtetést, hogy a kis-és közepes kockánál közel azonos értékre áll be a közegellenállás tényező, nincs kitüntetett különbség az egyes orientációkban. A nagykocka esetében viszont jól látszik a 17. ábrán, hogy az egyes orientációk különböző közegellenállás tényezőket mutatnak. A nagy kocka lapban előre orientációja esetén mértem 0,51 alaktényezőt, ami jól egyezik az 1. táblázatban bemutatott Tarján féle értékekkel. Azonban más méretnél és orientációban ettől nagyobb értékeket kaptam.

A mért eredményeket még nem tudtuk általánosítani, mert ahhoz még további vizsgálatokat kell végezni, továbbá még elméleti megfontolások szükségesek ahhoz, hogy ezzel a berendezéssel, hogyan lehet az egyensúlyi állapotot, - amikor a mérlegkar tartó ereje éppen megegyezik a közegellenálló erővel - meghatározni.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

1. **Faitli, J.:** Szemcsemozgás mérése és számítása nem-newtoni egy- és többfázisú közegekben. Bányászati és Kohászati Lapok-Bányászat 2015/3. pp. 2-9. (2015)
2. **Faitli, J.:** Continuity theory and settling model for spheres falling in non-Newtonian one- and two-phase media. INTERNATIONAL JOURNAL OF MINERAL PROCESSING 169:(1) pp. 16-26. (2017a)
3. **Faitli, J.:** Kontinuitási elmélet diszperz anyagrendszerek különféle berendezésekben való eltérő viselkedésének a jellemzésére. Műszaki Földtudományi Közlemények 86:(1) pp. 11-22. (2017b)
4. **Faitli, J.; Romenda, R.; Szűcs, M.:** Egyedi TSZH szemcsék mozgásának vizsgálata modell légáramkészülékben In: Szigyártó, IL; Szikszai, A (szerk.) XIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia Kolozsvár, Románia: Ábel Kiadó, pp. 228-237. (2017)
5. **Pokorádi, L.:** Áramlástan. Elektronikus jegyzet, Debrecen, pp. 45-48. (2002)
6. **Romenda, R.; Burinda, Zs.:** Behaviour of regular-shape single particles while falling in normal air conditions GEOSCIENCES AND ENGINEERING: A PUBLICATION OF THE UNIVERSITY OF MISKOLC Volume 7 : Number 10 pp. 158-168. , 11 p. (2019)
7. **Tarján, I.:** A mechanikai eljárástechnika alapjai. Miskolci Egyetemi Kiadó. (1997)

## SZERKEZET OPTIMALIZÁCIÓ

### ABSZTRAKT

A klímaváltozás jelen generációnk legnagyobb problémája. Ez egy sokösszetevős folyamat, melynek egyik legnagyobb komponense az építőipar. A tőke áramlása, a munkafolyamat és maga az elkészült épület is kihatással van környezetünkre.

Ezen változók alakításával lehet szabályozni a természetre mért káros hatásokat. Egy építészeti beruházás a megrendelővel kezdődik, aki a megvalósítani kívánt ötlettel rendelkezik. Az építész feladata a megrendelő víziójának megtervezése. Ennél a tervezési fázisnál van lehetősége az építésznek a beruházó felvilágosítására, arról, hogy milyen környezetbarát technológiákat és anyagokat alkalmazhatnak. A közös elképzelést úgy kell megtalálni, hogy az épület élettartama, a komfort és a megrendelő elképzelése teljesüljön, de figyeljünk a környezetbarát megoldásokra amennyire csak lehet. Fontos emellett az ökológiai lábnyom és az üzemeltetési költség minimalizálása. Erre megoldást nyújt a szerkezeti optimalizáció, ez a szerkezeti elemek- és anyagok (fa, acél, beton, vasbeton) megfelelő mértékben való alkalmazását jelenti. Lokálisan nézve törekedni kell a primer tartószerkezetek legkörnyezetbarátabb anyagvegyítésére úgy, hogy az épület teljes életciklusa ne csökkenjen számottevő mértékben. A kutatás témája azoknak az rugalmas épületszerkezeti megoldásoknak és anyagoknak a vegyítése, illetve felkutatása, melyek az ökotudatos építkezés tükrében lehetővé teszik a környezetre gyakorolt káros hatások lecsökkentését. Ezzel megoldást is nyújthatnak az építőipar klímaváltozáshoz való hozzájárulására és annak csökkentéséhez.

### BEVEZETÉS

A földünk légkörébe jutó gázok egy csoportja felelős az üvegházhatás kialakulásért. Az üvegházhatás lényege, hogy ezek a gázok a légkörben át engedik a napfényt a föld felszínére azonban ezek közben egy burkot is képeznek, így a Föld felszínére érkező majd visszaverődő infrasugarak egy része nem engedik távozni az ürbe, hanem visszatartják azokat. Ezeknek a gázoknak a mennyiség-növekedése okozza és hozza létre az üvegházhatást. A felmelegedés értéke oC fokban mérve évről évre nagyobb. Egyes gázok eltérő mértékben változtatják az üvegházhatás mértékét. A szakértők meghatározták az úgynevezett globális felmelegedési potenciált, melynek a neve Global Warming Potential (GWP) ezzel számszerűsíteni tudták az üvegházhatás relatív felmelegedést okozó hatásait 100 évre vetítve a szén-dioxidhoz viszonyítva. Ez a probléma nem új keletű, 1992-ben rendezett Rio de Janeiróban definiálták az Éghajlat változási Keretegyezményt, ez a keretegyezmény 1994-ben életbe lépett, melyhez a világ összes országa csatlakozott. A legeredményesebb egyezmény a Kyoto Protokoll, (KP) mely 2003-ban nyert elfogadást. Ebben az egyezményben az Európai Unió emissziócsökkentési programjában meghatározták azokat az iránymutatókat és számokat és kótarendszert ami alapján az EU csökkenti majd karbonsemlegessé fog válni a jövőben.

Az egész folyamat komplexitása és különböző folyamatokból adódó gázok csökkentéséért mindenki más erőfeszítéseket tesz. Még is az építőipar és építészet az a szakmai ág, amely komplexen foglalkozik a folyamattal és annak lassításért megteszi a tőle telhető legtöbbet.

## **FENNTARTHATÓSÁGI MÉRLEG**

2000-ben az ENSZ Millennium Summit gyűlésén megszületett a Millenium Declaration nyilatkozat, amely megfogalmazta az új évezredre vonatkozó törekvéseket és irányokat. A fenti megállapodást alapul véve, 2005-ben a Word Summit-on Social Development ülésén az emberiség fejlődésének kérdését vizsgálták, majd célkitűzéseket fogalmaztak meg gazdasági- és szociális fejlődéssel, valamint környezetvédelemmel kapcsolatban. Ezekre alapozva hozták létre a fenntarthatóság három alappillérjét. Amelyek a gazdaság – társadalom – környezet. Ezek az alappillérek számos kutatásnak és tanúsítványi rendszernek adtak alapot, melyből kiindulva kezdték el boncolni a fejlődést és a célkitűzéseket.

Az építészetben ez a három alappillér kulcsfontosságú elemei tudatos gondolkodással és építészeti kérdések megközelítésével elérhető, hogy az építőipar mint a világ egyik legnagyobb károsanyag kibocsájtója csökkenteni tudja a károsanyag kibocsájtását.

A kutatásom alapját képezi ezek az alappillérek. Annak az összefüggésében vizsgálom az építőipari tevékenység termelő és fenntartó folyamatait, hogy változtatam az anyagok, tartószerkezetek összetételét, hogy a lehető legkevesebb káros anyag kibocsájtást érjem el. Az épületek tartószerkezeti kulcsfontosságú anyagokat tartalmaznak, amik az építésnél az első munkafolyamatok alatt készülnek el, majd bontásnál a legutolsó folyamatként tűnnek el. Olyan arányrendszer vizsgálatában nézem a különböző elsődleges (primer) tartószerkezeti elemeket, amelyek idomulnak lokálisan az építés helyszínéhez, viszont az épület teljes életciklusában jelen lesz. Tehát nem azt szeretném elérni, hogy a legkörnyezettudatosabb anyagot lehet csak használni egy épület és építmény elkészítéséhez, mert ez kihatással van az épület élettartamára. Hanem egy olyan arányrendszert keresek amely az épület élettartamára nincs kihatással, viszont közben csökkenteni tudom az ökológiai lábnyomát az építés és üzemeltetésének.

## **EMISSION ÉRTELMEZÉSE**

A karbonsemlegesség értelmezése különböző szakmákban különböző módszerekkel, lehetőségekkel próbálják kezelni. Az építészet komplexitása ebben kiemelkedő lehetőségeket és megoldásokat tud adni. Az építőipar, hogy tudja vizsgálni az általa termelt káros anyagok kibocsátását létre hozta az életciklus-értékelés Life Cycle Assessment (LCA) környezeti hatásvizsgáló módszert. Ez a módszer tökéletesen alkalmazható az építőipar minden szintjén

## Az életciklus-értékelés alkalmazási területei az építési ágazatban

| Hatásvizsgálat szintje   | Felhasználási példa                                                  | Fejlesztési stratégia               | Egyéb módszerek                      |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Várostervezés            | Településfejlesztés, közlekedés, rekreáció, egyéb adottságok szerint | Fenntarthatóbb rendszer fejlesztése | Stratégiai környezeti hatásértékelés |
| Épületgépészet-tervezés  | Szolgáltatások üzemeltetése és eszközei                              | Funkciótervezés                     | Ökológikus hatékonyság értékelés     |
| Épületszerkezet-tervezés | Épületrészek épületszerkezetek építőanyagok                          | Termék újratervezés                 | Környezettervezés                    |
| Építőanyagok             | Anyagtulajdonságok                                                   | Tisztább termelés                   | Környezeti hatásértékelés            |

Horváth Tamás, PHD hallgató – Széchenyi István Egyetem, Győr – 2008. január – Az életciklus-értékelés alkalmazásai a fenntarthatóbb épített környezetért – 4-6. oldal  
<http://www.sze.hu/~htms/blog/lcac/cikk.pdf> - (3) – 14/2 oldal.

A káros anyagok komplex megoldásokat kíván az építészekről. A folyamat megértésnek a legfontosabb eleme, hogy nem nyúlhatunk bele egy helyen és nem csökkenthetjük csak egy folyamatban keletkező károsanyag kibocsájtást, hanem komplexen minden szinten folyamatosan csökkenteni kell. Ezért meg kell érteni, hogy milyen szempontok játszanak közre egy épület elkészültéhez. Egy adott épület millió és millió apró mozzanattól részről áll, amelyet az építésznek kell elsőként értelmeznie és megérteni, majd tovább adni a társadalomnak.

Az építési ágazat egy szerteágazódó rendszer amely sok-sok gazdasági és más szereplőtől függ. Hogy picit leegyszerűsítsük a megértéséhez szükséges információk halmazát ezért két részre bontjuk Az első része az építés a második az épületfenntartás. Az építőiparba bele kell venni minden olyan tevékenységet ami szükséges az épületünk elkészítéséhez, ilyenek, a tervezés, az építőanyag gyártása, szállítása és maga a helyszíni munkavégzés, építés. Az építési folyamat alatt termelődött károsanyagok csak a kezdete egy épületnek. Ezután jön a használatból az épületfenntartás folytonos folyamatából keletkező káros anyagok. Az épületfenntartás takarja az üzemeltetés, a szolgáltatások, a személyes komfortunk biztosítását.

Az épületfenntartást átlagosan ötször annyi energiát emészt fel minden évben, mint maga az építőipar. Jól belátható, hogy ha csak az egyik problémával foglalkozunk és az egyik folyamatba nyulunk bele az nem elegendő.

Az építési ágazatok más szempontokból sem tekinthető homogén folyamatnak. A kontinensek és az országok épületállományát sokféle épület és funkció képezi. Ezek a funkció és épület különbségek megmutatkoznak a szén-dioxid kibocsájtásban is.

## Az építési szektor felosztása hat alszektorra



Horváth Tamás, PHD hallgató – Széchenyi István Egyetem, Győr – 2008. január – Az életciklus-értékelés alkalmazásai a fenntarthatóbb épített környezetért – 4-6. oldal  
<http://www.sze.hu/~https/blog/lcac/cikk.pdf> - „ (4) – 14/5 oldal.

## FENNTARTHATÓSÁG MÓDOSÍTÓ TÉNYEZŐK

Egy épület komplex módon épül fel, Épületszerkezetek összessége alkotja, ezeknek az épületszerkezeti elemek egymásra hatása és csatlakozása alkotja az épület részeit amely lehatárolja a külső és a belső tereket egymástól. Az épületszerkezetek önmagukban is összetettek. Különböző építőelemek alkotják. Minden építő elem más és más, különböző anyagból különböző technológiával készül, amelyeket az építési helyszínre szállítanak, és vagy darabokból a helyszínen felépítve képzik az épületszerkezeti egységeket. Ennek egy magasabb technológiai fokát mutatja be amikor az építő elemek előre gyári körülmények között olyan magas fokon készülnek el, hogy az az építési helyszínre érkezve önálló épületszerkezetként tudjon funkcionálni.

Minden egyes épületszerkezeti elemnek megvan a maga funkciója, ezeknek az elemeknek az összeillesztésével kapcsolati és ráhatási rendszerével képződnek az épületszerkezeti rendszerek. Az összes rendszer megfelelő összekapcsolódásával jön létre az épület. Ezeknek a rendszereknek egyes elemei az épületben különböző jelentőséggel bírnak, melyeket lehet módosítani nem módosítani, esetleg eltávolítani.

Az épületszerkezeti elemek többféle képpen csoportosíthatóak – helyzete – kiterjedése – elkészítése szerint. Az első csoportba tartozó helyzete alapján lehetnek térelhatároló vagy térelválasztó szerkezetek. A térelhatároló szerkezetek azok a külső és belső tereket határolják el egymástól, amely a külső változó természeti elemektől véd, míg a térelhatároló a tereket rekeszti le kisebb terekre. Kiterjedésük alapján ezek lehetnek rúd és felületszerkezetek. Az elkészítésük szerint pedig végleges vagy ideiglenes.

Hogy a fenntarthatósági tényezőt a legoptimálisabb módon tudjuk megalkotni fontos, hogy ezeket az épületszerkezeti elemeket osztályozzuk és csoportosítsuk az egymásra ráhatás figyelembe vételével. Ezért négy csoportba osztottam az épületszerkezeteket primer –



secunder – terciér – quater. Ennek a csoportos bontásnak alapját képezi a már meglévő Bársonyos István – Magaséptan I. könyv.

A primer épületszerkezetek az elsődleges tartószerkezeti elemekként jelennek meg, ezek az elsődleges tartószerkezeti elemek több funkciót látnak el, egyrészt az épület állékonyságához stabilitásához elengedhetetlenek, más tartószerkezeti elemekkel szorosan együttműködnek és biztosítják a térelhatároló szerepét is. A primer szerkezetek egy adott épületben a legelső fázisban készülnek és a bontás utolsó fázisig maradnak. Ennek a megválasztása a legfontosabb feladatok egyike. Függ tőle az épület élettartama, az ökológiai lábnyoma, a használhatósága és az átalakíthatósága is. A primer szerkezetek fogják megadni az épület formáját, tömegét és a geometriáját is, mivel erre épülnek a többi csoportban található összes épület szerkezeti elem. Hogy az ökológiai lábnyomát csökkenteni tudjuk egy adott épületnek, azt kell elérnünk, hogy az az üzemeltetés fázisa meg nyúljon. Ezért a primer szerkezetek védelme a legfontosabb feladat.

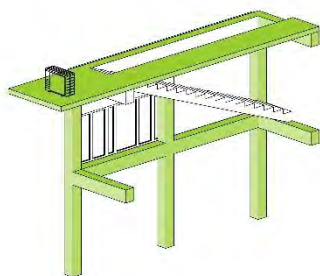
A secunder szerkezeti elemek azok az elemek, amelyek nem szükségesek az épület állékonyságához, viszont a használhatóságához elengedhetetlen. Ezek az elemek a belső terekben helyezkednek el, válaszfal, lépcső és egyéb szerkezeti elemként, annak anyaga változó lehet. Itt lehet a legtöbb és legokosabb döntést, hozni, hogy ezek a secunder elemek a legkörnyezettudatos anyagból készüljenek, mivel tartószerkezeti követelményeik nincsenek, csak használhatósági.

A terciér szerkezeti elemekhez kerültek azok az elemek amelyek a külső és belső hatásoktól védik a primer szerkezeteket. A terciér szerkezetek egyfajta héjat képeznek az épület körül így csökkentve annak a szerkezetnek a károsodását, ezek megjelennek kisegítő, épületfizikai és anyag tulajdonság javító szerepben mint például hőszigetelés, de megjelennek védő elemként is mint például burkolat, amely az az esztétikai megjelenés mellett az időjárási viszonytagságoktól is védi a primer szerkezetet.

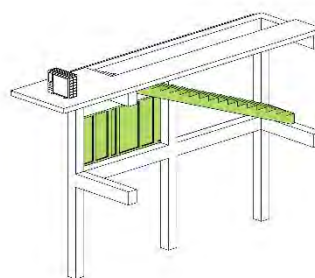
A quater szerkezetekhez sorolom be azokat a szerkezeti elemeket, amelyeket az épület üzemeltetéséhez és komfort feltételeinek biztosításához elengedhetetlenek. Ide tartozó épületgépészeti elemek különböző fűtő, hűtő, szellőző gépészeti rásegítések. Ezeknek egyik feladata a belső komfort feltételek biztosítása a felhasználók számára, viszont másodlagos szerepet is kapnak. Mivel ha egy adott épületet folyamatosan használunk, annak az amortizációja lassabb, mint ha nem használnánk. A különböző fűtő bérrendezések a téli hőmérséklet csökkenésben védi a falszerkezetek mivel a fűtési ciklusban kiszárítja a falakat, így a külső természeti hatások kevésbe fogják „megtámadni” a primer szerkezeteket. A quater szerkezet szoros összefüggésben áll a primer szerkezetekkel és azok élettartalmával.

2. *ábra:*

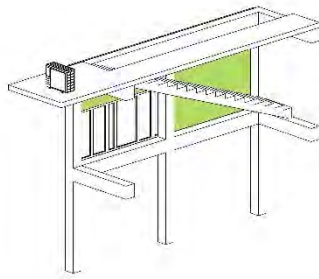
### Tartószerkezeti elemek



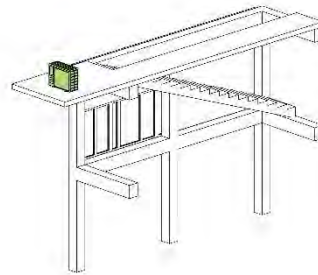
Primer tartószerkezeti elem



Secunder tartószerkezeti elem



Tercier tartószerkezeti elem



Quarter tartószerkezeti elem

Saját készítésű ábra

## ÖSSZEGZÉS

A szerkezeti optimalizáció megkezdéséhez létre kell hozni, az új csoportosítást, amellyel leegyszerűsítve lehet értelmezni, a különböző épület szerkezeti elemeket, anyagokat. A megalkotott csoportok segítenek értelmezni és le egyszerűsíteni a lakóépületek anyagfelhasználásának a vegyítését úgy, hogy az a lehető legkörnyezetbarátabb legyen az építési folyamatra vetítve. A kutatás végkimenetele az alapok felhasználásával, az építőanyagok kiválasztása, majd azoknak a paramétereinek a felhasználásával, egy meglévő vagy egy tervezés fázisa alatt lévő épületre vetítve, optimalizálni azt. A folyamat bonyolultsága és komplexitása révén, több opció és variáció jelenhet meg.

Első lépésben az alapanyagokat kell elemezni, melynek során arra a következtetésre jutottam, hogy a felület szerkezetek nem alkalmas a szerkezet optimalizációra. A felület szerkezetek (tömör vázkerámia falazat stb.) létrehozása nagyon egyszerű viszont nagyon sok kompromisszummal jár a megépítés után. Mivel a tömör falak nagyon sok alapterületet vesznek el, ezért kevesebb lesz a hasznos területünk, emelet az átalakíthatósága bonyolult nehézséges folyamat. A nyílászárók szabadon nem alakíthatóak, mivel a felette lévő áthidalót bővíteni bonyolult folyamat. Ezzel szemben az általam vizsgált rúd szerkezetek, lehetővé teszik a szabad homlokzatképzést, a kirekesztések könnyű és gyors átalakíthatóságát. A belső válaszfalak gyorsan és könnyen átépíthetőek, ezáltal a funkció váltás egyszerűbb folyamat. A funkcióváltás kulcsfontosságú egy épület esetén, mivel kevesebb energia befektetéssel jár, mint egy új épület építése, ezáltal csökkenteni tudjuk a környezetre gyakorolt hatását az épületünknek. A rúd szerkezetek pozitívumát képezik az anyagok amelyekből építhetők, itt három anyag jelenik meg, a fa az acél és a vasbeton/beton. Ezeknek a kombinációja és gondos tervezése elősegítik a káros anyag kibocsájtás minimalizálást, illetve ezeket az anyagokat úgy tudjuk, vegyíteni, hogy a teljes életciklusa az épületünknek ne sérüljön.

A kutatás igazolása érdekében a következő fázisban egy épületre, amely terv szinten van fogok vizsgálatokat végezni, hogy milyen módon lehet csökkenteni a káros anyag kibocsájtást a primer szerkezetek gondos kombinációjával.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kara által, az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 számú, „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodás Tematikus Hálózat – RING 2017” című projekt keretében kiírt ösztöndíjpályázat segítségével valósulhatott meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

1. Magyar Építéstechnika 2015/2-3. - „A szürke eminens” A fa mint környezetbarát építőanyag - 36. oldal  
[http://publicatio.nyme.hu/637/1/2015\\_02\\_03\\_EPTECH\\_u.pdf](http://publicatio.nyme.hu/637/1/2015_02_03_EPTECH_u.pdf)
2. Tóthné Kiss Klára – Építőanyag 58. évf. 2006. 4. szám – 118-122. oldal  
<https://epitoanyag.org.hu/static/upload/10.14382epitoanyag-jsbcm.2006.19.pdf>
3. Horváth Tamás, PHD hallgató – Széchenyi István Egyetem, Győr – 2008. január – Az életciklus-értékelés alkalmazásai a fenntarthatóbb épített környezetért – 4-6. oldal
4. <http://www.sze.hu/~htms/blog/lcac/cikk.pdf>
5. Weihong Li – Sustainable design for low carbon architecture – Procedia Environmental Sciences 5 ( 2011) 173 – 177 – 2011 Published by Elsevier Ltd. Open access under CC BY – NC – ND license – 174-175. oldal
6. G. Lámber – Épületszerkezetek és Stuktúrák. I. rész. Az épületek csoportosítása a tartószerkezeti váz alapján – 58-64. oldal
7. Forrst Meggers, Hansjürg Leibudgut, Shelia Kennedy, Menghao Qin, Mike Schlaich, Werner Sobek, Massanori Shukuya - Reduce Co2 from buldings with technology to zero emissions – Sustainable Cities and Society 2 (2012) - 29–36 oldal
8. Déry Attila – Öt könyv a régi építészetéről – Alapozások és szerkezeti anyagok – Hungarian edition TERC Kft., Budapest 2010, Dr. Déry Attila, 2010 – 194-195. oldal
9. Dr. Buday Tibor, Márkus Péter, Szabó Attila, Törökné Horváth Éve – Anyagismeret – Műszaki könyvkiadó, Budapest 2001 – 29, 51, 95. oldal
10. Bajza József – Szemrevételezéses épületdiagnosztika második kiadás TERC, Budapest 2003,2006 – 42, 48-49, 61, 71-72, 82, 90-91, 97-98, 110, 124, 146-147, 155, 161 oldal.
11. Bársonyos István – Magasépítéstan I. Szega Books Kft, Pécs, 2008 – 5-8. oldal
12. Kokas Balázs DLA értekezés – Gazdaság – Környezet – Társadalom, Pécs 2019 – 10-17. oldal

Le Duong Hung Anh - Pásztor Zoltán

\*Corresponding author: [Duong.Hung.Anh.Le@phd.uni-sopron.hu](mailto:Duong.Hung.Anh.Le@phd.uni-sopron.hu)

*Innovation Center, University of Sopron, Hungary*

## **REVIEW OF THE EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF NATURAL FIBER INSULATING MATERIALS**

### **ABSTRACT**

The demand for thermal insulators from natural materials, energy efficiency and sustainable power strategies has been rising significantly in recent decades. The thermal performance of a building depends on the thermal characteristics of its envelope, which is mainly determined by its thermal conductivity. However, the  $\lambda$ -values can be greatly affected by the presence of moisture which is determined by relative humidity in the surroundings. This paper presents the effect of moisture content factor on the thermal conductivity coefficient of some common natural fibrous insulation materials used in building construction such as sheep's wool, hemp, jute, and flax, etc. Natural fibers-based construction materials are the most promising for buildings due to various benefits such as environmental protection, low embodied energy, and low health impact compared with conventional insulation, which is made from foam polystyrene or inorganic materials. Because the thermal performance of insulation materials derived from natural fibers changes due to its sensitivity to moisture percentage, it is essential to know the relationship between thermal conductivity and moisture levels.

*Keywords: thermal conductivity, moisture content, natural fiber insulation materials*

### **1. Introduction**

Since the energy consumption of buildings accounts for a considerable part of the global total energy, there is a strong demand to improve the energy efficiency in buildings and constructions. According to Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010, on the energy performance of buildings, new construction will have to consume nearly zero energy and that energy will be to a very large extent from renewable resources [1]. This is because the construction sector has been identified as the largest energy consumer, generating up to 1/3 of global annual greenhouse gas emissions, contributing up to 40% of the global energy, and consuming of 25% of the global water worldwide [2, 3]. The increased consumption of natural resources for lighting, refrigeration, ventilation, recycling, heating and cooling system in commercial buildings due to the acceleration of urbanization, results in the enormous expenditure for used energy. As energy becomes more precious and the global demand is predicted to increase by 55% in the next decade [4], the use of thermal insulation materials is being enforced in buildings and constructions. Therefore, it is necessary to develop new advanced insulation materials, especially from natural and agricultural resources with high thermal resistance values to achieve better energy efficiency and to enhance sustainable energy strategies.

The main objective of this work is to present some common alternative insulation materials based on natural fibers and evaluate the effect of moisture content on their coefficients of thermal conductivity.

## 2. Natural fibrous insulation materials

A wide range of fibers can be used in the production of insulation materials, both natural fibers (plants, farm wastes, and minerals) or artificial fibers (natural polymers, synthetic polymers, and non-polymers). The most beneficial effect of the insulation based natural fibers is not only its low value of thermal conductivity but also the natural character of these fibers. Another advantage is that it is a renewable material which has no strong impact on the environment and health. When compared with conventional materials such as foam polystyrene or mineral wool, they have sometimes even better thermal performances. Some disadvantages are their high wettability and absorbability due to their open pore structure as well as being flammable. Besides, they are easily attacked by biological fungi and parasites [5]. Nevertheless, they can be used as a potential insulation material in construction they are modified properly by chemical treatment.

## 3. Thermal conductivity coefficient

The main role of thermal insulation materials in a building envelope is to prevent heat loss and provide thermal comfort for the occupants of a building. The thermal performance of a building envelope depends to a great extent on the thermal effectiveness of the insulation layer which is mainly determined by its thermal conductivity. This is the time rate of steady-state heat flow through a unit area of a homogeneous material in a direction perpendicular to its isothermal planes, induced by a unit temperature difference across the sample [6-8]. A series of practical experiments concluded the thermal conductivity coefficients of conventional materials including mineral wool, and foam polystyrene range from 0.02 to 0.04 W/mK. While the thermal conductivity values of alternative insulation materials made from natural fibers vary from 0.04 to 0.09 W/mK as shown in table 1. According to the DIN 4108, "Thermal insulation and energy economy in buildings", materials with a  $\lambda$ -value lower 0.1 W/mK may be classed as thermal insulating materials. Most insulating materials with thermal conductivity ranging from 0.03 to 0.05 W/mK can be regarded as good [9, 10].

**Table 1**

**Thermal properties of some natural fibrous insulating materials**

| Insulation materials | Density (kg/m <sup>3</sup> ) | Specific heat capacity (kJ/kg.K) | Moisture content (%) | Thermal conductivity (W/m.K) | Water vapour diffusion resistance factor | Sources          |
|----------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------------------|------------------|
| Hemp                 | 20 – 68                      | 1.5 – 2.2                        | 6 – 12               | 0.04 – 0.05                  | 1 – 2                                    | [10-12]          |
| Flax                 | 20 – 80                      | 1.3 – 1.64                       | 8 – 12               | 0.037 – 0.045                | 1 – 2                                    | [10-12]          |
| Jute                 | 35 – 100                     | 2.3                              | 12 – 14              | 0.038 – 0.055                | 1 – 2                                    | [10-13]          |
| Sheep wool           | 25 – 30                      | 0.96 – 1.3                       | 15 – 35              | 0.034 – 0.045                | 1 – 5                                    | [10, 12]         |
| Coconut              | 70 – 120                     | 1.3 – 1.6                        | 11 – 13              | 0.04 – 0.055                 | 1 – 2                                    | [10, 11]         |
| Cork                 | 100 – 220                    | 1.7 – 2.1                        | 4 – 12               | 0.038 – 0.07                 | 5 – 10                                   | [9, 12, 14]      |
| Bagasse              | 70 – 120                     | 1.87                             | 6 – 7                | 0.046 – 0.068                | N.A.                                     | [11, 13, 15, 16] |
| Cotton               | 20 – 60                      | 0.84 – 1.3                       | 8 – 25               | 0.04                         | 1 – 2                                    | [10, 11]         |
| Cellulose            | 30 – 80                      | 1.7 – 2.15                       | 8                    | 0.04 – 0.045                 | 1 – 2                                    | [10, 12]         |
| Rice straw           | 154 – 168                    | 1.2                              | 6 – 10               | 0.046 – 0.057                | N.A.                                     | [13, 16]         |
| Reeds                | 120 – 225                    | 1.2                              | 6 – 8                | 0.045 – 0.056                | 2 – 5                                    | [10, 16]         |
| Wood                 | 30 – 270                     | 1.6 – 2.1                        | 3 – 14               | 0.038 – 0.09                 | 5 – 10                                   | [10]             |
| Wood wool            | 350 – 600                    | 1.6 – 2.1                        | 13 – 15              | 0.09                         | 2 – 5                                    | [10]             |

#### 4. Moisture-dependent thermal conductivity

As natural fibers materials are naturally hygroscopic and have a porous structure, they can accumulate moisture by adsorption from the air. The capabilities of penetrating moisture into the internal open pore system at increased relative humidity significantly affect the temperature distribution and thermal conductivity as well. Results from experimental investigation found that higher moisture content of fibrous insulation is always associated with higher  $\lambda$ -value [17].

Tye and Spinney [18] found that thermal conductivity of loose fill cellulose fiber insulation increased by 15% for each 10% increase in moisture absorption. Sandberg described the moisture-dependent thermal conductivity as a linear function [19]. Another study concluded that an increase in 1% of moisture content can lead to an average increase of 1.2 to 1.5% in  $\lambda$ -values and even when its highest moisture content was reached, thermal conductivity continued to increase from 1.6 to 2% [20]. For a variation of moisture content by weight, the thermal conductivity of concrete-based hemp fibers can increase by 25% from a dry state after it reaches 90% relative humidity [21]. The effect of moisture in the thermal conductivity of bio-based concrete made from hemp, flax, and straw was investigated in the range of temperature from 10 to 40°C [22]. The thermal conductivity increases since moisture content increases and the effect is more important at high temperatures over 40°C. The relationship of three bio-based natural fiber samples is also presented as a linear function. Practical results collected from the impact of moisture content on the samples made from natural fibers include hemp, shive, and flax showed a significant increase in thermal conductivity as the moisture content increases from the dry state to 80% relative humidity [23].

The dependence of thermal conductivity of sheep wool on moisture content was investigated [24]. Measurements show that the sample contained sorption humidity around 20% under normal conditions of 15-95% relative humidity and their coefficient of thermal conductivity was significantly affected by moisture content which varied from 20 to 70%. A study on the presence of a small percentage of water showed a significant increase in thermal conductivity of the bagasse sample. When 5% moisture by weight was absorbed in an atomized form, the thermal conductivity increase by about 17% over the test density ranges from 45 to 110 kg/m<sup>3</sup> [25]. A very strong correlation between  $\lambda$ -values and water content was found for kenaf fibers in which a 19% of water content increase leads to a 41% increase of thermal conductivity. The relationship between thermal properties and moisture content of bagasse was examined [26]. Result showed that the thermal conductivity ranged from 0.09 to 0.1 W/m.K and increased with increase in moisture content through the range of 8.52%-28.62%.

#### 5. Conclusions

This investigation presents the effect of moisture content on thermal conductivity of some insulation materials made from natural fibers. Natural fibrous insulation materials can be favorably worked very well in commercial buildings in combination with common building materials to achieve more sustainable solutions to solve the problems of the energy consumption and healthy interior environment. When compare to traditional materials, they can bring advantages in thermal comfort and energy efficiency. The thermal conductivity values vary from 0.03 to 0.09 W/mK and thermal performance is affected significantly by the moisture content.

The investigations showed that the moisture effect can lead to a significant increase of thermal conductivity and the relationship is linear at a given temperature and low range of moisture in the steady state. Due to the high absorption of water into the open-cell structure

of natural fibrous materials, it is essential to determine the effect of moisture content on the thermal conductivity to predict the aging of insulation made from fibrous materials over the time.

## REFERENCES

1. **Parliament, E.:** "Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings." Official J.Eur.Communities, Chapter 12 Volume 003 2010, 124-146.
2. **Lemmet, S.:** "Buildings and Climate Change. Summary for Decision-Makers." UNEP SBCI, 2009.
3. **UNEP:** "ENERGY EFFICIENCY FOR BUILDINGS."
4. **USEIA, E.:** "International Energy Outlook 2018 - Highlights." ed, 2018.
5. **Zach, J., Hroudová, J., Brožovský, J., Krejza, Z. and Gailius, A.:** "Development of thermal insulating materials on natural base for thermal insulation systems." *Procedia Engineering*, 57 2013, 1288-1294.
6. **C168, A. S.:** "Terminology relating to thermal insulating materials." 2013.
7. **Tamás, M., József, F. and Roland, S.:** "Geopolimer-EPS kompozit szigetelő anyagok eredő hővezetési tényezőjének elméleti és kísérleti vizsgálata." *Építőanyag (Online)*, (3) 2017, 74-82.
8. **Faitli, J., Magyar, T., Erdélyi, A. and Murányi, A.:** "Characterization of thermal properties of municipal solid waste landfills." *Waste Management*, 36 2015, 213-221.
9. **Jelle, B. P.:** "Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions—Properties, requirements and possibilities." *Energy and Buildings*, 43(10) 2011, 2549-2563.
10. **Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M. and Rudolphi, A.:** "Insulating materials: principles, materials, applications." ed: Walter de Gruyter, 2012.
11. **Wang, H., Chiang, P.-C., Cai, Y., Li, C., Wang, X., Chen, T.-L., Wei, S. and Huang, Q.:** "Application of wall and insulation materials on Green building: A review." *Sustainability*, 10(9) 2018, 3331.
12. **Herrera Martínez, M. and Páez Soto, D. A.:** "Renewable Insulation Materials Constructed from Colombian Materials According to the Principles of Sustainable Development: a Review." *Tecciencia*, 13(24) 2018, 27-42.
13. **D'Alessandro, F., Schiavoni, S., Bianchi, F. and Asdrubali, F.:** "Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62 2016, 988-1011.
14. **Jelle, B. P.:** "Nano-based thermal insulation for energy-efficient buildings." in *Start-Up Creation*, ed: Elsevier, 2016, 129-181.
15. **Panyakaew, S. and Fotios, S.:** "New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse." *Energy and buildings*, 43(7) 2011, 1732-1739.
16. **Asdrubali, F., D'Alessandro, F. and Schiavoni, S.:** "A review of unconventional sustainable building insulation materials." *Sustainable Materials and Technologies*, 4 2015, 1-17.
17. **Abdou, A. and Budaiwi, I.:** "The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content." *Construction and Building materials*, 43 2013, 533-544.
18. **Tye, R. P. and Spinney, S.:** "A study of the effects of moisture vapour on the thermal transmittance characteristics of cellulose fibre thermal insulation." *Journal of Thermal Insulation*, 2(4) 1979, 175-196.

19. **Sandberg, P.:** "Determination of the effects of moisture content on the thermal transmissivity of cellulose fiber loose-fill insulation." in *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Building III, ASHRAE/DOE/BTECC/CIBSE Conference 517e25*, ed, 1992.
20. **Vėjelis, S., Gnipas, I. and Keršulis, V.:** "Performance of loose-fill cellulose insulation." *Mater. Sci*, 12(4) 2006, 338-340.
21. **Collet, F. and Prétot, S.:** "Thermal conductivity of hemp concretes: Variation with formulation, density and water content." *Construction and building materials*, 65 2014, 612-619.
22. **Rahim, M., Douzane, O., Le, A. T. and Langlet, T.:** "Effect of moisture and temperature on thermal properties of three bio-based materials." *Construction and Building Materials*, 111 2016, 119-127.
23. **Hroudova, J. and Zach, J.:** "Acoustic and thermal insulating materials based on natural fibres used in floor construction." *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Civ. Environ. Eng*, 8 2014, 1152-1155.
24. **Zach, J., Korjenic, A., Petránek, V., Hroudová, J. and Bednar, T.:** "Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool." *Energy and Buildings*, 49 2012, 246-253.
25. **Kochhar, G. S. and Manohar, K.:** "Effect of moisture on thermal conductivity of fibrous biological insulating materials." Retrieved March, 12 2014.
26. **Mahapatra, A. K.:** "Thermal properties of sweet sorghum bagasse as a function of moisture content." *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(4) 2018, 108-113.



Karacaoglan G., Halyag N., Mucsi G.

gizem.karacaoglan.68@gmail.com

*Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing, University of Miskolc,  
Hungary, H3515 Miskolc Egyetemváros*

## **COMPARATIVE INVESTIGATION OF ZEOLITE GRINDING IN STIRRED MEDIA MILL AND PLANETARY BALL MILL**

### **ABSTRACT**

Zeolites are porous materials which can be used in the treatment of wastewater or polluted air for instance. In order to increase their adsorption capacity and make them even more effective for this application, zeolites can be mechanically activated by grinding. This process may lead to changes in particle size distribution, material structure, morphology, and specific surface area, depending on the grinding time and the type of mill that would be used for this operation. Thus, the aim of this study is to compare the changes occurring in a natural Hungarian zeolite when dry-ground in stirred media mill and planetary ball mill for different times. At the same time, the energy efficiency of both types of mill was also compared. The particle size distribution as well as the outer specific surface area of the materials obtained after each grinding were characterized with a Laser Particle Size Analyzer. The structure and particle morphology of the obtained materials were also observed using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The total specific surface area was analyzed with a BET Specific Surface Area and Porosity Analyzer.

*Keywords:* zeolite, mechanical activation, energy efficiency, stirred media mill, planetary ball mill, material characterization

### **Introduction**

Zeolite is the denomination for a category of around 40 different rock types from volcanic origin and constituted of a crystalline aluminum hydrosilicate network. This type of mineral is ordered in 3-Dimensional silica-alumina ( $\text{SiO}_4\text{-AlO}_4$ ) tetrahedra connected by shared oxygen atoms, forming a honeycomb-like framework. This framework combined to the overall negative charge of the net gives rise to important adsorption and cation-exchange properties of zeolite.

Due to these properties, zeolites are used in various fields, mainly in agriculture, in order to increase the nutrient uptake efficiency, but also in the construction field to replace a part of cement and make it more sustainable and durable [1]. Another important domain where the unique properties of zeolites can be used is in the treatment of water, be it to remove heavy metals, hazardous ions or industrial dyes [2]. Similarly, a layer of zeolite can be added to biofilters in order to treat polluted air by trapping, then destroying volatile organic compounds [3].

In order to further improve zeolite's properties, Bohács et al [4] have shown that mechanical activation by fine-grinding in a stirred media mill seems to be an efficient solution. What this means is the comminution under 50  $\mu\text{m}$  of the material leads to property

changes, like higher specific surface area, modified particle size distribution, and new structure. These changes can be reached by high energy density mills like the planetary ball mill or the stirred media mill. The difference between these, besides the structure of their apparatus, is their maximum achievable acceleration, which is lower for the planetary ball mill. However, due to its ability to be used in inert atmosphere, planetary ball mill is usually used to produce small quantities of materials for high-tech application, while the stirred media mill is mainly used for high scale processes. One disadvantage of the latter, however, is its sensitivity for aggregation, which could be problematic to a certain extent [5].

So the aim of our research is to grind a natural zeolite in two different mills for various times and compare the properties of the end products as well as the energy efficiency of both mills. Thus, we can decide which mill type would be better to get the highest added value zeolite for applications in treatment processes.

## **Materials and methods**

### ***Material***

The natural zeolite used in the following study comes from the Hungarian Rátka deposit. It is mainly constituted of clinoptilolite. The particle density of the zeolite is  $1.91 \text{ g/cm}^3$  and its bulk density is  $0.445 \text{ g/cm}^3$ . Before grinding, the feed material was sieved under  $100 \text{ }\mu\text{m}$ , with a median particle size of  $16.9 \text{ }\mu\text{m}$ .

### ***Methods***

#### ***Mechanical activation by grinding***

For the mechanical activation of zeolite, a stirred media mill set in horizontal configuration and in dry and batch mode, as well as a planetary ball mill in dry mode, were used.

In the case of the laboratory stirred media mill, the useful volume of the mill was  $530 \text{ cm}^3$ , 70 % of which was filled with the 0.8 – 1 mm sized zirconium silicate ceramic grinding balls. The chosen material filling ratio was 50 %. The rotor circumferential velocity of the mill was 6 m/s. The different grinding times analyzed in this experiment were 1 min, 3 min, 5 min, 10 min, and 20 min. After grinding, the balls and the zeolite were separated on  $500 \text{ }\mu\text{m}$  sieves.

The grinding experiments were repeated by Fritsch Pulverisette 5 Premium line high energy density planetary ball mill. For the mechanical activation two 150 ml grinding bowls were used with zirconium oxide balls and a diameter of 5 mm. Each bowl was filled with 30 g zeolite and 150 g grinding balls, the circumferential velocity and the grinding times were the same as for the stirred media mill. After each grinding experiment, the energy used by the mill was also noted.

#### ***Particle size distribution and geometric specific surface area***

The particle size distribution and the “outer” (geometric) specific surface area of the obtained ground products were determined by a HORIBA LA-950V2 laser particle size distribution analyzer. The material was dispersed in distilled water with 1 mL sodium pyrophosphate, and ultrasonic treatment was applied during the measurements to improve the dispersion of fine particles. From the measured data, the particle size distribution was calculated based on the Mie-theory by using clinoptilolite refractive index, and the geometric

specific surface area was calculated by the same device using shape factor 1.0 (Heywood factor).

### ***Specific surface area by BET***

Micrometrics VIII Gemini type BET specific surface area analyzer was used to get more information about specific surface area (SSA). The sample preparation include the degassing in ultra-high purity nitrogen for a night at 105°C to remove the adsorbed water. The SSA was determined by a 5-point BET measurement with nitrogen.

### ***FTIR***

Structural changes were analyzed by Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, in order to detect the vibrations of chemical bonds within the material. A JASCO FTIR 4200-type Fourier Transform Infrared Spectrometer was utilized for this purpose, which was set in reflection mode with a diamond ATR PRO470-H. The background spectrum was recorded at room temperature with empty cell. The spectrum for each sample was measured from 400 cm<sup>-1</sup> to 4000 cm<sup>-1</sup> using a Perkin-Elmer spectrum, which determines the absorption spectrum of the samples. Each spectrum was baseline corrected.

### ***Microstructural analysis by SEM***

In order to observe the morphological changes of particles (shape and size) after grinding, Phenom ProX electron microscopy equipped with EDS detector was used. The sample preparation included the dispersion of ground zeolite particles on a carbon stick placed on an aluminum sample holder. Elemental analysis of the sample was performed by using accelerating voltage of 15 kV.

## **Results and discussion**

### ***Mechanical activation by grinding***

In order to compare the energy consumptions of the stirred media mill and planetary ball mill, the specific grinding energies for each grinding experiment were computed, and the median particle sizes and 90 % passing sizes ( $d_{90}$ ) obtained after each grinding were plotted as a function of the calculated values, as shown on Figure 2. Figure 1 shows the cumulative particle size distributions obtained for each ground product. The first point of each curve corresponds to a grinding time of 1 min, the second point is the 3 min grinding, the third is 5 min, the fourth point corresponds to 10 min, and the fifth is the 20 min grinding.

What can be seen in this Figure is the high effectiveness of the stirred media mill compared to the planetary ball mill under the given circumstances. Indeed, stirred media mill gives finer particles with a lower specific energy. For one grinding experiment with a defined grinding time, the planetary ball mill requires almost 4 times more energy while giving coarser particles. A significant example of that is the 20 min grinding experiment, which is represented by the last point of each curve on Figure 2. In this case, the  $d_{90}$  obtained with the stirred media mill is 17.47  $\mu\text{m}$  with 7189.08 kJ/kg, and for the planetary ball mill, the  $d_{90}$  was 47.27  $\mu\text{m}$ , which is about 3 times coarser, with an energy of 25 800.00 kJ/kg.

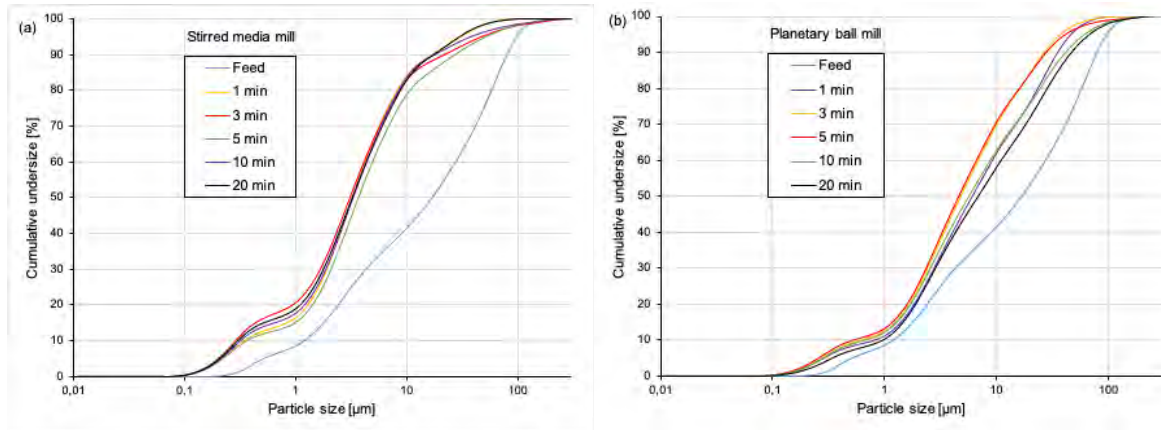


Figure 1

Particle size distribution of the zeolite feed and the products after different grinding times for the stirred media mill (a) and the planetary ball mill (b).

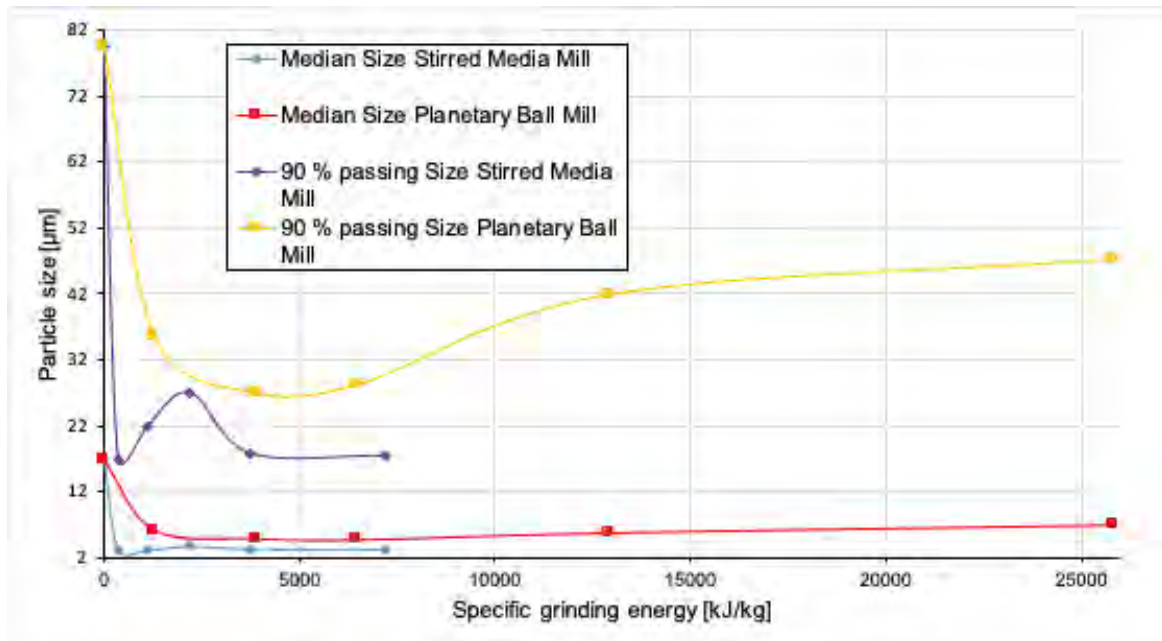


Figure 2

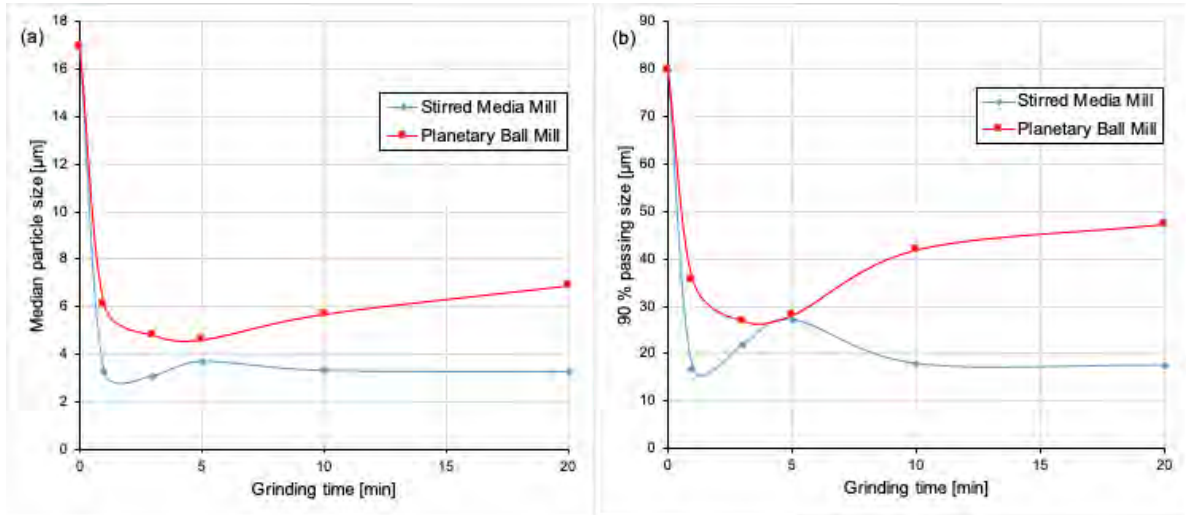
Median particle size and  $d_{90}$  as a function of the specific grinding energy for stirred media mill and planetary ball mill.

### Particle size distribution and geometric specific surface area

Figure 1 shows the cumulative particle size distribution for both mills. For the stirred media mill, a significant decrease of the particle size can already be noticed at 1 min. While the  $d_{90}$  for the zeolite feed was 79.66  $\mu\text{m}$ , it dropped to 16.87  $\mu\text{m}$  at 1 min, and stays between 17  $\mu\text{m}$  and 28  $\mu\text{m}$  for the next grindings. As for the planetary ball mill, we can see that the particles become finer until 5 min, then they start aggregating, leading to the curves coming closer to the feed's curve. Indeed, in this case, the finest  $d_{90}$  is obtained after 3 min, with 26.91  $\mu\text{m}$ , which then increases up to 47.27  $\mu\text{m}$  after 20 min.

The median particle size and the  $d_{90}$  after each grinding and for each mill are presented in Figure 3. This clearly shows a size diminution phase and an aggregation phase. For the case

of the planetary ball mill, it can be seen that the 1 min and 3 min grindings give a particle size decrease, and longer grinding times result in an aggregation phenomenon. On the other hand, the stirred media mill has 2 patterns: The first minute of grinding gives a particle size reduction and particles then rapidly aggregate until the 5 min grinding. After 10 min, the particle size decreases again before stabilizing.



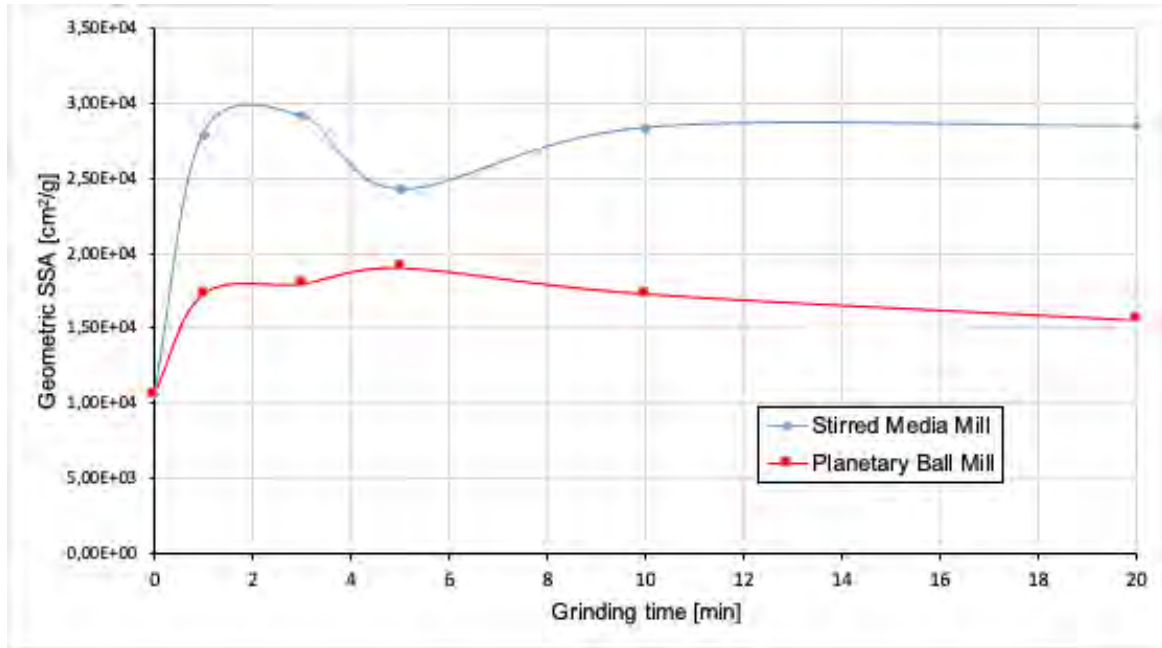
**Figure 3**

**Median particle size (a) and  $d_{90}$  (b) comparison for stirred media mill and planetary ball mill at different grinding times.**

The plot of the geometric specific surface areas (SSA) obtained after each grinding can be seen on Figure 4. Here, the geometric SSA for the stirred media mill experiments is clearly higher than those of the planetary ball mill. The highest SSA is obtained with the stirred media mill, before the aggregation phase, so before 5 min. The highest value we got was for the 3 min grinding, with  $2.91 \text{ m}^2/\text{g}$ , the feed's SSA being  $1.06 \text{ m}^2/\text{g}$ . In comparison, the highest value we got with the planetary ball mill was at 5 min with  $19\,055 \text{ cm}^2/\text{g}$ , which is around 1,5 times smaller than the highest value obtained by stirred media mill. From these experiments and the related patterns, it seems like the best material can be obtained by mechanically activating the zeolite feed in a stirred media mill between 1 min and 5 min.

So, the natural Hungarian zeolite sieved under  $100 \text{ μm}$ , when dry-ground with a horizontal stirred media mill, gives fine particles with a median size as small as  $3.10 \text{ μm}$  after 3 min of grinding with a specific grinding energy of  $1092.01 \text{ kJ/kg}$ . After grinding for 20 min, the particles obtained had a median size of  $3.25 \text{ μm}$  and the energy consumed was of  $7189.08 \text{ kJ/kg}$ .

When the zeolite material was dry-ground in a planetary ball mill, it gave larger particles compared to the stirred media mill, the smallest median particle size being  $4.63 \text{ μm}$  after 5 min of grinding with an energy of  $6450.00 \text{ kJ/kg}$ , compared to  $2184.02 \text{ kJ/kg}$  for the stirred media mill for the same grinding time. The planetary ball mill ended up giving particles with a median size of  $6.89 \text{ μm}$  after 20 min using  $25\,800.00 \text{ kJ/kg}$ , which is 2 times coarser particles for 3.5 times as much energy.



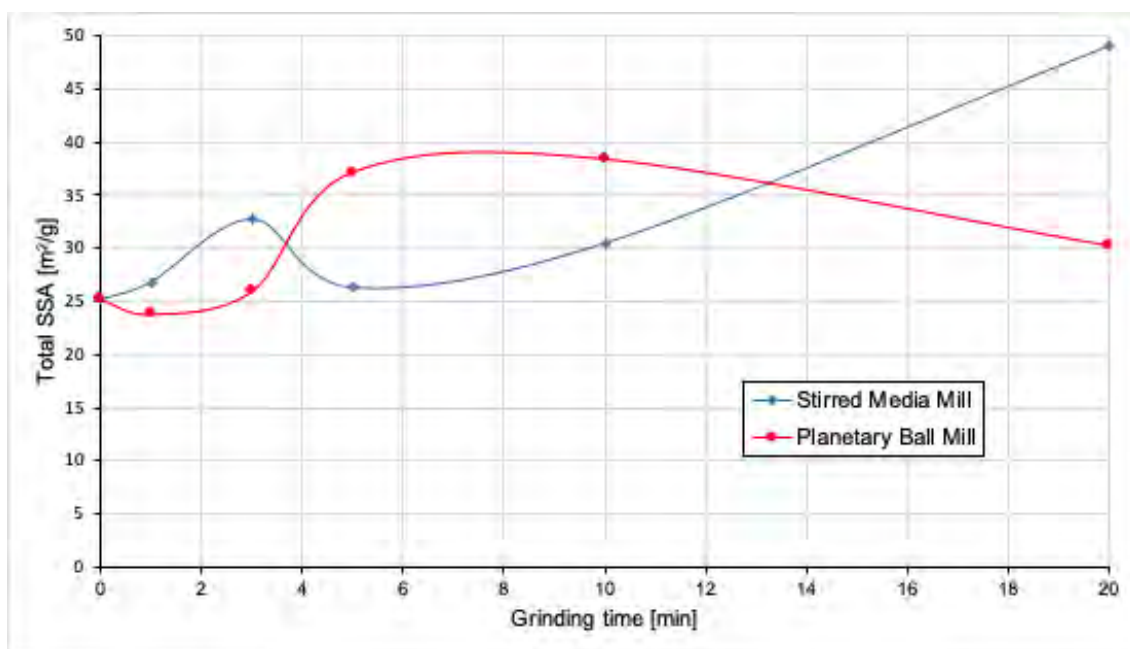
**Figure 4**

**“Outer” (geometric) specific surface area (SSA) comparison for the stirred media mill and the planetary ball mill after different grinding times.**

### ***Specific surface area by BET***

In Figure 5, we can find the plot of the total SSA of the stirred media mill and the planetary ball mill products. The curve for the stirred media mill looks very similar to the one in Figure 4: It starts with a rapid increase from a total SSA of 25.17 m<sup>2</sup>/g for the feed material to 32.75 m<sup>2</sup>/g after 3 min of grinding, then we see it decrease to 26.30 m<sup>2</sup>/g at 5 min, before increasing again up to its maximum value, 49.09 m<sup>2</sup>/g for the 20 min grinding product. This value is almost twice as high as the SSA of the feed zeolite. However the planetary ball mill shows a different behavior. After grinding the zeolite material for 1 min in the planetary ball mill, the total SSA value decreases to 23.81 m<sup>2</sup>/g before increasing again until a maximum value of 38.31 m<sup>2</sup>/g at 10 min. The total SSA then slowly sinks again due to the aggregation phase, reaching 30.23 m<sup>2</sup>/g after 20 min.

So, the results obtained with BET for the stirred media mill products are in accordance with the previous observations. As for the planetary ball mill results, they are in good agreement with the different phases of comminution and aggregation observed before.



*Figure 5*

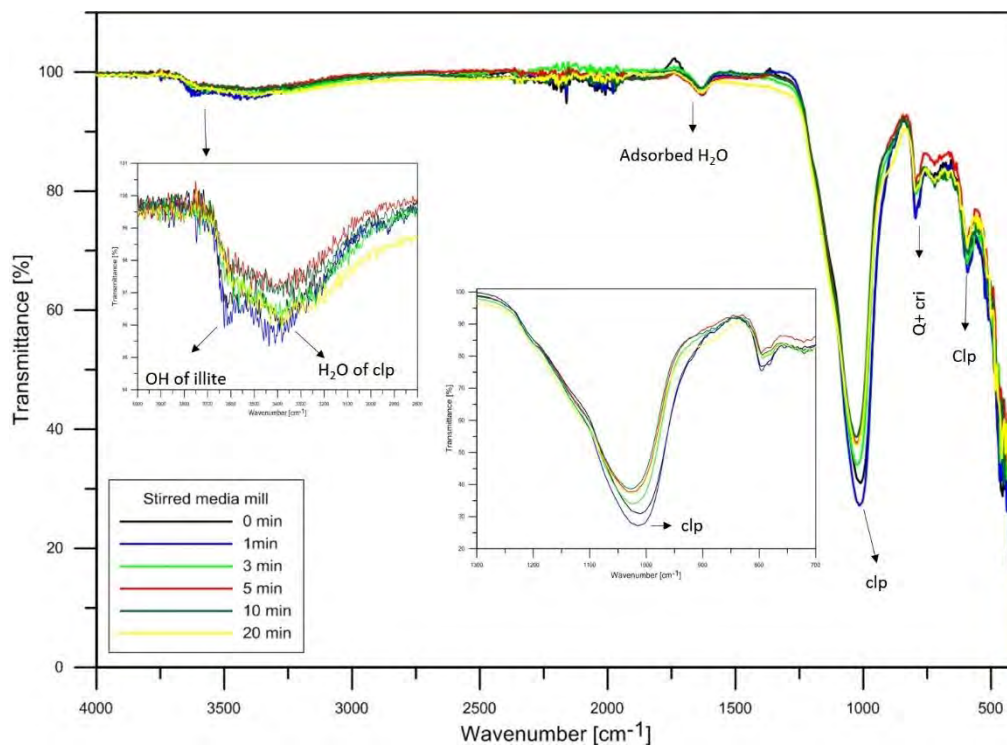
**Comparison of the total specific surface areas obtained with BET as a function of the grinding times.**

### **FTIR**

The FTIR analysis of the ground zeolite gives the spectra presented in Figures 6 and 7. The spectrum shows that the wide overlapping absorption band between  $3650\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$  centred at  $3420\text{ cm}^{-1}$  is related to the outer surface chemical groups of the clinoptilolite (clp) crystal structure that is associated with the stretching vibrations caused by O-H. Next to this broad band a small sharper peak at  $3630\text{ cm}^{-1}$  is attributed to the O-H stretching vibration of water in illite. The peak observed at  $1630\text{ cm}^{-1}$  is related to bending and stretching vibrations of H-O-H bond in surface adsorbed molecular  $\text{H}_2\text{O}$ . The absorption band between  $950\text{--}1260\text{ cm}^{-1}$  regions result from the bending and stretching vibrations of Si-O or Al-O bonds in the clinoptilolite structure. This band centred at  $\sim 1000\text{ cm}^{-1}$  and the position of this band depends on the Al/Si ratio. The band located at about  $420\text{--}500\text{ cm}^{-1}$  is assigned to a T-O bending mode.

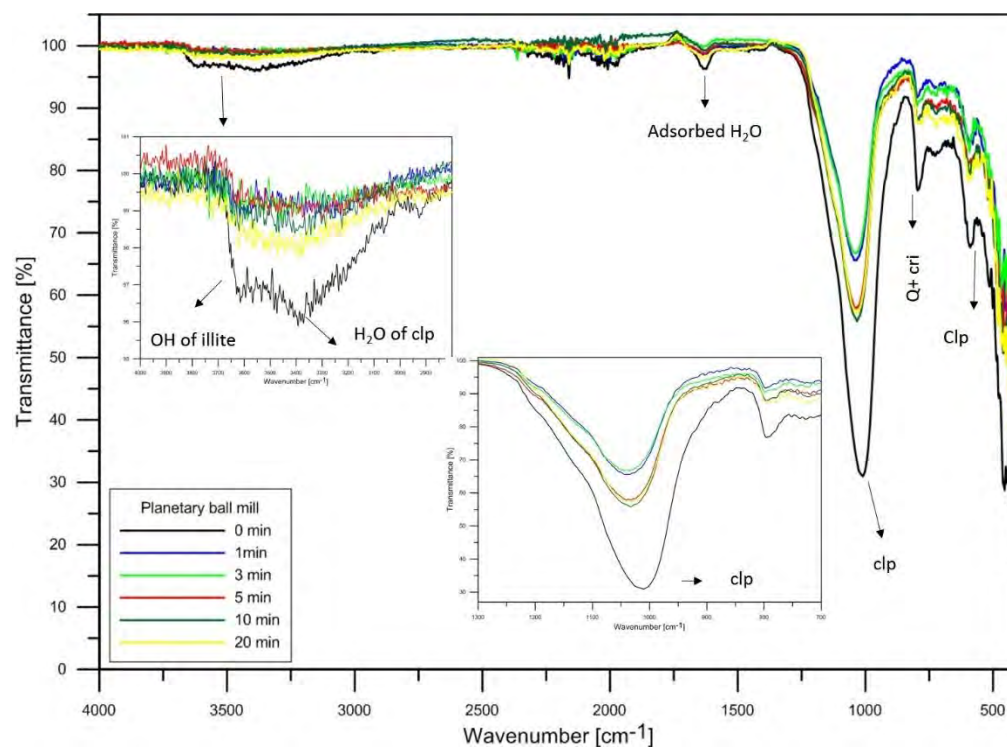
To compare the FTIR spectrum of the zeolite ground in stirred media mill and planetary ball mill it can be observed that the intensity of peaks are changed with grinding. This may be the result of a change of particle size, as the signal amplitude increases with a decrease in particle diameter. So, the results are well correlated with the laser particle size analysis. However, no phase change could be observed here.





**Figure 6**

**FTIR spectrum of the stirred media mill products.**



**Figure 7**

**FTIR spectrum of the planetary ball mill products.**



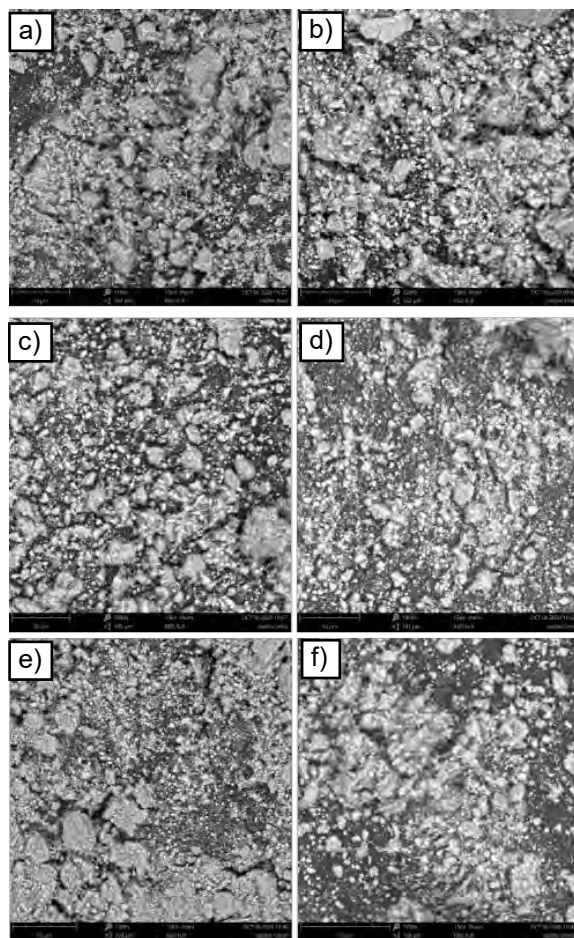
### ***Microstructural analysis by SEM***

With SEM, we can compare the morphology of the particles in each product. The EDS detector analyzed the elemental composition of the products as well: The major elements were Aluminum and Silicon, but Sodium, Potassium, Calcium and Magnesium also occur in low amount. These are all the species originally present in the mineral, which indicates that there was no contamination caused by the grinding.

As for the microstructure, the feed material contains large angular particles, as seen in Figure 8 a). From the scale on Figure 9 a), we could see that the particles are all less than 100  $\mu\text{m}$ , as they were sieved before the experiments. We can also note that the size distribution seems very wide, as we can see tiny particles and much larger particles, which is in correlation with the previous results from particle size analysis.

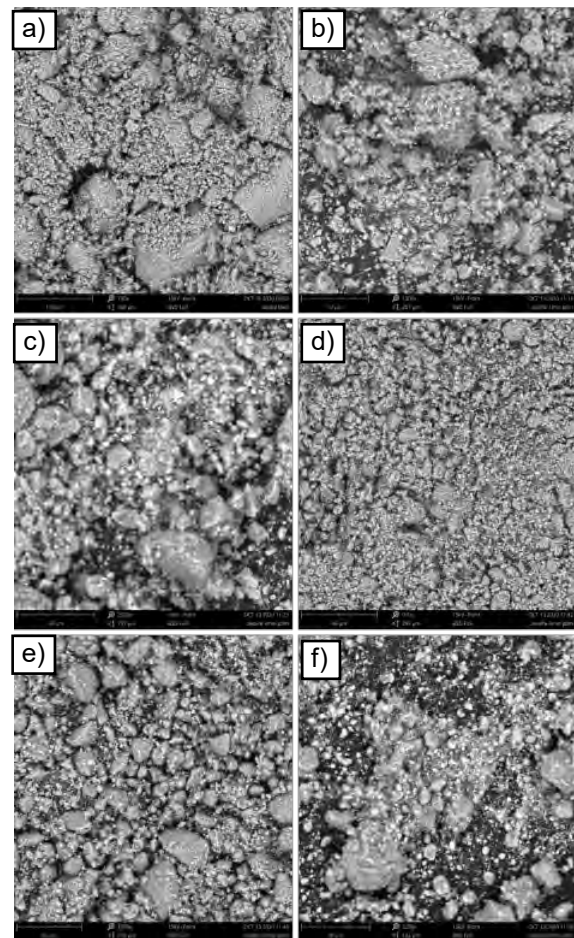
In Figures 8 and 9, the images b) correspond to the 1 min grinding product, c) to the 3 min one, d) is the image after 5 min of grinding, e) corresponds to 10 min of grinding and f) is the product after 20 min.

When we look at the products of the stirred media mill on Figure 8, the tendency underlined with the laser particle size analysis is encountered again: The particles become smaller and smaller until Figure 8 d), so until 5 min of grinding. Then, on the Figure 8 e) and f), which correspond to 10 min and 20 min of grinding, aggregates are clearly visible, as smaller particles have piled up into irregular coarse ones. Another particularity we can notice is the shape of the particles, as they tend to have smoother edges throughout the different grinding experiments, except for the Figure 8 e), the 10 min grinding, which shows harsher



***Figure 8***

**SEM images of the feed and the stirred media mill products.**



***Figure 9***

**SEM images of the feed and the planetary ball mill products.**

angles. On Figure 9, we can find the images for the planetary ball mill products. Here again, we can see the particles becoming smaller and with smoother angles until Figure 9 d), after grinding for 5 min. On Figures 9 e) and f), so the 10 min and 20 min grindings, particles form coarser aggregates. All of this is in good agreement with the previous results.

## Conclusion

Our results indicate that the properties of zeolite can be controlled by mechanical activation. Both planetary ball mill and stirred media mill produced particles with significantly finer particle size distribution (with submicron particles) and higher specific surface area compared to the feed material. Grinding kinetics of zeolite was similar but different was observed between efficiency. A first comminution step was noticed, followed by an aggregation step, and then leading to a new, slower, size decrease step. The products of the stirred media mill also had a high specific surface area (SSA) which was demonstrated by the BET measurements. The total SSA of the feed zeolite was 25.17 m<sup>2</sup>/g, while the 20 min product had a SSA of 49.09 m<sup>2</sup>/g, which is almost twice as high. Such favorable physical properties may lead to a product with high absorption capacity.

When comparing the mechanical activation of zeolite in a dry and horizontal stirred media mill with a dry planetary ball mill, it is clear the highest added value zeolite product was produced with stirred media mill while using much less specific grinding energy than the planetary ball mill.

Further research on this subject could focus on longer grinding times in the stirred media mill.

## REFERENCES

1. **Halyag, N., Mucsi, G.:** "Applications of natural zeolite as construction material - Review" Proceedings I. IPW Pécs February 2019, 37–46.
2. **Koshy, N., Singh, D.N.:** "Fly ash zeolites for water treatment applications" Journal of Environmental Chemical Engineering February 2016, 1460–1472.
3. **Zagorskis, A., Baltrėnas, P.:** "Air treatment efficiency of biofilter with adsorbing zeolite layer" Ekologija April 2010, 72–78.
4. **Bohács, K., Faitli, J., Bokányi, L., Mucsi, G.:** "Control of Natural Zeolite Properties by Mechanical Activation in Stirred Media Mill" Archives of Metallurgy and Materials June 2017, 1399–1406.
5. **Mucsi, G.:** "A review on mechanical activation and mechanical alloying in stirred media mill" Chemical Engineering Research and Design June 2019, 460–474.

Péter Keresztfalvi, Zoltán Pásztory

*Innovation Center  
University of Sopron  
4. Bajcsy Zs. Sopron 9400  
keresztfalvi.peter@uni-sopron.hu*

## **MOBILEFORESTER AS A NEW INNOVATIVE MEASURING DEVICE IN FORESTRY**

### **ABSTRACT**

Accurate data is a pillar of modern forestry management. These are the only sources of information on the basis of which forest holdings can carry out an efficient management. The data collection is a time and cost consuming task, which emphasizes the importance to develop effective technologies and devices.

In the last decades different methods have been developed for measuring trees, forest and wood and wood stacks. Taking into consideration the amount and market value of wood, the accuracy of measurement is highly important, as the price is calculated according to the measured amount. Management needs the best and most effective device to do the task. MobileForester is a newly developed high-tech solution, integrating almost all measuring tasks into one digital tool. It measures the tree height and diameter by means of remote sensing. It determines the forest stock with a digital relascope function. The stack parameters are collected easily and the data is stored without data loss. This article explains the functions of the high-tech device for measuring the forest - the most important source of lignocellulose.

Keywords: measurement, MobileForester, digital technology.

### **1. INTRODUCTION**

The MobileForester is revolutionary new, and intelligent measuring device developed by Hungarian WOODSPRING R&D Company. The company was established in 2003 to create new solutions and develop high-tech equipment in forestry and the wood industry. The MobileForester effectively helps foresters measure trees and forests, and also benefits log brokers. This is a multi-functional device for measuring tree height, tree diameter, log volume and forest inventory (Bitterlich relascope). This single piece of equipment replaces all existing instruments used to measure forests. Only the MobileForester forestry measuring device has a laser rangefinder, compass, altimeter, caliper and a Bitterlich-relascope.

The new device provides a very user-friendly surface and creates the digital data during the measurement process. Every data is saved in a file, the file name and metadata (such as location, number or code of forest site and wood species) can be defined by the user at the beginning of the measurement. Using the MobileForester makes the work of foresters much easier and faster. There is no need for post-processing of paper-based data, as the measured values are immediately recorded in digital form. The measurements are recorded by digital techniques, which you can easily download and open in any database software (E.g. Excel). The device also records the GPS coordinates during all surveys.

The MobileForester offers some innovative solutions to make the measurements more precise and effective. The zoom function brings the target close to your eyes and you can

point it easily with the cross hairs. This function is very useful the trees can be more than 40 meters away. The other revolutionary innovative solution is the remote measurement method without touching the tree to measure the breast height diameter. You can save work and time by eliminating walking to the trees and by so your work efficiency can be three to five time higher.

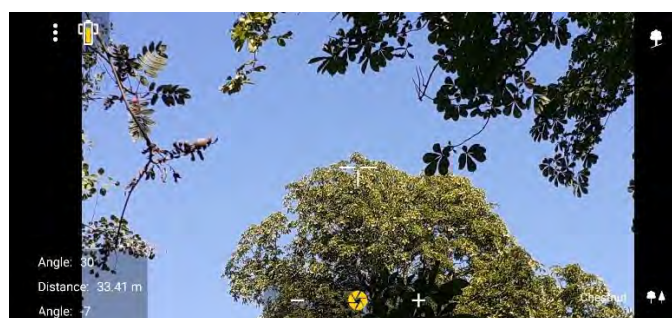
## 2. FUNCTIONS

### 2.1 Distance

It measures the distance of individual trees and other objects in the field up to 50 meters and in the best light as far as 70-80 m.

### 2.2 Tree height

The MobileForester determines the tree height, considering the slope of the ground. The measurement of tree height is possible on both a flat and sloped area. On flat land you measure the distance of the trunk from the where you stand, and then point at the top of the tree. The system calculates the height automatically and after stores the result to a file. On a sloped area, you measure the distance to the tree, then point at the bottom of the tree and then point the top. This 3point measurement provides you a very accurate result in any field circumstances.



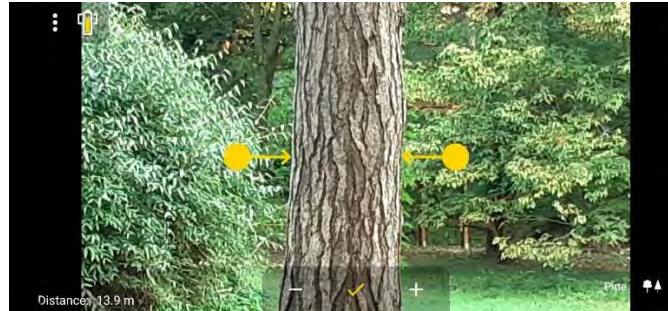
*Figure 1.*

### Measuring tree height

The rapidity and accuracy of the measurement is greatly aided by the zoom function showing the target enlarged on the display. The species are recorded automatically during the measuring. You can choose the species in the beginning from the list but you can modify it during the survey or even add a new one.

### 2.3. Tree diameter

Traditionally the tree diameter is measured with a caliper, and for this have to go close to the tree which is very time consuming process. The MobileForester makes these measurements from a distance so you don't walk to the tree. The measurement can be made up to 40-50 m, which saves time. First we measure the distance of the tree. The zoom helps precisely aim this function. The device automatically determines the diameter at the height of the measurement. After measuring of the trunk, the app runs an automatic tree diameter measuring algorithm and shows you the results on the screen with two pointer arrows on the two sides of the trunk. If it is not perfect, you can manually modify it by touching the pointer and moving it to the correct place.



*Figure 2.*

#### **Measuring tree diameter**

This method makes the measurement work highly effective. The MobileForester can be fixed on a monopod, which helps to hold the breast height. The built-in leveling display also ensures accuracy.



*Figure 3.*

#### **MobileForester with monopod**

### **2.4. Timber volume**

The valuable logs are measured individually to get a reliable price for the logs which is the base for billing. First we measure the distance of the cut surface from the MobileForester and the system recognizes the circumference of the log automatically. The user measures the circle diameter which is drawn onto the log, or a circle equivalent to the surface, or for an oval log, by fitting an ellipse. Using the butt area and the specified length, the application calculates the volume of the log. The MobileForester offers a circle which can be manually modified, and after acceptance the data is stored in a file.

It is not necessary take the pictures exactly perpendicular to the butt surface, because the device can sense the angle difference on the picture and run the process on a transformed picture. This function can be very useful for logs lying on the ground.



*Figure 4.*

## Timber volume

### 2.5. Stack solid content

Stacked logs with smaller diameters and lower value are not measured individually but in a stack. This needs an integrated method which can determine the ratio of wood and air space within the stack. The MobileForester has an extra function to determine the solid wood content of the stack. This highly intelligent and complex method offers a very effective and precise solution for traders and sellers of industrial wood, like paper mills, board factories and foresters.

Determining the stack volume is an important and time-consuming task. We save time and money by using the MobileForester to measure stack solid volume. Reducing the potential for error, the device provides precise data, which are reliable for both of the company and the customer.

During the measurement we take a photo of the stack, which can be drawn around with the help of the application. In the resulting image, an algorithm automatically detects the butts. We can correct manually if necessary. From the resulting surface and the length given at the beginning of the measurement, the device calculates the solid volume. Three tables can be retrieved at the end of the process: summary information about the stack, classified data based on log diameter classes, and individual data.



*Figure 5.*

## Stack volume

### 2.6. Relascope

Multiple measurements of tree diameter in a circle produces the data of forest inventory. Of course this needs the wood species. Using this function, you can estimate the wood volume on the forest site which determines the amount of wood that can be produced. The use of natural resources, like wood, requires conscious, sustainable activity of modern forestry and one of its keystones is precise and effective measurement.

Using a relascope is the most complex task in the forest to determine the living stock of a forest site. This digital technology increases both accuracy and efficiency



You can enter five species in every measuring point. The device saves and displays data while entering data. This eliminates the need to keep anything in mind during the survey. The zoom function greatly contributes to the accuracy of the measurement, since you can easily decide whether the tree fits the selected bandwidth. The MobileForester offers four bandwidths, which provide greater measurement accuracy in thicker or end-use forest sites. The measuring height is assisted by a built-in leveling.

The average tree height and diameter for the circle measurements can also be entered by measurement or estimation. Canopy coverage is given by estimation. The device continuously shows the direction angle so the area can be traversed according to a set plan. The application also allows you to view statistics per measuring point.

With the MobileForester, you can measure, file inventory, and map management on a single device. Thus, the device is an active, versatile coworker of foresters.



*Figure 6.*

**Relascope**

### 3. ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

### 4. REFERENCES

1. **Pásztory, Z.; Heizmann, B.; Barbu, M. C.:** “Comparison of Different Stack Measuring methods.” Szibirszkij Lesznoj Zsurnal. 2019. No.3. 5-13

Roland Romenda<sup>1</sup>, Alfréd Tóth<sup>2</sup>, Zoltán Virág<sup>2\*</sup>

*University of Miskolc Faculty of Earth Science and Engineering*

<sup>1</sup> *Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing*

<sup>2</sup> *Institute of Mining and Geotechnical Engineering*

[\\*gtbvir@uni-miskolc.hu](mailto:*gtbvir@uni-miskolc.hu)

## PRIMARY AND SECONDARY MINING POSSIBILITIES OF CRITICAL ELEMENTS OF ELECTRONIC WASTE

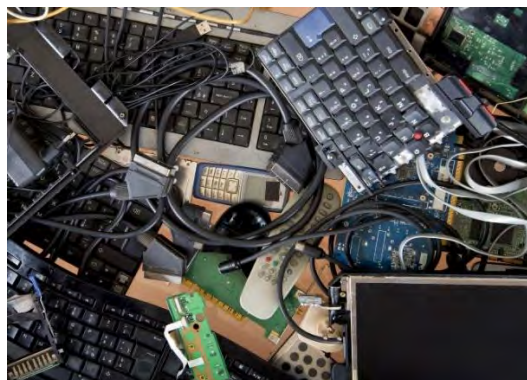
### ABSTRACT

Electrical equipment e.g. smartphones, notebooks represent one of the fastest-growing waste (WEEE) stream. These electrical devices contain a lot of rare earth elements, platinum group metals, noble metals and other precious metals. Critical raw materials can be recovered from electronic waste and recycled into the manufacturing process, thus significantly reducing dependence on primary sources, but the mining of these remain strategic importance. The biggest problem with the recovery of these elements is the relatively low concentration of these devices. In addition, their distribution is not uniform. Some units have a higher enrichment than others, so it is often better to treat the components on the circuit boards separately, thus increasing the efficiency and economy of recovery. The solution is sensor-based sorting and the development of these devices.

**Keywords:** WEEE, notebook, mining, recycling, separation, sensor-based sorting

### 1. INTRODUCTION

Technological development entails more and more electronic waste every year (Figure 1). These electronic devices contain significant amounts of rare earths, noble metals, platinum group metals, and other precious metals. The importance of the best-known elements, such as copper, aluminum, or precious metals, is often understood by all, but few know that other lesser-known elements are also essential in our modern technical life [7].



**Figure 1. Electronic waste**

Mining of these lesser-known rare elements, which are already strategically important today, is currently shared by few countries. Therefore, in its Communication SECC(2008)2741 [2], the European Union has set the direction for the need to relaunch the assessment of strategic mineral resources in EU countries. In 2017, the Raw Materials Group



issued a related report [3]. The report has been developed in line with the expected industrial needs of EU countries by 2030. Ranked by possible sources of supply, it identifies 27 raw materials that could become a major need in the European economy and could be heavily imported. We have previously dealt with existing reserves of raw materials [7], and in this article, we describe the evolution of the availability of critical raw materials in electronic waste from primary sources through the example of a CCFL screen notebook.

The chips, transistors, and other units on the motherboard of notebooks, as well as the contact pins, all contain different chemical elements. Their combined treatment is problematic and they cannot be treated simultaneously in terms of metallurgical or chemical processes. Each circuit element has its own unique marking system to optimize manufacturing processes [10]. These marking signs can be used even after they have been turned into waste, depending solely on the image processing software and database system of the optical sorting systems. However, this equipment can be damaged during the recovery processes, due to which the identification of their shape, form, and marking is also problematic. When this type of separation process is no longer suitable in the optical range, other physical properties must be examined, either in the X-ray, infrared range or on the basis of their conductivity or magnetic permeability.

## 2. CRITICAL RAW MATERIALS IN NOTEBOOKS

Electrical equipment e.g. smartphones, notebooks represent one of the fastest-growing waste (WEEE) streams. These devices thus become important sources of secondary raw materials. From the devices that have become waste, the desired critical raw materials can be recovered and recycled into the production process. Thus, dependence on primary sources can be significantly reduced. Table 1 shows the amount of critical raw materials in notebooks with cold cathode fluorescent (CCFL) background illumination.

**Table 1. Mean content of critical raw materials in notebooks (incl. LCD monitors with CCFL background illumination) [1]**

| Critical raw materials |                | Content per notebook [mg] | Occurrence in notebook                                                  |
|------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Cobalt (Co)            | -              | 65000                     | Lithium-ion batteries (100%)                                            |
| Neodymium (Nd)         | Rare earths    | 2100                      | Spindle motors (37%), voice coil accelerators (34%), loudspeakers (30%) |
| Praseodymium (Pr)      |                | 270                       | Voice coil accelerators (53%), loudspeakers (47%)                       |
| Dysprosium (Dy)        |                | 60                        | Voice coil accelerators (100%)                                          |
| Gadolinium (Gd)        |                | 0.01                      | Background illumination (100%)                                          |
| Cerium (Ce)            |                | 0.08                      | Background illumination (100%)                                          |
| Europium (Eu)          |                | 0.13                      | Background illumination (100%)                                          |
| Lanthanum (La)         |                | 0.11                      | Background illumination (100%)                                          |
| Terbium (Tb)           |                | 0.04                      | Background illumination (100%)                                          |
| Yttrium (Y)            |                | 1.8                       | Background illumination (100%)                                          |
| Tantalum (Ta)          | -              | 1700                      | Capacitors on the motherboard (90%), capacitors on other PCBs (10%)     |
| Indium (In)            | -              | 40                        | Display and background illumination (100%)                              |
| Platinum (Pt)          | Platinum group | 4                         | Hard disk drive platters (100%)                                         |
| Palladium (Pd)         |                | 40                        | Motherboard (64%), other PCBs (36%)                                     |

### 3. LEADING MINE PRODUCTIONS OF SOME IMPORTANT CRITICAL RAW MATERIALS IN CASE OF NOTEBOOKS

#### 3.1. Cobalt

94% of the world's cobalt production comes from the extraction and production process of nickel (50%) and copper (44%). Only 6% of the world's cobalt production goes directly from cobalt extraction. Most of the primary resources are in Africa. The Democratic Republic of the Congo accounts for the bulk of production, compared to the production of other countries (Table 2). As a result of cobalt research, the world's cobalt reserve has been estimated at 6.9 million tonnes.

**Table 2. The world's leading cobalt producing countries over the past decade [10]**

|                      | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | Total  |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <b>Congo</b>         | 47400 | 60000 | 51000 | 54000 | 63000 | 63000 | 64000 | 73000 | 90000 | 565400 |
| <b>Zambia</b>        | 5700  | 5400  | 4200  | 5200  | 5500  | 4600  | 3000  | 2900  | -     | 36500  |
| <b>China</b>         | 6500  | 6800  | 7000  | 7200  | 7200  | 7700  | 7700  | 3100  | 3100  | 56300  |
| <b>Russia</b>        | 6200  | 6300  | 6300  | 6300  | 6300  | 6200  | 5500  | 5900  | 5900  | 54900  |
| <b>Australia</b>     | 3850  | 3900  | 5880  | 6400  | 5980  | 6000  | 5500  | 5030  | 4700  | 47240  |
| <b>Cuba</b>          | 3600  | 4000  | 4900  | 4200  | 3700  | 4300  | 4200  | 5000  | 4900  | 38800  |
| <b>Canada</b>        | 4600  | 7100  | 6630  | 6920  | 6570  | 6900  | 4250  | 3870  | 3800  | 50640  |
| <b>New Caledonia</b> | 1000  | 3200  | 2620  | 3190  | 4040  | 3680  | 3390  | 2800  | -     | 23920  |
| <b>Philippines</b>   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 4600  | 4600   |
| <b>Madagascar</b>    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 3500  | 3500   |

#### 3.2. Rare earth metals

The world's rare earth metal reserves (excluding Scandium) are estimated at 120 million tonnes. Production has increased in recent years, much of it produced in China, and Australia and the US have increased their production (Table 3). It is projected that China will make full use of its rare earth production shortly, so several rare earth metal mining projects have been launched recently. There are also significant stocks in Brazil, Vietnam and Russia.

**Table 3. The world's leading rare earths producing countries over the past decade [10]**

|                  | 2010   | 2011   | 2012   | 2013  | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | Total  |
|------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>USA</b>       | -      | -      | 800    | 5500  | 5400   | 5900   | -      | -      | 15000  | 32600  |
| <b>China</b>     | 130000 | 105000 | 100000 | 95000 | 105000 | 105000 | 105000 | 105000 | 120000 | 970000 |
| <b>Brazil</b>    | 550    | 250    | 140    | 330   | -      | 880    | 2200   | 1700   | 1000   | 7050   |
| <b>India</b>     | 2800   | 2800   | 2900   | 2900  | 3000   | 1700   | 1500   | 1800   | 1800   | 21200  |
| <b>Australia</b> | -      | 2200   | 3200   | 2000  | 8000   | 12000  | 15000  | 19000  | 20000  | 81400  |
| <b>Russia</b>    | -      | -      | 2400   | 2500  | 2500   | 2800   | 2800   | 2600   | 2600   | 18200  |
| <b>Thailand</b>  | -      | -      | -      | 800   | 2100   | 760    | 1600   | 1300   | 1000   | 7560   |
| <b>Vietnam</b>   | -      | -      | 220    | 220   | 200    | 250    | 220    | 200    | 400    | 1710   |

#### 3.3. Tantalum

Tantalum-containing minerals (tantalite - (Fe, Mn) (Ta, Nb) 2O<sub>6</sub>, wodginite - MnSnTa<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, microlites - (Na, Ca) 2Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub> (O, OH, F)) can be found almost anywhere, but they are very rare with higher concentrations of tantalum. The world's leading tantalum producers in recent years are the Democratic Republic of the Congo and Rwanda (Table 4).

Most of the stocks for this item are not reported by countries due to strategic considerations. The current supply of tantalum consists mainly of primary (mineral) sources (65% of tantalum-containing minerals, 13% of slags leftover from tin processing), but more than 20% of the supply is recycled from secondary raw materials.

**Table 4. The world's leading tantalum producing countries over the past decade [10]**

|                   | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Total |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| <b>Brazil</b>     | 180  | 180  | 140  | 98   | 150  | 115  | 103  | 110  | 100  | 1176  |
| <b>China</b>      | -    | -    | -    | 60   | 60   | 60   | 94   | 110  | 120  | 504   |
| <b>Congo</b>      | -    | 95   | 100  | 200  | 200  | 350  | 370  | 760  | 710  | 2785  |
| <b>Ethiopia</b>   | -    | 76   | 95   | 8    | -    | -    | 63   | 65   | 70   | 377   |
| <b>Nigeria</b>    | -    | 50   | 63   | 60   | -    | -    | 192  | 153  | 150  | 668   |
| <b>Rwanda</b>     | 110  | 93   | 150  | 600  | 600  | 410  | 350  | 441  | 500  | 3254  |
| <b>Mozambique</b> | 120  | 260  | 39   | 115  | -    | -    | -    | -    | -    | 534   |
| <b>Burundi</b>    | -    | 13   | 33   | 20   | -    | -    | -    | -    | -    | 66    |
| <b>Canada</b>     | -    | -    | 50   | 5    | -    | -    | -    | -    | -    | 55    |
| <b>Australia</b>  | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 83   | 90   | 173   |

### 3.4. Indium

Indium is widespread in the Earth's crust but is found in very small concentrations. Indium production is connected to the mining of lead-zinc ores. With the identification of new deposits, the amount of indium reserves is no longer as critical as before. The specific price of indium is very high so the size of stocks is not reported by countries. China and South Korea account for a significant share of production (Table 5.).

**Table 5. The world's leading indium producing countries over the past decade [10]**

|                      | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Total |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| <b>Belgium</b>       | 30   | 30   | 30   | 30   | 25   | 20   | 20   | 20   | 20   | 225   |
| <b>Canada</b>        | 67   | 75   | 62   | 65   | 65   | 70   | 71   | 67   | 70   | 612   |
| <b>China</b>         | 340  | 380  | 405  | 415  | 460  | 350  | 300  | 287  | 300  | 3237  |
| <b>Japan</b>         | 70   | 70   | 71   | 72   | 72   | 70   | 70   | 70   | 70   | 635   |
| <b>Rep. of Korea</b> | 70   | 70   | 165  | 150  | 150  | 195  | 210  | 225  | 230  | 1465  |
| <b>Russia</b>        | -    | 5    | 13   | 13   | 5    | 4    | 5    | 5    | 5    | 55    |
| <b>Peru</b>          | -    | -    | 11   | 11   | 14   | 9    | 10   | 10   | 10   | 75    |
| <b>France</b>        | -    | -    | -    | 33   | 43   | 41   | 0    | 30   | 50   | 197   |

From the table above, it can be seen that the EU is also heavily dependent on imports for indium. Among the EU countries, Belgium and France are active in refining and producing indium.

### 3.5. Platinum-group metals

Elements of the platinum group (PGM) occur very rarely in small concentrations in the Earth's crust. The average naturally occurring concentrations of platinum and palladium are approximately 5 ppm, while those of rhodium, iridium and ruthenium are around 1 ppm. The elements of the naturally occurring platinum group always appear in conjunction with other elements. The most common metallic constituents in these associations are platinum and

palladium. Nearly 92% of the platinum group's inventories are located in South Africa, so it is not surprising that South Africa is the world's leading producer of platinum (Table 6.) and, in addition to Russia, the largest producer of palladium (Table 7.). In connection with the elements of the platinum group, an association of other elements, such as nickel, copper and gold, is also characteristic. While stocks in South Africa, Zimbabwe and the US are mined solely for platinum group elements, the production of platinum group elements from stocks in Russia and Canada appears as a by-product of nickel mining.

**Table 6. The world's leading platinum producing countries over the past decade [10]**

|                     | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014  | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | Total   |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| <b>USA</b>          | 3450   | 3700   | 3670   | 3720   | 3660  | 3670   | 3890   | 3980   | 4100   | 33840   |
| <b>Canada</b>       | 3900   | 1230   | 7000   | 7000   | 8500  | 7600   | 12600  | 9500   | 9500   | 66830   |
| <b>Russia</b>       | 25100  | 25000  | 24600  | 25500  | 23000 | 22000  | 23000  | 21800  | 21000  | 211000  |
| <b>South Africa</b> | 148000 | 145000 | 133000 | 131000 | 94000 | 139000 | 133000 | 143000 | 110000 | 1176000 |
| <b>Zimbabwe</b>     | 8800   | 10600  | 11000  | 12400  | 5800  | 12600  | 14900  | 14000  | 14000  | 104100  |

**Table 7. The world's leading palladium producing countries over the past decade [10]**

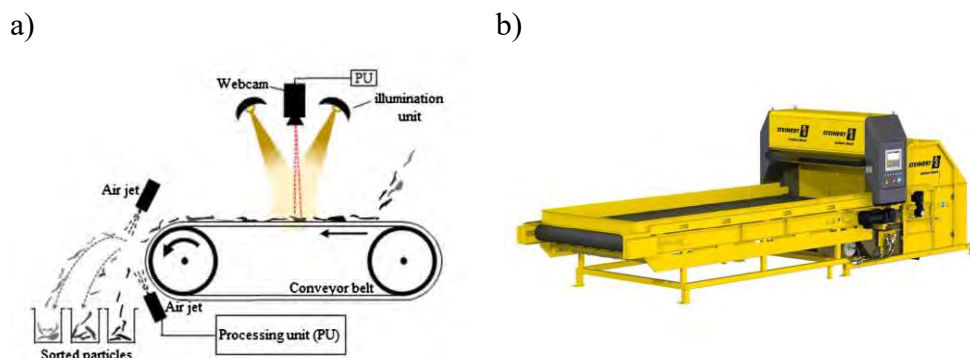
|                     | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | Total  |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <b>USA</b>          | 11600 | 12400 | 12300 | 12600 | 12400 | 12500 | 13100 | 13600 | 14000 | 114500 |
| <b>Canada</b>       | 6700  | 14000 | 12200 | 16500 | 20000 | 21000 | 21000 | 17000 | 17000 | 145400 |
| <b>Russia</b>       | 84700 | 86000 | 82000 | 80000 | 83000 | 81000 | 79400 | 85200 | 85000 | 746300 |
| <b>South Africa</b> | 82200 | 82000 | 74000 | 75000 | 58400 | 83000 | 76300 | 86800 | 68000 | 685700 |
| <b>Zimbabwe</b>     | 7000  | 8200  | 9000  | 9600  | 10100 | 10000 | 8200  | 12000 | 12000 | 86100  |

#### 4. SENSOR-BASED SORTING TECHNOLOGIE

Depending on the type of electronic materials and devices, there are already the right separators for recovered these. Each type of separators uses not only the electromagnetic spectrum to identify materials, but also other physical parameters such as conductivity or magnetic permeability [8].

##### 4.1. Near-Infrared (NIR) separator

The samples are illuminated by a constant light source and either detect a camera reflecting from the sample. The analog signal captured by the camera placed above the conveyor is proportional to the wavelength of the beam of light. The selection is provided with two air jet nozzles, so there are three products at the same time for the sorting device.

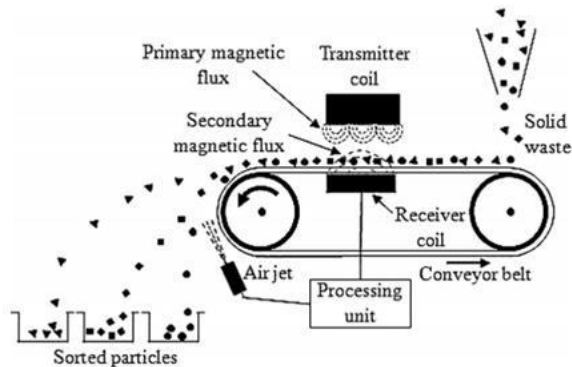


**Figure 2. NIR separator a) operating concept [4]; b) Industrial size separator [9]**

## 4.2. EMS Sensor-based separator

In this type of separator – like the eddy current separators – eddy current induced in the particles due to a transmitter coil, but this Lorentz force is weaker than the ordinary eddy current separators. In this case, when the transmitter coil induces the eddy current, the electromagnetic sensor (EMS) detects the electrical conductivity of the various nonmagnetic metals. After identification, the particles spilling out by an air jet from the nozzles.

a)



b)

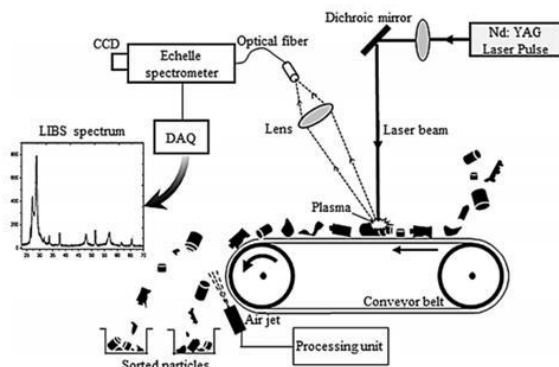


**Figure 3. Electromagnetic sensor-based separator a) operating concept [4];  
b) The STEINERT EddyC MOVE separator [9]**

## 4.3. Laser-induced breakdown spectroscopy

Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) uses a high-energy laser beam. In 1990, the technology was developed at the Los Alamos National Laboratory, in collaboration with Metallgesellschaft, to identify metal waste. The LIBS system produces a large spectrometry of metal alloys, plastics and treated wood. Advanced atomic spectrometry technique based on optical emission monitoring of a microplasma generated by laser ablation. That is a very short-lived, time-varying temperature and composition source, it is necessary to synchronize with a laser at the time with the precision of  $\mu\text{s}$  fraction to operate the high-resolution spectrometer that can capture the entire UV and/or visible spectral range simultaneously.

a)



b)



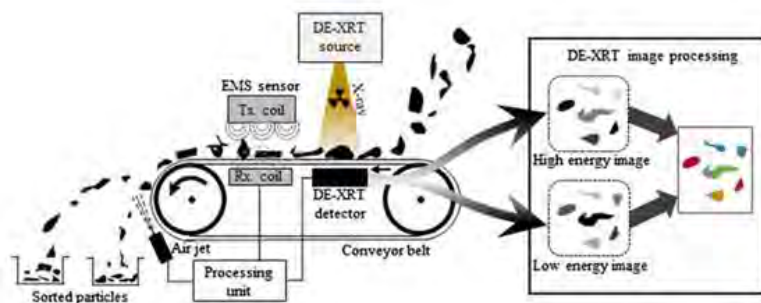
**Figure 4. Laser-induced breakdown spectroscopy a) operating concept [4];  
b) The STEINERT LSS LIBS [9]**

#### 4.4. X-ray separator

Two versions of X-ray separators are known. Thanks to the X-ray transmission system, image processing takes place quickly, in a few milliseconds. During operation, a high-intensity X-ray passes through the material, absorbing some of its energy, while the rest of the weakened X-ray is a tape detector. The atomic density can be determined from the information.

An X-ray fluorescence spectroscopy (XRF - X-ray fluorescence) ionizes the examined sample of electrons on a continuous spectrum X-ray. The kinetic energy of the leaving electron will be the difference between the photon and the electron binding energy.

a)



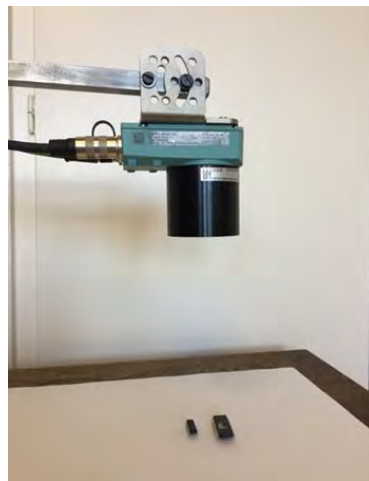
b)



**Figure 4. X-ray separator a) operating concept [4];  
b) The STEINERT XSS x-ray sorting system [9]**

#### 5. APPLICATION OF THE SIEMENS SIMATIC MV440 FOR ANALYZING ELECTRONIC WASTE

An instrument using optical principles also plays a significant role. The device available in our research is a Siemens Simatic MV440 shape recognition system that works with the internet. You can use the recognition camera cooperating with any browser installed on your computer through a preset IP address. The processing software running at the manufacturing company provides information about the scanned object. According to the information provided by Siemens, we can search for one-dimensional and two-dimensional code on the examined image, as well as the possibility to use different text and shape recognition (Figure 5).



**Figure 5. Siemens Simatic MV440 HR in operation**

On the user interface, you can use the various menu items to upload the objects you want to recognize to the library. Once you have completed uploading libraries containing the objects you want to recognize, you can begin to read optically. There is no clear read speed for shape recognition, its size depends on:

- Number of shapes in the image
- The number of trained models
- Complexity of shape

The camera can reproduce the X-Y position of the recognized shapes to determine where the product is located on the examined surface. With continuous tape movement, fixed tape speed, and accurate time synchronization, you can determine the position of the item. The feasibility of the task depends to a large extent on the quantity and type of shapes (Figure 6).

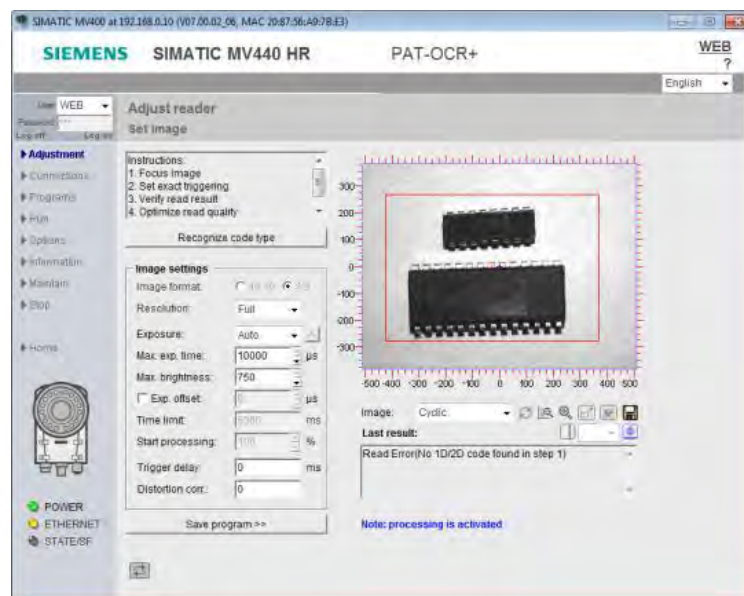


Figure 6. Siemens Simatic user interface

During the tests, we found that the camera can recognize shapes perfectly on black and white images. However, because of the black-and-white images, it is very important to pay attention to light conditions, because under changing light conditions the effectiveness of the recognition is rather weak. The camera we use does not have autofocus capability, which could be a disadvantage. Since selecting the objects that are defined for us is the main consideration, we get more sorting help. With the camera set with manual focus, the subject contours are sharply visible within a certain size range. These are the items we want to identify. Objects outside focus are not detected by the camera's imaging software. Thus, they may enter a separate stream of material during separation. When it comes to size ranges, it should be mentioned that the angle of view of the camera used for our experiments is small. This, the app. 25cm focal length of the camera's field of view approx. It limits the area to 100x100 mm. So with these optics, the system will max. 100mm wide material flow.

We need to talk about our experience that undermines the effectiveness of sorting in such a system. We have found that the system, even under constant light conditions, is mistaken. That is, the target object that passes through the checked surface is not always recognized. In the next part of the research, we want to look further into this direction. So, make a numerical rating of the recognition efficiency of different object types [11].

## ACKNOWLEDGEMENTS

The described work/article was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

1. **Buchert, M., Manhart, A., Bleher, D., Plinger, D.:** Recycling critical raw materials from waste electronic equipment. Öko-Institut e.V., p. 88., Darmstadt, 2012
2. **European Commission:** The Raw Materials Initiative, 2018
3. **European Commission:** Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU, COM/2017/0490 final, 2017
4. **Gundupalli, S.P., Hait, S., Thakur, A.:** A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. Waste Management, Vol. 60, pp. 56–74, 2017
5. **Kritikus Elemek (CriticEl) projekt:** Alaputatási program egy biztos és biztonságos jövőért - Projekt leírás, Miskolc, 2012
6. **Magyar, T., Faitli, J., Nagy, S., Virág, Z., Romenda R.:** Elhasznált nyomtatott áramköri lapok tantál kondenzátorainak újrahasznosítása/Recycling of Tantalum Capacitors from Waste Printed Circuit Board, XX. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Gyulafehérvár, Románia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 87-91., 2018
7. **Magyar, T., Virág, Z.:** Elektronikai hulladékok kritikus elemeinek primer fellelhetősége, Műszaki Földtudományi Közlemények 86:(1) pp. 145-153., Miskolc, 2017
8. **Romenda, R., Virág, Z., Magyar, T.:** Mechanical processing methods of waste electronic and electrical equipment with special regards to NIR separation, UNIVERSITARIA SIMPRO 8 pp. 445-448. Paper: 3/11 , 4 p., 2018



9. **Steinert Gmbh.:** Magnetic Separation & Sensor-Based Sorting from a Single Source, Produktbroschuere sensorsortierung, 2018
10. **U.S. Geological Survey:** Mineral commodity summaries 2012-2019., Reston, Virginia, 2012-2019
11. **Ladányi, G., Tóth, A., Romenda, R., Virág, Z.:** Possibilities of an optical identification system used to identify secondary mining raw material extracted from e-waste, II. SUSTAINABLE RAW MATERIALS International Project Week and Scientific Conference, Conference Book, pp. 93-97., 2019

**Edza Aria Wikurendra<sup>1</sup>, Imre Nagy<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Doctoral School of Management and Organizational Science, Faculty of Economic Science and International Relations, Szent Istvan University Kaposvar Campus, 7400 Kaposvar, Guba Sandor Utca 40, e-mail: edzaaria@unusa.ac.id*

## **UTILIZATION OF BLACK SOLDIER FLY (*HERMETIA ILLUCENS*) AS A PROBLEM SOLVING OF ORGANIC SOLID WASTE**

### **ABSTRACT**

Organic solid waste is a type of waste that has the largest amount in Indonesia. If it is not managed properly, organic solid waste can cause various problems. To overcome this problem, it is necessary to make an effort to utilize organic solid waste which also has high economic potential. One solution to this is the use of Black Soldier Fly larvae (*Hermetia Illucens*) as decomposers of organic matter. The purpose of this study was to analyze the effect of the type of organic waste on the bioconversion of domestic waste using Black Soldier Fly larvae (*Hermetia Illucens*). This research was done using Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae of 7 days old. Two hundred larvae were used for every feeding treatment and placed in a growing cage. The feed types and feeding frequencies were varied. The feed types were three different food waste materials, were mainly composed of vegetable waste, fruit waste, and food waste. The larvae were fed with 40 mg of dry weight food waste/ larvae/ day. The feeding frequency was varied to once per day and once in four day periods. The weight of 10% of larvae per feeding treatment was measured every four days. At the end of the experiment, the residual feed material and characteristics were measured. The level reduces vegetable waste, fruit waste, and food waste respectively 52 %; 51 %; 55 % on the frequency of feeding once in four days. At the frequency of feeding once a day, the results were 50 %, 62 %; 67%. The C/N ratio of vegetable waste, fruit waste, and food waste residue was 8,8; 10,1; and 11,9 for the frequency of feeding once in four days, and 8,3; 9,2; and 10,6 at the frequency of feeding once a day. The moisture content in the residue of vegetable waste, fruit waste, and food waste were 92,1% respectively; 74,7%; and 77,2% at the frequency of feeding once in four days and 95,2% respectively; 72,6%; and 82,7% at the frequency of feeding once. The pH value of vegetable waste, fruit waste, and

food waste is 5,54 respectively; 4,21; and 4,18 for the frequency of feeding once in four days, and 5,47 each; 5,00; and 4,16 for the frequency of feeding once a day. The suggestion for further research is that further research is needed on the effect of the acidity of the food on the mortality rate of the larvae so that the optimum pH for the growth of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae can be found.

**Keywords:** black soldier fly, biodegradable organic solid waste, larvae, reduction

## INTRODUCTION

Along with the rapid population growth and urbanization, as well as the increasing consumptive behavior of the community, the government is facing challenges regarding waste management<sup>1</sup>. Waste is the remains of human daily activities and/or natural processes in solid form. Meanwhile, waste management is a systematic, comprehensive, and sustainable activity that includes waste reduction and handling<sup>2</sup>. Solid waste is solid or semi-solid waste material resulting from human and animal activities that are discarded because it is no longer needed or no longer used<sup>3</sup>. Waste management is one of the problems, both in developed and developing countries, which has not been resolved until now, including in Indonesia<sup>4</sup>.

The Indonesian Ministry of Environment and Forestry states that the amount of waste generation in Indonesia has reached 175,000 tonnes/day or the equivalent of 64 million tonnes/year with 69% of which is transported and dumped in landfills, buried 10%, composted and recycled 7%, burned 5%, and the remaining 7% unmanaged, besides that the type of organic waste in Indonesia has the largest percentage, which is 60%. Based on these data, current waste management is still concentrated in landfills without going through the 3R (reduce, recycle, reuse) process at the source involving community participation. This condition is a major factor in landfill loads becoming heavy and their useful life is getting shorter<sup>5</sup>. One of the technologies in dealing with this type of waste is composting. This method is used because it is open so it can reduce the appearance of pungent odors, is easy and cheap to do, and does not require a too difficult process. The decomposition of the material is carried out by microorganisms in the material itself with the help of air<sup>6</sup>.

To overcome this problem, it is necessary to make an effort to utilize organic solid waste which also has high economic potential. One solution to this problem is the use of Black Soldier

Fly larvae (*Hermetia Illucens*) as decomposers of organic matter. Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) has been researched to degrade organic solid waste by utilizing its larvae which extract energy and nutrients from vegetable waste, food scraps, animal carcasses, and feces as food ingredients<sup>7</sup>. Besides, Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae are easy to breed with their resistance to seasons, although Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae are more active in warm conditions, so making them suitable for the Indonesian climate. Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae have the best decomposition ability compared to other organisms or microorganisms<sup>8</sup>.

Based on the report from the Agency for the Assessment and Application of Technology of the Republic of Indonesia in 2010, the percentage of organic waste reached 65.05%<sup>9</sup>. A total of 60% of municipal organic waste is vegetable waste and 40% is a combination of garden waste, fruit skins, and food scraps<sup>10</sup>. Based on the above percentages, it will be obtained the amount of food waste is very high if it is directly disposed of into the landfill without prior processing. Supported by these factors, the use of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae to reduce food waste is feasible to develop.

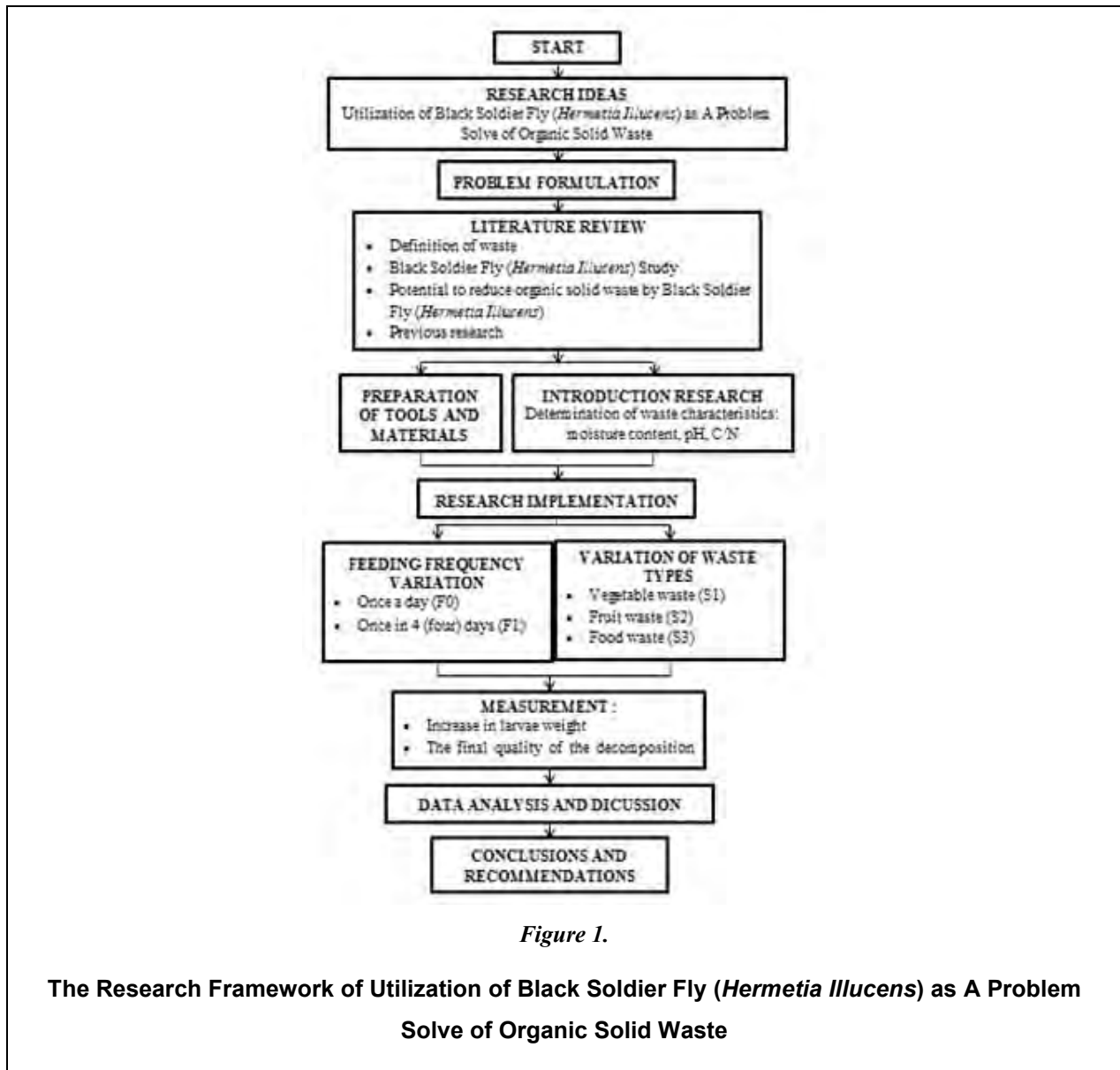
## **MATERIALS AND METHODS**

This research is experimental research carried out with laboratory-scale experimental methods in the Research Workshop and the Composting Area of PT. Waste 4 Change Jemundo Village, Taman District, Sidoarjo Regency, East Java, Indonesia. The research was conducted within 2 months (60 days) with a research running time of 24 days and with 3 (three) replications. The final result to be achieved from this research is to know the percent reduction of organic solid waste through the use of Black Soldier Fly larvae (*Hermetia Illucens*). The reduction percentage obtained was then used to see the potential utilization of Black Soldier Fly larvae (*Hermetia Illucens*) as an effort to reduce organic solid waste.

### **Research Framework**

The research framework is an overview of the implementation of the research, which is arranged in order based on the stage of the implementation of the research to achieve the desired final goal. The research framework is based on literature studies conducted both from scientific

journals, textbooks, and final project reports, which support research on the use of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae to reduce organic solid waste. The research framework in this study can be seen in Figure 1.



### Data Analysis Methods

The data is presented in tables and graphs, the characteristics of the waste decomposition results by Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae were analyzed based on the water content

test, pH test, and C/N content test from the resulting residue. Data analysis and discussion must be adjusted to the literature study that has been carried out to support and compare the results obtained. All factors that have a significant or insignificant influence during the research implementation must be discussed in detail to obtain the best analysis results and conclusions.

## RESULTS AND DISCUSSION

The results of the research and discussion will be presented as follows :

### The Level Reduce of Organic Solid Waste by Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*)

*Table 1.*

**Percentage The Level Reduce of Organic Solid Waste by Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) With Various Feeding Frequencies**

| Waste     | Percentage The Level Reduce of Organic Solid Waste |                 |
|-----------|----------------------------------------------------|-----------------|
|           | Frequency 1 x 4                                    | Frequency 1 x 1 |
| Vegetable | 52 %                                               | 50 %            |
| Fruit     | 51 %                                               | 62 %            |
| Food      | 55 %                                               | 67 %            |

The effectiveness of the utilization of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae in reducing food waste can be seen from the large percentage of waste reduction that has been successfully carried out. The percentage of waste reduction is calculated based on the ratio of the final weight of the decomposition residue to the total weight of the sample added<sup>11</sup>. The largest percentage reduction was achieved for food waste samples with a frequency of feeding once a day by 67%. The lowest percentage reduction was obtained in vegetable samples, namely 50% for the frequency of feeding once a day.

Based on the results of the research that has been done, the three types of samples produced a fairly good percentage reduction, reaching more than 50% for each type of waste. In several previous studies, the average percentage of reduction achieved was around 50%. The results of previous studies conducted on cow dirt were 56%<sup>12</sup>, 50% human dirt<sup>13</sup>, and 50% for some types of dirt<sup>14</sup>. Based on the frequency of feeding, two of the three types of waste tested showed a better percentage reduction compared to feeding with a frequency of once in 4 (four) days, reaching 67%. In addition to the type of food provided, the portion of food also affects the

percentage of reduction obtained<sup>13</sup>.

### C/N Ratio of Residual Organic Solid Waste

Table 2.

C/N Ratio of Organic Solid Waste Residue From Feeding Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*)

| Waste     | Final C/N Ratio |                 |
|-----------|-----------------|-----------------|
|           | Frequency 1 x 4 | Frequency 1 x 1 |
| Vegetable | 8,8             | 8,3             |
| Fruit     | 10,1            | 9,2             |
| Food      | 11,9            | 10,6            |

At the frequency of feeding once a day, there was a decrease in the C/N ratio for all samples. The degradation process by the Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) and also by the microorganisms present in each sample as an energy source also causes a decrease in the C/N ratio<sup>15</sup>. This increase or decrease in total N levels is due to the formation of ammonia gas in the sample during the degradation process of waste protein by microorganisms<sup>3</sup>. The activity of the Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae and bacteria in the organic solid waste provided also reduces the N content which is converted into biomass<sup>1</sup>. Utilization of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae is also known to reduce nitrogen levels from cow dirt by up to 55%<sup>12</sup> and for several other types of dirt by up to 80.5%<sup>1</sup>.

The difference in protein content for each sample resulted in differences in total N levels. Proteins with the help of heterotrophic bacteria will be converted to ammonia<sup>16</sup>. Thus, the greater the total N content will be proportional to the protein content. As an effort to utilize the residue from the Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) degradation process, the residue can be used for composting or for biogas<sup>1</sup>. However, because the composting and biogas processes still require time for the process, efforts to use the residue as organic fertilizer can be an option. The C/N ratio for organic fertilizer is 10-15 with C-organic content > 12%, so the residue from the decomposition of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) larvae for food and fruit waste is suitable for use as organic fertilizer. The results of decomposition using vegetable waste still need to add carbon sources, such as by adding garden waste to increase the C/N ratio. Garden waste has a high carbon content of 46%, with a nitrogen content of 2.2%<sup>3</sup>.

## Water Content in Organic Solid Waste Residue

Table 3.

### Water Content in Organic Solid Waste Residue From Feeding Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*)

| Waste     | Final C/N Ratio |                 |
|-----------|-----------------|-----------------|
|           | Frequency 1 x 4 | Frequency 1 x 1 |
| Vegetable | 72,1 %          | 73,2 %          |
| Fruit     | 74,7 %          | 76,2 %          |
| Food      | 79,2 %          | 82,7 %          |

The determination of the sample water content at the beginning of the experiment was carried out by heating at a temperature of 105 ° C for 24 hours. The water content in the initial sample is needed to determine the wet weight of waste that will be used during the study<sup>1</sup>. The water content in waste needs to be known before giving it to larvae because it is known that water content also affects the growth of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*)<sup>13</sup>.

Table 3 shows that food waste has the highest water content, namely 82.7%, and vegetable waste with the lowest water content, namely 72.1%. Then each sample is weighed based on the required portion which is packed in zippered plastic and stored in the freezer to maintain its quality and to prevent insects or other flies from laying eggs in the prepared waste<sup>11</sup>. The dry weight of the average portion of food given is 40 mg/larvae/day, with variations every eight days, namely 15 mg/larvae/day, 35 mg/larvae/day/50 mg/larvae/day, and 60 mg/larvae/day. The higher the water content of the waste, the more waste is prepared. The optimum water content for larvae food is 60-90%<sup>17</sup>.

## The pH Value of Organic Solid Waste Residue From Decomposition Result

Table 4.

### The pH Value of Organic Waste Residue Resulted From Feeding Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*)

| Waste     | pH Residue      |                 |
|-----------|-----------------|-----------------|
|           | Frequency 1 x 4 | Frequency 1 x 1 |
| Vegetable | 5,54            | 5,47            |
| Fruit     | 4,21            | 5,00            |
| Food      | 4,18            | 4,16            |

The final pH measurement results show an increase in pH for all samples. The high activity of microorganisms in the waste can result in an increase and decrease in the pH value<sup>18</sup>.



The ability of most microorganisms to live in anaerobic conditions is to utilize the energy that comes from the fermentation process of organic compounds. Sugar substances will be converted into several products, including acidic organic compounds. These organic acid compounds will come out with the body cells of microorganisms and cause a decrease in the pH value.

The process of releasing protein, peptide, and amino acids from the degradation process also results in a decrease in the pH value<sup>18</sup>. Deamination, which is an amino acid process as  $\text{NH}_3$ , will form ammonium hydroxide ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) when  $\text{NH}_3$  is released<sup>18</sup>. The use of anions, such as nitrates from  $\text{NaNO}_3$ , results in a decrease in the pH value. Conversely, the use of cations such as the ammonium ion from  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  will increase the pH value. The presence of water in the tested waste will create a reaction between  $\text{NH}_3$  and  $\text{H}_2\text{O}$ . This reaction will form  $\text{NH}_4$  and  $\text{OH}^-$  ions which cause a decrease in pH in the sample<sup>19</sup>. So it can be stated that the increase in  $\text{NH}_3$  is directly proportional to the increase in pH value.

## CONCLUSION

Based on the results obtained in this study, the following conclusions can be drawn :

1. The level of removal of vegetable waste, fruit waste, and food waste each 52%; 51%; 55% on the frequency of feeding once in four days. At the frequency of feeding once a day, the results were 50% each; 62%; 67%.
2. The C/N ratio of vegetable waste, fruit waste, and food waste residue is 8,8; 10,1; and 11,9 for the frequency of feeding once in four days, and 8,3; 9,2; and 10,6 at the frequency of feeding once a day.
3. Water content in vegetable waste, fruit waste, and food waste is 72,1% respectively; 74,7%; and 79,2% on the frequency of feeding once in four days and 73,2% respectively; 76,2%; and 82,7% at the frequency of feeding once a day.
4. The pH value of vegetable waste, fruit waste, and food waste is 5,54 respectively; 4,21; and 4,18 for the frequency of feeding once in four days, and 5,47 each; 5,00; and 4,16 for the frequency of feeding once a day.

## REFERENCES

1. Diener S, Studt Solano NM, Roa Gutiérrez F, Zurbrügg C, Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization*. 2011;2(4):357-363. doi:10.1007/s12649-011-9079-1
2. Indonesia PR. Undang-undang republik indonesia nomor 18 tahun 2008 tentang pengelolaan sampah. *Sekr Negara, Jakarta*. 2008.
3. Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Lssues*. McGraw-Hill; 1993.
4. Dortmans B. Valorisation of organic waste-Effect of the feeding regime on process parameters in a continuous black soldier fly larvae composting system. *Theses Dep Energy Technol Swedish Univ Agric Sci Swedish*. 2015.
5. Suyanto E, Soetarto E, Sumardjo S, Hardjomidjojo HS. Model Kebijakan Pengelolaan Sampah Berbasis Partisipasi Green Community Mendukung Kota Hijau. *MIMBAR, J Sos dan Pembang*. 2015;31(1):143. doi:10.29313/mimbar.v31i1.1295
6. Sadia Kanwal, Shazia Iram MK and IA. Aerobic composting of water lettuce for preparation of phosphorus enriched organic manure. *African J Microbiol Res*. 2011;5(14):1784-1793. doi:10.5897/ajmr11.053
7. Popa R, Green T. DipTerra LCC e-Book ‘Black Soldier Fly Applications’. *DipTerra LCC*. 2012.
8. Guerrero LA, Maas G, Hogland W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Manag*. 2013;33(1):220-232. doi:10.1016/j.wasman.2012.09.008
9. Sipayung PYE. Pemanfaatan Larva Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) sebagai Salah Satu Teknologi Reduksi Sampah di Daerah Perkotaan. 2015.
10. Kusnadi AS, Adisendjaja YH. Pemanfaatan Sampah Organik Sebagai Bahan Baku Produksi Bioetanol Sebagai Energi Alternatif. *Lap Penelit Strateg Nas Univ Pendidik Indones*. 2009.
11. Diener S. A Disertation: Valorisation of Organic Solid Waste using the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*. *Low Middle-Income Countries Swiss ETH Zurich*. 2010.

12. Larry Newton, Craig Sheppard, Wes D, Watson, Gary Burtle RD. Using The Black Soldier Fly, *Hermetia Illucens*, As A Value-Added Tool For The Management of Swine Manure. *J Korean Entomol Appl Sci*. 2005;36(12):17 pp.
13. Wang G, Peng K, Hu J, et al. Evaluation of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as an alternative protein ingredient for juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) diets. *Aquaculture*. 2019;507(April):144-154. doi:10.1016/j.aquaculture.2019.04.023
14. Sheppard DC, Newton GL, Thompson SA, Savage S. A Value Added Manure Management System Using The Black Soldier Fly. *Bioresour Technol*. 1994;50(3):275-279.
15. Tondatuon EA. Studi Karakteristik Sampah Pada Tempat Pembuangan Akhir di Kabupaten Maros. 2013.
16. Sawyer CN, McCarty PL, Parkin GF. Chemistry for environmental engineering and science. 2003.
17. Alvarez L. A Dissertation: The Role of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.)(Diptera Stratiomyidae) in Sustainable Management in Nothern Climates. *Univ Wind Ontario*. 2012.
18. Gaudy AF. *Microbiology for Environmental Scientists and Engineers*.; 1980.
19. Mirwan M. Optimasi pengomposan sampah kebun dengan variasi aerasi dan penambahan kotoran sapi sebagai bioaktivator. *J Ilm Tek Lingkung*. 2015;4(1)(1):61-66.

JUHÁSZ Hajnalka<sup>1</sup> – KONDOR Tamás<sup>1</sup> – DOLGOSNÉ KOVÁCS Anita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Breuer Marcell Doktori Iskola,  
7624 Pécs, Boszorkány út 2.

<sup>2</sup>Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák  
Intézet, Környezetmérnök Tanszék, 7624 Pécs, Boszorkány út 2.

## ÚJRAHASZNOSÍTOTT NEMZETI IDENTITÁS

### ABSZTRAKT

Napjainkban a vegyes kulturális jegyek megjelenése, kimutatható hatással van az élet számos területén, ahogyan az építészetben is. Az említett jegyek nem kizárólag a külsőségek terén hangsúlyosak, hanem az egyes építési módokban is elkülöníthetően feltűnnek. A 2019-ben megrendezésre került Solar Decathlon nemzetközi innovációs házépítő verseny európai és afrikai versenyépületeinek vizsgálata során, a nemzeti identitás megjelenésének kérdését helyeztük fókuszba. A megvalósult minta-házaknál alkalmazott építészeti megoldások eltérő módon, de az elveikben mégis összehasonlíthatóan, a passzív energia-rendszerek lehetőségeit használták, visszanyúlva a helyi tradicionális építészeti módokhoz. Tanulmányomban a fenntarthatóság és újrahasznosítás elveit lekövetve vázolom azokat a helyi építészethez köthető elemeket, melyek alkalmazásra kerültek a HUNGARIAN NEST+ projekt során, továbbá a Solar Decathlon Africa 2019 versenyépületeinél is releváns példát mutattak.

### Kulcsszavak:

Solar Decathlon 2019; Európa; Afrika; újrahasznosítás; nemzeti identitás; kultúra

### BEVZETÉS

Környezetünk fenntarthatóságának legnagyobb feszültségeit az építőipar okozza. Magyarországon a globális károsanyag kibocsátás 20,1%-át az épített környezet ökológiai tudatosság nélküli tervezése, fejlesztése és üzemeltetése adja, további 22,8% a magánháztartások kibocsátásából származik a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatai alapján. Épített környezetünk lakó és középületállományának energiaosztálya több, mint 70%-ban „D” vagy annál rosszabb minőségű. Az országos energiafelhasználás 40% -át az épületek energiaellátására használjuk fel, miközben az energia megtermelés primer alapanyagai 72%-ban fosszilis energiahordozók. Ezt a környezetromboló állapotot nem lehet fenntartani, ebből kifolyólag a magyar energia stratégiához illeszkedően a fosszilis energiahordozók felhasználási mennyiségét folyamatosan vissza kell szorítani és megújuló energiaforrásokra állni át. Továbbá, törekedni kell az újrahasznosított anyagok fenntartható építészeti alkalmazására.

### SOLAR DECATHLON 2019

A Solar Decathlon egy nemzetközi innovációs házépítő verseny, ahol egyetemek mérhetik össze tudásukat, megvalósuló prototípus-épületek megalkotásával. 2019-ben a

kontinenseken átívelő versenysorozat afrikai és európai szekciója került megrendezésre, melyek közül az utóbbi házigazdája Magyarország lehetett. Témája az öröklött épített környezetből adódó társadalmi kihívások megválaszolásával foglalkozott. Magyarországon 800.000 idejétmúlt, fizikailag leamortizálódott „kocka-ház” vár a XXI. század kihívásainak való megfeleltetésre. A Pécsi Tudományegyetem, Miskolci Egyetem és az algériai University of Blida konzorciumában létrejött csapat európai versenyépülete, a HUNGARIAN NEST+ projekt egy innovatív mintapélda, miként lehet minőségi irányvonalat mutatni az öröklött építészeti környezet fenntartható fejlesztésére és az új építészeti irányok meghatározására! Kísérlet az épített környezet energiahatékonyágának pozitívba fordítására.

A Solar Decathlon célja egyben, hogy felhívja a figyelmet az egészséges élőkönyezet kialakításának energiahatékony és fenntartható lehetőségeire. Így a résztvevő csapatok feladata a helyi adottságokhoz alkalmazkodva az épített és a természeti környezet harmóniáját szolgáló mintaépület létrehozása. Ez az afrikai versenynél a kevés esővel járó, fél-száraz, illetve forró éghajlati jellemzőknek való megfelelést jelentette, míg a Magyarországon rendezett európai verseny épületei a négy évszakkal bíró, kontinentális klímára készültek.

A környezeti tényezőkön túl, hangsúlyt kap a társadalmi megközelítés is. Ez a tradíciók, öröklött helyzetek, illetve helyi adottságok tükrében ad választ a XXI. század igényeinek térnyerésére, magába foglalva a fenntarthatóságot támogató, generációkon átívelő tudásátadást.

## **MEGJELENÉS – ÚJRAHASZNOSÍTOTT ÉS TERMÉSZETES ANYAGOK**

A Solar Decathlon verseny egy izgalmas lehetőség azon kísérlet igazolására, hogy az említett körülmények tükrében, miként lehet minőségi irányvonalat mutatni az öröklött építészeti környezet fenntartható fejlesztésére és az új építészeti irányok meghatározására! Kísérlet, mely „Zöld szemlélet” jegyében definiálja az épített és a természeti környezet szimbiózisát. Kísérlet, mely képes programot adni az építészet energetikai egyensúlyának megteremtésére, a fenntartható építészeti megoldások megfogalmazására.

Építészeti szempontból az egyik irány az alacsony költségvetésű passzív, vernakuláris elemek fenntartható alkalmazásával, illetve beépítésével foglalkozott. Ezen irány célja a környezettel összhangban létezni képes humánus lét meghatározása, és környezetünk tudatos fejlesztésének programszerű megfogalmazása volt.

Mind az afrikai, mind az európai verseny során tapasztalható volt a törekvés a tradicionális, népi kézműves technikák megjelenítésére. Így a jelenleg aktív szociális és ökológiai szempontok vegyültek és az újrahasznosított anyagok alkalmazásával. Bemutatásra került az a fenntartható eszköztár, mely az erőforrások újrafelhasználásával képes újradefiniálni a nemzeti identitást napjaink vegyeskultúrájú közegében.



*1.Ábra*

**Újrahasznált anyagok megjelenése az európai versenyen ülőbútorként (baloldali kép), az afrikai versenyen homlokzatburkolatként (jobboldali kép).**

A magyar mintaépület bútorainak egy része a RETEXTIL mozgalom részeként került megfogalmazásra, ami azt jelenti, hogy elhasznált ruhaneműk darabolásával és csomózásával valósítunk meg dizájn termékeket. Ezt a nagy érdeklődésnek örvendő minőségi kézimunkát Pécsen egyre több ember gyakorolja. A tevékenység hasznosságát nemcsak a fenntarthatósági mutatója és ökológiai tudatossága jellemzi, hanem az is, hogy számtalan szellemileg és/vagy testileg sérült ember számára nyújt kreatív közösségi alkotó élményt egy-egy retextil alkotás létrehozása. Gyógyterápiás hatása napjainkra már bebizonyosodott.

Az afrikai versenyen, a már említett csomózásos technika, homlokzatburkolat formájában jelent meg. A népi kézműves technikák alapanyagként a régióra jellemző nagymennyiségű, hátramaradt műanyag zacskó, illetve csomagolóanyag újrafelhasználásával érvényesülnek. Mindez a színező, díszítő funkción túl, egyben figyelemfelhívás a tradíciók megtartására a jelenkor eltérő adottságainak és lehetőségeinek tükrében.

Az ökológiailag fenntartható tervezés másik fontos pillére a természetes anyagok használata. Ezen elv alkalmazására példa a HUNGARIAN NEST+ épület tolófal kialakítású árnyékolórendszere. A déli oldalon megfogalmazott mobil Naptér, mely terasz köré rendezett vessző fonatos táblákkal került kialakításra. Ezt nyáron árnyékfátyol védőréteggént húzhatjuk a ház köré, mely szellős kialakításával a hőmérsékleti különbségekből adódó turbulenciák segítségével veszi le a nap hőterhelését a falakról. A mobil falelemek természetes anyagfelhasználással gyalogakác vesszőfonatból készültek. Az így lehatárolt Naptér a hideg évszakokat is lekövetve, télen szoláris burokként látja el energiával az épületet, a táblák újrahasznosított polikarbonát elemekre való cserélésével.

A meleg évszaktól, illetve a forró éghajlatból adódóan megfogalmazott igényekre való reagálás, hasonló megoldásokat mutatott az afrikai mintaépületek esetében is. A válaszként megjelenő eltolható falelemeket természetes alapanyagú kötélhálókkaal töltötték ki. Az így lehatárolt átmeneti zóna táblái árnyékoló és egyben légáteresztő másodlagos burkot képeztek az épületnek.

Jól lekövethetővé válik, hogy az újradefiniált megjelenések személyes identitást rejtő finom különbségeit a felhasznált anyagok, azok textúrái és színei, a burok tolélemeinek játékos modularizációja, valamint a társult energetikai / funkcionális terek elrendezésének változatossága adja. A személyes igényekhez és a meglévő anyagfelhasználás fizikai

jellemzőhez igazítva többváltozós az egyenlet, mely az újragondolt tömegek energetikai burkának formai megjelenését adja.



*2.Ábra*

**Természetes anyaghasználat a homlokzati tolófalas árnyékolórendszerekben.**

## **ÚJRAHASZNÁLT MEGOLDÁSOK – GRAVITÁCIÓS SZELLŐZÉS**

A természetes szellőzés megoldására, így a gépészeti igények minimalizálásának érdekében, passzív megoldásokat alkalmaztunk a magyar mintaépületnél. Kialakításra került egy belső átrium az épület közepében, mely a Venturi-torony működési elvéhez hasonulva, a kémény-hatást és ezáltal a gravitációs szellőzést kihasználva biztosítja az épület teljes keresztmetszetében a friss levegő utánpótlást. Ahogyan a meleg, már elhasznált levegő felfelé száll, úgy gépi rásegítés nélkül kijut az épület magaspontján az átrium tetején elhelyezett lamellák nyitásakor, majd helyébe az épület alatt kialakított hűtőlabirintuson át beáramló hűvös levegő lép. Többek között, ezzel az újrahasznált megoldással, visszanyúlva a vernakuláris építészeti alkalmazásokhoz, energiahatékony módon biztosítható egy optimális belső termál komfort az épület felhasználói számára.

A helyi tradíciókon alapuló passzív megoldásokra hozott példát a Solar Decathlon afrikai versenye is, ahol az állandósult forróságra reagálva a frisslevegő szükségletet a szellőzőtornyok elvén biztosították. A felmelegedett külső levegő magasponti beáramlását alapul véve, a tornyokban elhelyezett, vízzel kombinált szakaszon hirtelen lehűlő levegő juthat be az épületbe. A harmonikus épített környezet érdekében beépítésre kerülő megoldások kortárs szemléletmóddal közelítik meg az adott régióra jellemző hagyományos építészeti módokat és azok alkalmazott eszköztárát.



3.Ábra

**Frisslevegő utánpótlás biztosítása a gravitációs szellőzés elvének alkalmazásával.**

## ÖSSZEGZÉS

Megállapítható, hogy az eltérő földrészekben, illetve a különböző régiókban, az örökölt építészeti környezet, mint adottság, erős alapot nyújt az újtagondolt fejlesztéseknek. A vernakuláris építészeti példákra alapuló megoldások felhasználásával új építészeti irányok definiálhatók, a környezettudatos gondolkodás és a fenntartható megoldások fontosságát hangsúlyozva. A helyi anyagok és erőforrások használatát kombinálva a praktikus tudással, eredményezhet optimális egyensúlyt és egyben fejlesztheti a korunk változásaihoz való reagálás képességét. A tanulmányban bemutatott elemek példák az ökológiai célok eléréséhez vezető folyamatokra, azok helyi tradíciókon alapuló kivetüléseire, ahol a kulturális sokszínűség eszközeit különböző módon, de hasonló gondolkodásmóddal, a tudatos felhasználás révén alkalmazták.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kara által, az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 számú, „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodás Tematikus Hálózat – RING 2017” című projekt keretében kiírt ösztöndíjpályázat segítségével valósulhatott meg.

## HIVATKOZÁSOK

1. **Központi Statisztikai Hivatal:** „2011. ÉVI NÉPSZÁMLÁLÁS - 12. Lakásviszonyok” 2014. [Online].  
Link: [https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/nepsz2011/nepsz\\_12\\_2011.pdf](https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/nepsz2011/nepsz_12_2011.pdf).  
[Hozzáférés dátuma: 2020. november 28.]
2. **Chenghua Zhanga, Jianzhong Wua, Chao Longa, Meng Chenga.:** „Review of Existing Peer-to-Peer Energy Trading Projects,” in Elsevier Ltd., Energy Procedia, Volume 105, 2017. május, 2563-2568. [Online].  
Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217308007>.  
[Hozzáférés dátuma: 2020. november 28.]
3. **ifj. Kistelegdi István:** „Hazánk első energia-pozitív ipari és irodaépülete - Komló 2012” [Online].



Link: <https://energiadesign.hu/cikk/projektek/hazank-elso-energia-pozitiv-ipari-es-irodaepulete-komlo-2012-1>. [Hozzáférés dátuma: 2020. november 28.]

4. „A ‘kevesebb’ a jövő megoldása! – low-tech épületek high-tech tervezéssel” 2016. április, [Online].

Link: <https://energiaoldal.hu/a-kevesebb-a-jovo-megoldasa-low-tech-epuletek-high-tech-tervezessel/>. [Hozzáférés dátuma: 2020. november 28.]

## PASSZÍV ENERGIATEREK (SDE 19)

### ABSZTRAKT

„A fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy csökkentené a jövő generációk képességét, hogy kielégítsék a saját szükségleteiket.”  
(1987, Brundtland Commission of the United Nations)

Az emberi energiafelhasználás növekedésével és a fosszilis energiaforrások rendelkezésre álló mennyiségének csökkenésével a fenntarthatóság nélkülözhetetlen szempont épített környezetünk tervezésekor. Ezen a ponton utalnék a korábban idézett gondolatra. Az általunk tervezett épületek utánunk a jövő nemzedékeit szolgálják, így a mi generációnk hibáiból vagy hanyagságából adódó problémákkal őket állítjuk még nagyobb kihívások elé. A téma kutatását a Solar Decathlon 2019-es versenye kapcsán kezdtem. Itt a cél egy közel nulla energiaigényű épület megvalósítása volt, amely természetes vagy újrahasznosított építőanyagokból, korszerű építési és üzemeltetési technológiák integrálásával a fenntarthatóság szellemében.

Magyarországon a lakossági energiafogyasztás legnagyobb részét a fűtésre és hűtésre elhasznált energia adja. Emellett épületállományunk hozzávetőlegesen 90%-a energetikai besorolását tekintve CC-vagy annál rosszabb minősítésbe tartozik.<sup>1</sup>

A passzív szolár építészeti gondolkodásmód, energiatudatosság, tervezési eszköz, harmónia a természettel.<sup>2</sup> Passzív megoldásokkal nem csak a gépészet mértékét csökkenthetjük, de a fűtési energiaigény fedezésére napenergiát használva a CO<sub>2</sub> kibocsátás mértéke is nagymértékben csökkenthető, ideális esetben megszüntethető, és aktív zöld felületek révén O<sub>2</sub> termelhető.

A Passzív energiaterek létrehozásakor fontos szerepet játszik a formaképzés, az anyagválasztás, a tájolás, a gépészeti rendszerek kapcsolata az épületszerkezetekkel, és még számos tényező. Mindezt egy jobb komfortérzet, egészséges körülmények, költséghatékonyság, energiahatékony működés érdekében, magas esztétikai minőség mellett tűzzük ki célul építésként.

A passzív energiaterekről fogok a továbbiakban írni, a Solar Decathlon Europe 2019-es versenyén megépült Hungarian Nest+ projekt mintaházán keresztül bemutatva.

### PASSZÍV ENERGIA

A tervezés lényege „egy olyan „interaktív” mondható épület, amely elsősorban vagy kizárólag építészeti és épületszerkezeti eszközökkel hasznosítja a klimatikus elemeket: a napsugárzás energiáját az épület fűtésére és nyári szellőzésének serkentésére, az árnyékolást, a szelet a szervezett természetes szellőztetésre, a vizet az evaporatív hűtésre”<sup>3</sup>

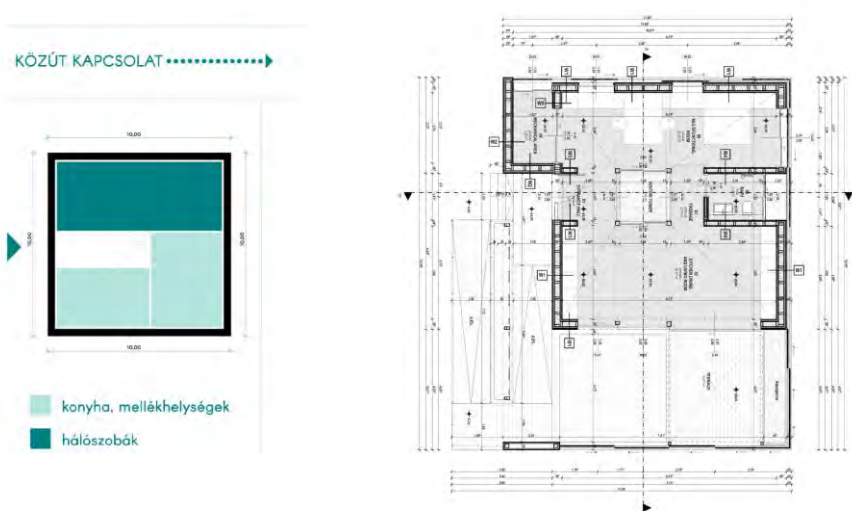
Passzív megoldásokkal nem csak a gépészet mértékét csökkenthetjük, de a fűtési energiaigény fedezésére napenergiát használva a CO<sub>2</sub> kibocsátás mértéke is nagymértékben csökkenthető, ideális esetben megszüntethető, és aktív zöld felületek révén O<sub>2</sub> termelhető.

Magyarországon mérsékelt övi, változékony éghajlata miatt elsősorban a fűtési energiaigény fedezése a feladat. Ennek okán a napenergiát hasznosító rendszereknek három fő szerepük van. Feladatuk a sugárzási energia begyűjtése, a begyűjtött energia tárolása, majd az energia leadása. Amennyiben passzív rendszerről beszélünk, mind a három feladatot épületgépészeti rendszer nem láthatja el.

## FORMAKÉPZÉS, TÉRALAKÍTÁS

A tervezés első fázisában rendkívül nagy szerepet kap a formaképzés, megfelelően kell tájournunk az épületet, hogy az épület egyes homlokzataira eső napsugárzás mértéke a lehető legoptimalizáltabb legyen. Minél tömörszerűbb a formaképzés, annál kedvezőbb a helyzetünk a transzmissziós hőveszteség szempontjából. Kisebb a hőveszteség, ha kevesebb felület van, amely külső és belső teret határol, ugyanakkor a jól napos irányba tájolt falak homlokzati felülete energiát gyűjt. A tervezés során fontos az egyensúly megtalálása a lehűlő felületek minimalizálása, és a szoláris energia nyereség maximalizálásának érdekében. Az elhelyezendő helyiségek tekintetében egyértelmű, hogy a nagyobb hőenergia igényű helyiségeket célszerű minél inkább délre tájolni, az ennél kisebb igényű tereket pedig az épület belső, megnyitásoktól távolabb eső zónába. A vernakuláris építészetben számos példát találunk, amelyek ezeken a tudományos tényeken alapulnak.

A Hungarian Nest+ esetében első lépésként fel kellett mérnünk, milyen koncepció alapján válhat ökológikusan fenntartható, okos otthonná egy öröklött „Kádár-kocka”. Tudni kell, hogy a vizsgált épületek tájolása az esetek 95%-ban nem veszi figyelembe a napenergia hasznosításának és az épület környezettel való kapcsolatának lehetőségét. Az élettér (nappali) és a hálótér szinte minden esetben az utca felé néz, függetlenül annak tájolásától. Az épület É-D-i utcáknál déli oldalról szinte teljesen zárt, míg keletre és nyugatra a helyiségek egy központi sötét folyosóról nyílnak. A belsőterek intim része / nappali és háló / az utcára van szervezve, míg a mellékhelyiségek élvezhetik a kertkapcsolatot. Az épület előnytelen telepítése K-NY-i utcáknál sem sokban változik. A nappali és a háló északra az utcára néz, míg a kertbe nyúló déli oldal szinte alig lép kapcsolatba saját környezetével. Újra rendeztük az alaprajzot, hogy a környezeti kapcsolódás minden oldalon erősödjön. Újra definiáltuk az épület tájolását, hogy bármely városi szövetben a legideálisabb feltételeket biztosítsa a belső terek számára a benapozás és az energetika előnyeit. Zónákra bontottuk az épületet, melyek segítségével nemcsak a belső elrendezés intimitását tudtuk megszervezni, hanem a vizes rendszereket is egyszerűsíthettük.



1. ábra

### Mintaház alaprajzi koncepciója



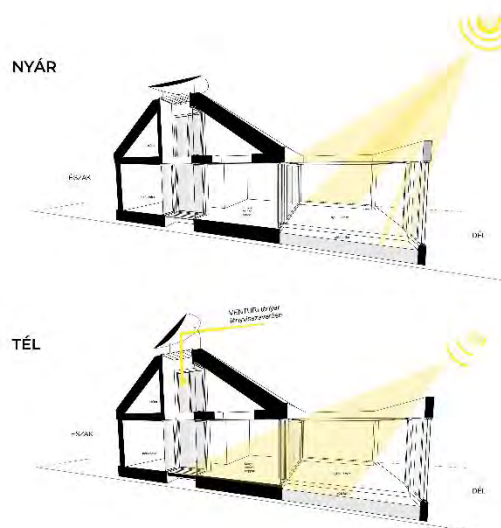
2. ábra

### Mintaház zónái

## NAPTEREK

A fogalmat meghatározva naptérnek akkor nevezünk egy teret, ha van transzparens külső határolása, az épület legalább egy fűtött helyiségével érintkezik, az épületből megközelíthető, mesterséges fűtése nincs.<sup>6</sup>

A napterek minden esetben valamilyen épülethez csatlakoznak, és nem szabadon álló üvegházak. Az itt beérkező napsugárzás a padló és falszerkezetekben nyelődik el, így



melegítve fel az épület hőtároló tömegeit. Ha jobban megvizsgáljuk, a padlóra eső sugárzást, annak jelentősebb része a naptér padlóját éri, ezzel is melegítve annak levegőjét. Egy naptér hatásfoka egyértelműen akkor éri el a maximumot, ha déli tájolással rendelkezik, ugyanakkor ezt a körülmények nem minden esetben engedik.

Amennyiben erre nincs lehetőségünk, célra vezető lehet pufferzóna kialakítására törekedni a tervezés során. Nem ritka, hogy beüvegezett loggiákat látunk a városokban sétálva, vagy a falvak esetében utólagosan beépült tornácokat.

### 3. ábra

A napterek egy sajátos esete lehet az átrium is egy épületben, ennek feltétele, hogy az ne rendelkezzen semmilyen mesterséges fűtési technológiával. Benapozásból adódó nyereség mértéke függ a tér szélességi/magassági arányaitól. Míg keresztmetszetét tekintve benapozás szempontjából egy alacsonyabb, de szélesebb átrium hasznos.

### Mintaház napterének működése télen és nyáron

A mintaház is rendelkezik naptérrel, mégpedig a déli oldalon. Ezt a teret körbe veszi egy sínen tolható árnyékoló rendszer, amely aztán körbe fut a ház Keleti és északi oldalán is, mint egy második héj. A nyugati oldalon pedig egy futó növény fal árnyékol. a napteret képző terasz felülről pedig egy, az épületből vezérelhető, kihúzható napvitorla védi. Télen pedig a polikarbonát tolófallá átalakult árnyékolórendszer szoláris burokként öleli körbe az épületet.

## SZELLŐZÉS

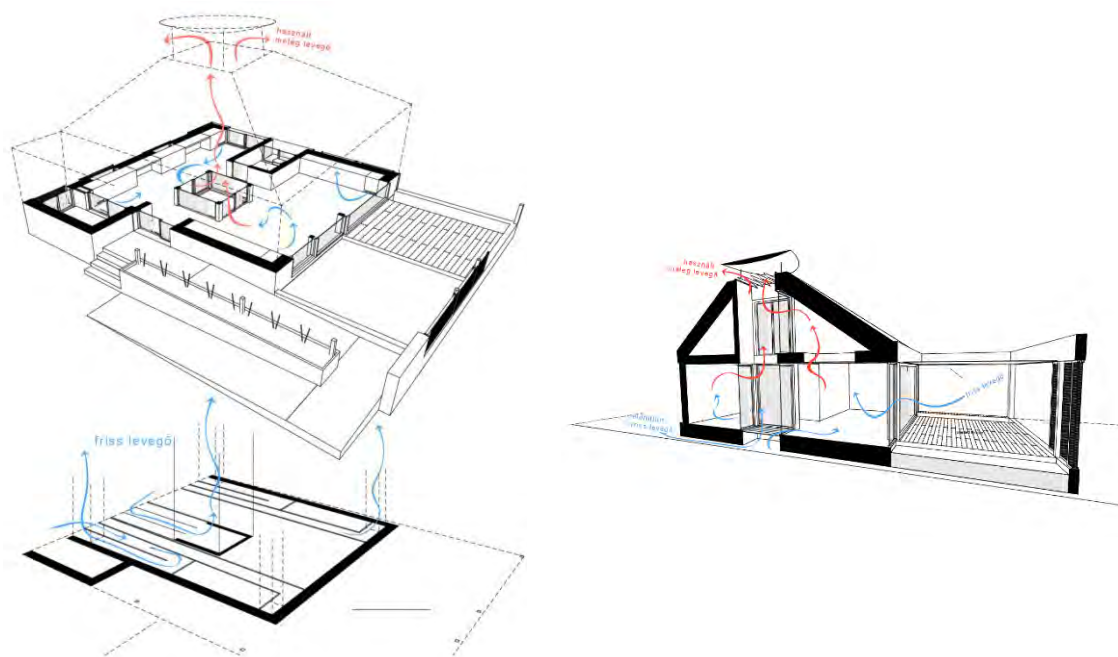
Az átriumos kialakítás működésének egyik jellegét már említettem Napterek című pontban. A másik fontos szerepe a természetes szellőztetésben van, ahol pont az ellentétes térarányok, a keskeny, de magas átriumok a kedvezőbbek.

A versenyháznál mi is terveztünk passzív szellőzést, amelynek alapvetően két fő eleme van, egy légszatorna és az épület közepén elhelyezkedő Venturi-torony.

Esetünkben a levegő egy előre gyártott beton elemekből álló légszatornán keresztül érkezik, így az egyébként is hűsebb, északi oldalról beszívott levegő 40 folyóméternyi beton csatornán halad át, amely a ház alatt fekszik. A földem és padlószerkezetben, a ház 4 sarkán található egy-egy szellőző nyílás, ahol a légszatornában áramló levegő be tud lépni a házba.

A középen elhelyezkedő Venturi torony a földszinten észak és dél felé nyitható meg. A torony tetején helyezkedik el a Venturi tányér, és a hozzá tartozó lamella szerkezet, nevét is erről kapta a technológia. A lemezek nyitott állapota mellett homlokzati nyílászárókat becsukva, a torony földszinti ajtóit megnyitva hozható létre a legerőteljesebb huzathatás, amelynek segítségével az épület levegője gyorsan átöblíthető.

A mintaház fa szerkezetből épült, így elemeltük a földtől és lábakra állítottuk, így alakítottuk ki a helyet a légszatorna számára. De egy kockaház lehetséges megoldását hivatott bemutatni. A kockaházak többsége rendelkezik pincével, ahol egyébként is jóval hűsebb a levegő hőmérséklete, mint a lakótérben, így a légszatorna szerepét képes ellátni.



4. ábra

Mintaház passzív szellőzésének működési ábrája

## ÖSSZEGZÉS, EREDMÉNYEK

A projekt és a csapat mindezekkel a megoldásokkal a nemzetközi versenyen több díjat is elnyert:

- építészet kategória 2. helyezés
- energiahatékonyság 3. helyezés
- közösségért különdíj
- ÉVOSZ különdíj

Ezt követően a kutatási anyagommal az ösztöndíjas időszak folyamán a 2019 tavaszán tartott kari TMDK konferencián részt vettem, ahol építészettudomány kategóriában 2. helyezést értem el.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kara által, az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 számú, „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodás Tematikus Hálózat – RING 2017” című projekt keretében kiírt ösztöndíjpályázat segítségével valósulhatott meg.

## FORRÁSOK

1. <https://orszagos-tanusito-kozpont.hu/szamitas-besorolas>
2. **FÜLÖP L.** (2014): *Napenergia hasznosítása épületekben*, pp. 82, Debrecen, ZENFE kiadó
3. **CSOKNAI T., ZÖLD A.** (2013): *Épületenergetika*, pp. 105, Budapest, TERC Kft.
4. **CSOKNAI T., ZÖLD A.** (2013): *Épületenergetika*, pp. 126, Budapest, TERC Kft.

**Molnár J. – Debreczeni Á.**

*Miskolci Egyetem, Bányászati és Geotechnikai Intézet*

## **ÁSVÁNYI ÉS MÁS ÉPÍTÉSI EREDETŰ HULLADÉK ANYAGOKBÓL KÉSZÍTETT HŐSZIGETELŐ KOMPOZITOK MŰSZAKI JELLEMZÉSÉNEK NÉHÁNY KÉRDÉSE**

### **Abstract**

*Partial utilization of wastes produced by modern human society can reduce amount of disposed waste, furthermore saleable products can be produced. Heat insulating tiles can be made of certain construction wastes as aggregate and solidified fly ash from coal fired power plants as binding agent. Certain wastes such as saw dust, wooden chips, expanded polystyrene granules, polyurethane, etc. can be used as aggregates of the composites. Composite construction materials made of wastes must be qualified as any other materials not containing waste components. If heat insulating blocks are examined, mostly their thermal, fire safety and mechanical properties must be examined. Especially for polymer waste base material as they generate poisoning and sometimes carcinogenic gases while burning.*

*Basic aspects of this qualification are revised in this paper. This is mostly based on the construction materials and rock mechanics topics which are parts of educating mining engineering students at Institution of Mining and Geotechnical Engineering, University of Miskolc. Furthermore laboratories of other institutions of Faculty of Earth Science and Engineering mostly of Institution of Raw Materials Preparation and Environmental Processing.*

**Kulcsszavak:** építőanyag, kompozit, hulladék, geopolimer, anyagvizsgálat

### **1. BEVEZETÉS**

A modern társadalmak életében keletkező hulladékok részbeni feldolgozásával egyrészt csökkenthető a különféle lerakókban elhelyezendő hulladéktömeg, másrészt piacképes termékeket lehet előállítani. Az építőipari hulladékok és a széntüzelésű hőerőművek pernyéjének egy részéből például hőszigetelő lapok készíthetők. Az ilyen hőszigetelő kompozitok előállítása jó lehetőséget nyújt fa hulladékok (fűrészpor, forgács) és különféle műanyagok (különféle habosított műanyagok, polisztirol, poliuretán) újbóli hasznosítására is.

A hulladékokból készülő kompozit építőanyagokat is minősíteni kell, ezért azok hőtechnikai tulajdonságait és szilárdsági jellemzőit is meg kell határozni. Továbbá a szemcsés adalékanyagok gyakran éghető anyagok, azok tűzbiztonsági kérdéseit is tisztázni kell. Különösen áll ez a polimer hulladék adalékanyagokra, melyek égéstermékai sok esetben toxikus, nem egyszer karcinogén hatásúak lehetnek.

Cikkünkben ennek a minősítésnek a szempontjait foglaljuk össze. Nagymértékben hagyatkoztunk a Bányászati és Geotechnikai Intézetnek az építőanyagok oktatásával és kutatásával kapcsolatos tevékenységére, és számoltunk a Műszaki Földtudományi Kar, azon belül is a Bányászati és Geotechnikai Intézet valamint a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet laboratóriumainak a vizsgálati lehetőségeire.

### **2. A HŐSZIGETELŐ ÉPÍTÉSI KOMPOZITOK MŰSZAKI JELLEMZÉSÉNEK ÁLTALÁNOS SZEMPONTJAI**

A szerkezeti anyagok minősítésének esztétikai, gazdasági, egészség- és környezetvédelmi szempontjai mellett mérnöki szempontból nagyon fontosak a fizikai, kémiai, esetenként biológiai módszerekkel mérhető műszaki jellemzői. Erre a műszaki

jellemzésre az esetek döntő többségében a következő paraméterek közül szokás a megfelelőket választani [7, 8]:

1. az anyag szerkezete
  - atomos-molekuláris, kristályos szerkezet
  - mikroszkopikus szerkezet (szemcsézettség, mikrokristályos szerkezet, mikroszkopikus repedések, kolloid szerkezet, stb.)
  - makroszkopikus szerkezet (szemcsék, lemezek, szálak, pórusok, zárványok, repedések, stb.)
2. szilárdsági tulajdonságok
3. felületi mechanikai jellemzők
  - keménység
  - kopási ellenállás (kopásállóság), dörzsállóság
  - szemcsehalmaz elporladási jellemzői
  - hasíthatóság, hasító-húzószilárdság
  - forgácsolási ellenállás
4. szabálytalan alakú szemcsék és ömlesztett szilárd anyagalmazok jellemzői
  - szemcsealak, szemcseméret, szemnagyság
  - szemcsehalmaz szemnagyságának valószínűségi és statisztikai jellemzői (szemnagyság intervalluma, terjedelme, eloszlása, momentumai)
  - fajlagos felület
  - a határoló felület minősége (érdesség)
  - sűrűség, porozitás és testsűrűség, szemcsehalmaz hézagossága és halmazsűrűség
  - természetes rézsűszög
5. hidrotechnikai jellemzők
  - nedvességtartalom
  - vízfelvétel, nedvfelvétel, vízfelszívás
  - dinamikai viszkozitás
  - szivárgási tényező
  - szivárgást megindító nyomásgradiens
  - diffúziós és ozmotikus tényező
6. hőtechnikai jellemzők
  - fajhő
  - lineáris és térfogati hőtágulási tényező
  - hővezetési tényező
  - halmazállapot változási paraméterek: olvadási vagy lágyulási hőmérséklet és fagyáshő, forrási hőmérséklet és forrási hő
  - gyulladási feltételrendszer: lobbanáspont és gyulladási hőmérséklet, gyulladáshoz szükséges energia és anyagok
  - éghetőség, hőállóság, hőlökés állóság, tűzállóság
7. akusztikai jellemzők
  - hangsebesség
  - akusztikus keménység (akusztikus impedancia)
  - hangcsillapítási tényező
  - porózus anyagok akusztikus jellemzői: fajlagos áramlási ellenállás, akusztikai (látszólagos) porozitás, szerkezeti tényező
8. elektromos-mágneses jellemzők
  - dielektromos állandó (permittivitás), remanens eltolódás
  - (mágneses) permeabilitás. remanens mágnesség, koercitív erő, Curie-pont



- fajlagos ellenállás, átmeneti hőmérséklet
  - átütési szilárdság
  - érintkezési- (Volta-féle), termoelektromos és elektrokémiai standard potenciál
  - elektromágneses sugárzással szembeni viselkedést leíró jellemzők: törésmutató, extinkcióállandó, hőszugárzási tényező
9. nukleáris jellemzők
- bomlási állandó, felezési idő
  - aktivitás
  - hatáskeresztmetszet különféle sugárzásokra
10. tartósság

Természetesen általában nem kell az összes felsorolt jellemzőre minősíteni az egyes szerkezeti anyagokat. Azt kell minden esetben az anyag tulajdonságait is szem előtt tartva megfontolni, hogy a konkrét alkalmazás milyen követelményeket támaszt a beépítendő szerkezeti elemekkel szemben. Ez a kettős szemlélet korábban is megvolt az építőanyag termékek minőségi szabályozásában. Például a zúzottkövekre és a homokoskavicsokra külön minőségi szabványok vonatkoztak. A betonoknak, habarcsoknak és aszfaltoknak, amelyek ezeket mint szemcsés adalékanyagokat tartalmazták, szintén megvoltak a maguk minőségi (termék)szabványai [1, 2, 6, 10, 11, 12]. A minőségi szabályozás ezredforduló utáni változásai azonban már a kész termékekre fogalmaztak meg minőségi követelményeket, míg a komponenseire vonatkozó követelményeket már ezekhez igazították.

A kompozit anyagok legalább két komponensből, mátrixból és adalékanyagból állnak. A kötőanyagként és adalékanyagként szóba jöhető anyagfajták rendkívül változatosak lehetnek [8]. Ezért fontos a hulladékokból készített kompozitok esetében az egyes komponensekre vonatkozó minőségi követelmények körének megválasztása, a kész termékekre vonatkozó követelmények gondos alkalmazása mellett.

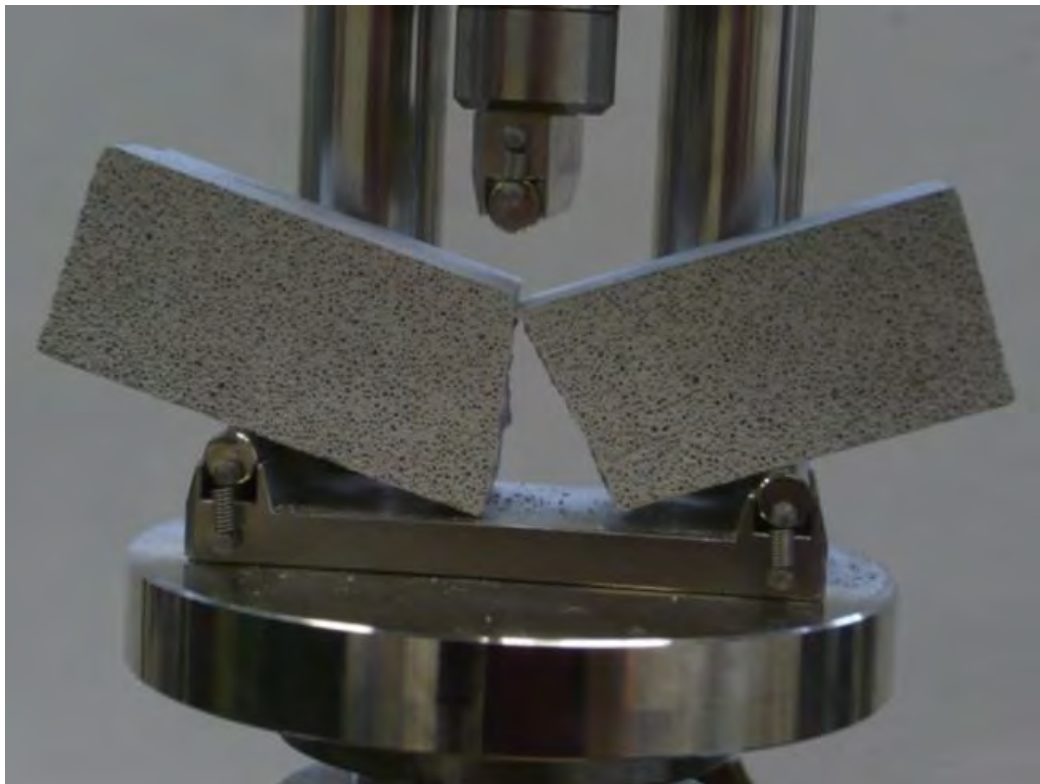
### **3. ÚJRAHASZNOSÍTOTT KOMPONENSEKBŐL ÁLLÓ HŐSZIGETELŐ ÉPÍTÉSI KOMPOZITOK MŰSZAKI JELLEMZŐI**

Az újrahasznosított komponensekből álló hőszigetelő építési kompozitokkal kapcsolatos alapvető kutatási feladatokban a következő hőtechnikai és a mechanikai jellemzőket kell elsősorban vizsgálni:

1. Fajhő
2. Lineáris és hőtágulási tényezők: Az egyes komponensek hőtágulási tényezőinek közel azonosaknak kell lenniük, nehogy a hőmérséklet ingadozás vagy nagyobb mértékű hőmérséklet emelkedés káros belső feszültségek kialakulásához vezessen.
3. Hővezetési tényező: A termékből készítendő burkolat hőszigetelő képességét jellemzi. Jó hőszigetelők általában azok a nemfemes anyagok, melyek pórusait gáz tölti ki, és a gáz az anyag üregeibe be van zárva.
4. Gyulladásí feltételrendszer: A gyúlékonyságot a tűzbiztonságot szabályozó nemzetközi szabvány (EN ISO 11925-1:2010) alapján kell meghatározni.
5. Éghetőség, hőállóság, hőlökés állóság, tűzállóság: A hőállóság és a tűzállóság klasszikus fogalmai helyett polimer adalékanyagú kompozitokra az alkalmazás hőmérsékleti tartományát kell meghatározni, melyen belül a műanyag kémiaiilag stabil marad. A tűzbiztonság tisztázásához az úgynevezett nem-éghetőségi tesztet (EN ISO 1182:2010) is el kell végezni, valamint a próbatestre az egyedi égő test vizsgálatát (EN 13823:2010). Továbbá meg kell határozni a füstgáz összetételét, és az égéskor keletkező hő hatásait a szerkezetre.
6. Reflexiós tényező, extinkcióállandó: Bár általában véve elektromágneses sugárzással szembeni viselkedést leíró mennyiségekről van szó, az első jellemző a hőszugarak

határfelületről való visszaverődését, a második a hőszigetelő rétegben való elnyelődését adja meg.

7. Statikus szilárdság mérése: Ebben az anyagi jellemző körben – a közetmechanikában és a geomechanikában alkalmazott módon – több paramétert is meghatározunk. A szakítószilárdságot közvetett húzóvizsgálattal (Brazil-teszttel) szoktuk elvégezni. Emellett nyomó-, hajlító- és nyíróvizsgálatot is [13, 14]. A szóban forgó hőszigetelő kompozitok viszonylag ridegek, amint azt az 1. ábrán hajlítóvizsgálatban tönkrement próbatest is mutatja [4].
8. Keménység kopásállóság: A keménység Brinell-, Vickers- és Rockwell-féle (statikus) meghatározása mellett dinamikus módszerrel, úgynevezett Schmidt-kalapácsos módszerrel is célszerű meghatározni.



*1. ábra*

#### **YTONG próbatestek hajlító-szilárdságának mérése [4]**

### **4. GEOPOLIMEREK, MINT A HŐSZIGETELŐ ANYAGOK KÖTŐANYAGAI**

A hőszigetelő kompozitok kötőanyagai és adalékanyag komponensei meglehetősen sokfélék [8]. Az adalékanyag általában jó hőszigetelő, azaz rossz hővezető (pl. habosított műanyagok, duzzasztott perlit, stb.) szemcsék tömege. A kötőanyagok körében a klasszikus polimerek, nemhidraulikus kötőanyagok (mész, vízüveg, építési gipsz) és cementek mellett megjelentek különféle polixialátok [3, 5, 13]. A geopolimerek erősen lúgos közegben gyorsított kötésű, szilícium-, alumínium-, kalcium-, magnézium- illetve vasoxidból álló kristályos rendszerek. Széntüzelésű hőerőművekben keletkezett hamukból általában lehet geopolimert készíteni. Magyarország területén igen tetemes (becslések szerint százmillió tonnánál is nagyobb) mennyiségű hamu található. Környezetvédelmi szempontból fontos volna ennek a deponált tömegnek a csökkentése. Az viszont gazdasági érdek lenne, hogy a hamu egy részéből geopolimerrel szilárdított piacképes építési kompozitokat állítsanak elő. A tanulmányunkban ismertetett vizsgálati szempontokat tulajdonképpen az ilyen geopolimer

kötőanyagú, habosított polimer gyöngy adalékanyagú hőszigetelő kompozitok vizsgálatához dolgoztuk ki.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS – ACKNOWLEDGEMENT

A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

The described work/article was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## IRODALOM

1. BALÁZS GYÖRGY (1994): *Építőanyagok és kémia*. Műegyetemi Kiadó, 1994. Jegyzet azonosító: 94493.
2. BALÁZS GYÖRGY (szerk., 1983): *Építőanyag praktikum*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
3. DAVIDOVITZ, J. (2019): *Creating the Geopolymer Standards*. 2019 Geopolymer Camp. Geopolymer Institute Library. URL: <https://geopolymer.org/fichiers/gpcamp-2019/Davidovits%20-%20Creating%20the%20Geopolymer%20Standards.pdf>. Letöltve. 2020. január 5.
4. DEBRECZENI ÁKOS, MUCSI GÁBOR, SZABÓ ROLAND (2019): *Bányászati hulladékok felhasználásával készült építőanyagok szilárdsági tulajdonságainak mérése*. In Proc. XXI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia. Nagybánya, 2019. május 9-12., p46-50.
5. KHATER, H. M. M. (2018): *Preparation and characterization of lightweight geopolymer composites using different aluminium precursors*. *Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, **2018/6** Vol. 70, No. 6., p 186-194. URL: [http://epitoanyag.org.hu/static/upload/10.14382\\_epitoanyag-jsbcm.2018.33.pdf](http://epitoanyag.org.hu/static/upload/10.14382_epitoanyag-jsbcm.2018.33.pdf). Letöltve. 2020. január 5.
6. MAROSI GYULA (szerk., 1993): *Építőipari minőségi követelmények*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1993.
7. MOLNÁR JÓZSEF (2008): *Építőanyagok. Anyagjellemzők*. Oktatási segédlet, kézirat. Miskolci Egyetem, Bányászati és Geotechnikai Intézet. Miskolc. 2008.
8. MOLNÁR JÓZSEF (2009): *Építőanyagok. Építési kompozitok. Cementek. Betonok. Szilikátkerámiák*. Oktatási segédletek, kézirat. Miskolci Egyetem, Bányászati és Geotechnikai Intézet. Miskolc, 2009.
9. PALOTÁS László (1979): *Mérnöki szerkezetek anyagtana 1. Általános anyagismeret*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1979.
10. PALOTÁS László (1979): *Mérnöki szerkezetek anyagtana 2. Fa-kő-fém-kötőanyagok*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1979.
11. PALOTÁS László (1980): *Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Beton-habarc-s-kerámia-műanyag*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1980.
12. SAMANTASINGHAR, S. & SINGH, S.P. (2019): *Fresh and Hardened Properties of Fly Ash–Slag Blended Geopolymer Paste and Mortar*. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. Int J Concr Struct Mater 13: 47. <https://doi.org/10.1186/s40069-019-0360-1>. Letöltve. 2020. január 5.
13. SOMOSVÁRI ZSOLT DR. (1990): *Geomechanika I.*, Tankönyvkiadó, Budapest.
14. SOMOSVÁRI ZSOLT DR. (1989): *Geomechanika II.*, Tankönyvkiadó, Budapest.

Vizvári Z.<sup>1</sup> – Györfi N.<sup>2</sup> – Klincsik M.<sup>3</sup> – Sári Z.<sup>3</sup> – Odry P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék  
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar  
7624 Pécs, Boszorkány út 2.*

<sup>2</sup>*Élettani Intézet  
Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar  
7624 Pécs, Szigeti út 12.*

<sup>3</sup>*Informatika és Villamos Intézet, Műszaki Informatika Tanszék  
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar  
7624 Pécs, Boszorkány út 2.*

<sup>4</sup>*Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék  
Dunaújvárosi Egyetem  
2401 Dunaújváros, Táncsics Mihály utca 1/A fszt.*

## **ÚJ MEGKÖZELÍTÉSŰ ELEKTROMOS IMPEDANCIA TOMOGRÁFIÁS REKONSTRUKCIÓS ALGORITMUS VALIDÁLÁSA ELLENÁLLÁS HÁLÓZATON**

Az Elektromos Impedancia Tomográfia megvalósításának kutatását, mivel a módszer megvalósítása nem tekinthető szttenderdizáltnak, roncsolásmentes mivolta miatt jelenleg is igen nagy figyelem övezi a mérés technika alkalmazásának számos területén. A módszer előnye a denzitás alapú módszerekkel (pl. akusztikus, optikai mérések stb.) szemben, hogy a vizsgált objektum kémiai tulajdonságai enged következtetni. Kutatócsoportunk a módszer megvalósításának egy új nézőpontját vizsgálja. Ennek következtében a vizsgált, kontinuumnak tekinthető, anyagot koncentrált paraméterű, lineáris hálózatként modellezve a gráf ágain levő súlyokat, azaz cikkünkben ellenállásokat kívánjuk meghatározni. A matematikai modell definiálása után fizikai modellt készítettünk, amelyen validálva a módszert, visszakaptuk a gráf ágaira elhelyezett ellenállás értékeket azok toleranciáján belül.

### **1. BEVEZETÉS**

Az EIT kiértékelési algoritmusainak elméleti háttérével foglalkozó szakirodalmak mennyisége igen jelentős. Cikkünkben igyekeztünk azokat megjelentetni, melyek valamilyen módon hasznunkra váltak a bemutatott mérőföldkö eléréséhez.. Ezek a [1] – [26]. Az EIT mérés alapvető parciális differenciál egyenlete képezi a kiértékelés alapját: [2]

$$\nabla \cdot \sigma \nabla \phi = 0 \quad (1.1)$$

Ez az elektromosságban Poisson-egyenletként ismert és abban az esetben, ha a vezetőképesség a helytől független, azaz homogén, izotróp közegben, Laplace-egyenletre egyszerűsödik: [2]

$$\Delta\phi = 0 \quad (1.2)$$

Mind a Poisson-, és a Laplace-egyenlet megoldható az ún. Dirichlet-, és Neumann-peremfeltételek, vagy mindkettő egyidejű megadásával. [2]

A megoldáshoz többféle matematikai módszer áll a rendelkezésre. Ilyenek a véges elem módszer (FEM, Finite Element Method, [2]), a peremelem módszer (BEM, Boundary Element Method, [3]), a véges differenciák módszere (FD, Finite Differences) stb.

A mérés során a legfőbb célunk, hogy az (1.1) egyenletben szereplő, helytől függő vezetőképességet határozzuk meg. Erre különböző inverz probléma megoldási módszerek állnak a rendelkezésünkre: [4]

- LBP: linear back projection („lineáris visszavetítés”)
- nem lineáris módszerek,
- heurisztikus (empírikus) módszerek.

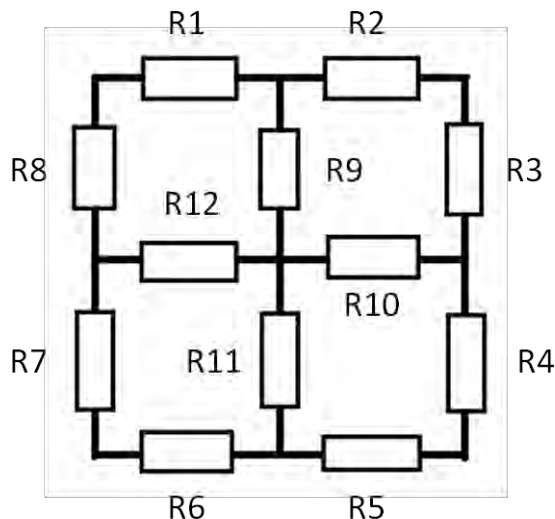
Az EIT mérések a mérési geometria szempontjából két fő csoportra oszthatóak fel:

1. ha a földfelszínen helyezük el az elektródákat, végtelen féltérrel modellezhetjük az adott szituációt;
2. ha élő fára helyezük el az érzékelőket egy kör mentén, zárt geometriával, körrel modellezhetjük a mérést.

Mivel a peremfeltételek nem végtelen féltér, hanem zárt geometriai alakzat esetében vannak értelmezve, ezért a mérés technikai megoldásokban kereshetünk analógiákat, azonban a kiértékelés és képalkotás területén ez sokkal nehezebb feladat.

## 2. A SAJÁT FEJLESZTÉSŰ KIÉRTÉKELŐ ALGORITMUS

A kiértékelés, illetve az ún. inverz feladat megoldásának közelítése érdekében, az ez irányú kutatási munka első lépéseként fontosnak tartottuk, hogy magát a fizikai hátteret olyan mértékig egyszerűsítsük, hogy szinte kizárólag az inverz feladat megoldására tudjunk koncentrálni. Így jutottunk el addig a megfontolásig, hogy első lépésben a folytonos fizikai rendszerekről (validáló edény esetében sóoldat, illetve maga a faanyag) diszkrét, koncentrált rendszerekre térünk át. Így a differenciál egyenlet által leírt fizikai rendszert passzív, lineáris áramköri elemek hálózatára egyszerűsítettük. Meglepő volt számunkra, hogy a fizikai problémát az elméleti villamosságtan egyik kiemelt inverz problémájaként tartják számon és igen nagy irodalma van. Ilyenek például a [5]. Ezekben egyszerűbb ellenálláshálóok inverz feladatát ismertetik és megoldási lehetőségeket mutatnak be. Ezek alapján egyszerűbb ellenálláshálókon kezdve a kísérletezést, a következő ellenállásháló inverz feladatát oldottuk meg (2.1. ábra):



**2.1. ábra**  
**12 ágból és 5 csomópontból álló ellenállásháló**

Az inverz feladat megfogalmazása a következő: határozzuk meg az  $R_1, R_2, \dots, R_{12}$  értékeket, abban az esetben ha csak az ellenállások által alkotott háló szerkezetét ismerjük!

A példa megoldásához alkalmazhatóak a passzív, lineáris hálózat leírását szolgáló Kirchhoff-törvények, illetve az Ohm-törvény, melyeket gráfelméletes hálózatszámítási módszerek segítségével így fogalmazhatunk meg mátrix alakban:[6]

1. Kirchhoff-csomóponti törvény (Kirchhoff's Current Law, KCL):

$$\mathbf{A}^T \vec{i}_b = \vec{i}_g \quad (2.1)$$

2. Kirchhoff huroktörvény (Kirchhoff's Voltage Law, KVL):

$$\vec{v}_b = \vec{e}_g - \mathbf{A} \vec{u}_n \quad (2.2)$$

3. Ohm-törvény (Ohm's Law, OL):

$$\vec{v}_b = \mathbf{G} \vec{i}_b \quad (2.3)$$

Ahol

$\mathbf{A}$ : a hálózat gráfját és a felvett áramirányokat leíró ág – csomópont topológiai mátrix

$\vec{e}_g$ : a hálózat ágaiban található feszültséggenerátorok vektora,

$\vec{i}_g$ : a hálózat ágaiban található áramgenerátorok vektora,

$\vec{i}_b$ : a hálózat ágain folyó áramok vektora,

$\vec{u}_n$ : a hálózat csomópontjaiban, (egy tetszőlegesen kijelölt 0V-hoz képest) mérhető potenciálok vektora,

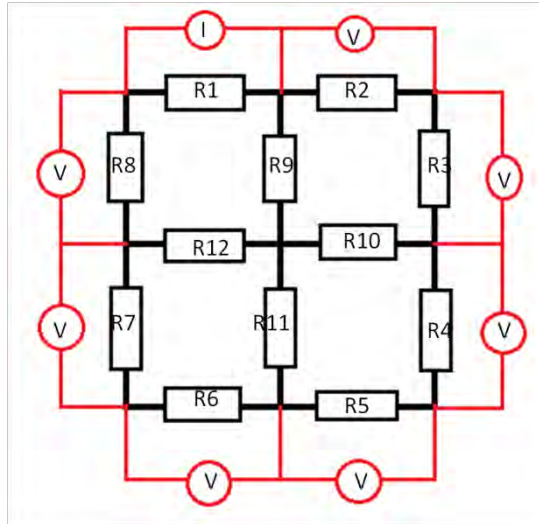
$\vec{v}_b$ : a hálózat ágain mérhető feszültségesések vektora,

$\mathbf{G}$ : a hálózat ágain levő vezetőképességek mátrixa (diagonális mátrix).

A fenti egyenletekből egyértelműen kiolvasható, hogy a célunk a  $\mathbf{G}$  mátrix kiszámítása, ami első lépésben nem tűnik nehéz feladatnak. Azonban, ha szembesülünk azzal a ténnyel,

hogy a méréseinket, azaz az adatgyűjtést csak a peremen végezhetjük, tehát az  $R_1, R_2, \dots, R_8$  ellenállások ágain (2.1. ábra), akkor jövünk rá, hogy valójában sokkal több ismeretlenünk van, mint egyenletünk.

A helyzeten javíthatunk, ha egy ún. mérési stratégiát választunk. A mérés kivitelezéséhez első lépésben a Sheffield-módszert („adjacent-pattern”) használtuk. Ennek első lépését szemlélteti a 2.2. ábra. A Sheffield-módszer esetében áramgenerátoros gerjesztést alkalmazunk, melyet egy, a peremen elhelyezkedő ágra (szomszédos csomópontokra) kötünk. A méréseket is ezt követve végezzük: a peremen, szomszédos csomópontokra kötjük a mérőcsatornák bemeneteit. Mivel differenciális mérőbemenetekkel rendelkezünk, ezért a polaritás-helyesen bekötött mérőcsatornák segítségével a peremen elhelyezkedő ágakon eső feszültségeket mérjük, azonos polaritással.



2.2. ábra

A Sheffield-módszer alkalmazásának első lépése [5]

### 3. A KIÉRTÉKELŐ ALGORITMUS VALIDÁLÁSA

A mérési stratégia első lépésének realizálását az 2.2. ábrán láthatóan végeztük el. Az  $R_1, R_2, \dots, R_8$  ellenállások ágaihoz csatlakoztattuk a mérőbemeneteket, míg az áramgenerátort az  $R_1$  ellenállás ágára kötöttük. A továbbiakban a mérőcsatornák nem kerültek multiplexelésre, csak a gerjesztés vándorolt  $R_8$ -ig. A generátor kapcsolási sorrendjét foglalja össze a következő táblázat (3.1. táblázat):

3.1. táblázat

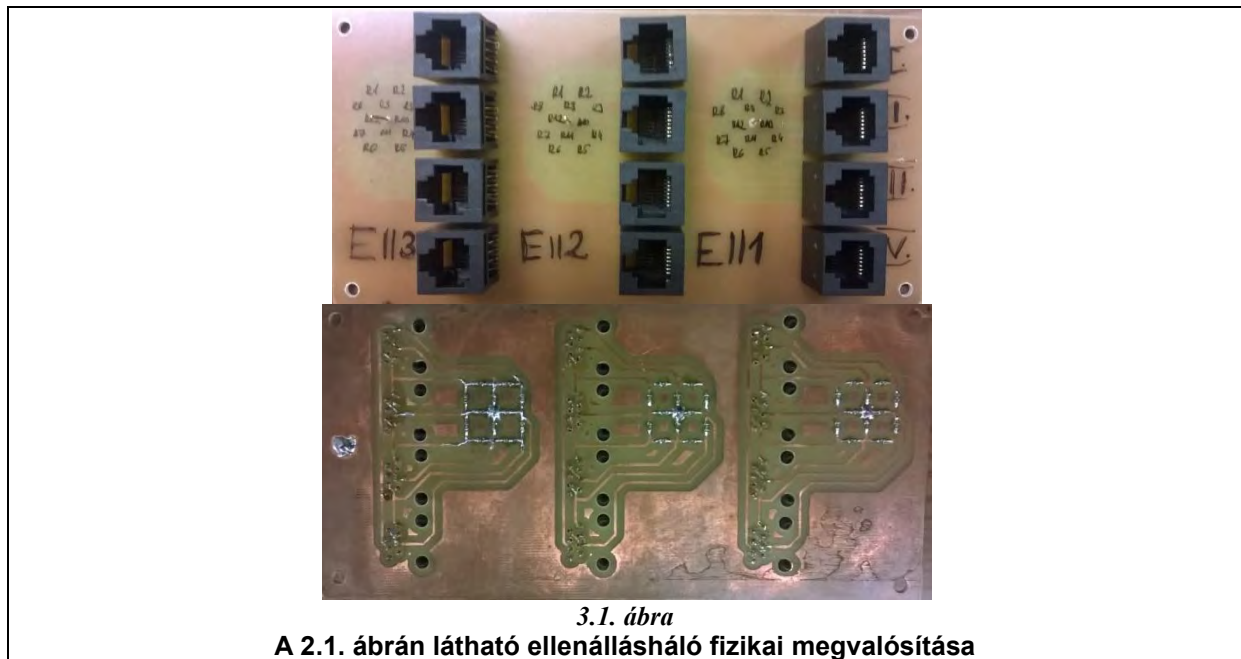
A Sheffield-módszer esetében alkalmazott generátor kapcsolási sorrendje, míg a mérőcsatornák helye nem változik [5]

| Ág | I. mérés | II. mérés | III. mérés | IV. mérés | V. mérés | VI. mérés | VII. mérés | VIII. mérés |
|----|----------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|------------|-------------|
| 1  | 1        | 0         | 0          | 0         | 0        | 0         | 0          | 0           |
| 2  | 0        | 1         | 0          | 0         | 0        | 0         | 0          | 0           |
| 3  | 0        | 0         | 1          | 0         | 0        | 0         | 0          | 0           |
| 4  | 0        | 0         | 0          | 1         | 0        | 0         | 0          | 0           |
| 5  | 0        | 0         | 0          | 0         | 1        | 0         | 0          | 0           |
| 6  | 0        | 0         | 0          | 0         | 0        | 1         | 0          | 0           |
| 7  | 0        | 0         | 0          | 0         | 0        | 0         | 1          | 0           |
| 8  | 0        | 0         | 0          | 0         | 0        | 0         | 0          | 1           |





A megépített fizikai modellt a következő kép szemlélteti (3.1. ábra):



A mérési eredmények, a kiértékelés, és az inverz feladat nehézségének megértéséhez a következőkkel kell szembesülnünk:

- minden generátor pozícióhoz tartozik 4 db hurokegyenlet és 8 db csomóponti egyenlet, melyek együtt alkotnak egy 12 független egyenletből álló egyenletrendszert,
- minden generátor pozíció esetében csak a peremen levő ágakon ismerjük a feszültségesést, amit be tudunk helyettesíteni az egyenletrendszereinkbe,
- minden generátor pozíció esetében ismeretlen a belső ágakon eső feszültség és az összes ágon folyó áram, valamint az összes ellenállás érték,
- a forgatással együtt még mindig sokkal több ismeretlenünk van, mint egyenletünk.

Ebben az esetben kihasználhatjuk azt, hogy minden forgatás esetében ugyanazok az ellenállás értékek szerepelnek az egyenletekben. Így sikerült kidolgoznunk egy optimalizációs eljárást, mely a mérési adatokból számítja ki a hálózatban levő ellenállások értékeit.

Ennek igazolásaként az E111 ellenálláshálón (3.1. ábra) történt mérés eredményeit mutatnánk be. Az E111 ellenálláshálóba szerelt ellenállások értékei és a visszaállítás során kapott eredmények a következők: (3.2. táblázat)

Az EI11 ellenállás hálón végzett mérés eredményei

|     | Referencia értékek<br>(Ohm) | 1 mérésből<br>(Ohm) | 2 mérésből<br>(Ohm) | 3 mérésből<br>(Ohm) | 4 mérésből<br>(Ohm) | 5 mérésből<br>(Ohm) |
|-----|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| R1  | 19984                       | 19807.9             | 19846.1             | 19839.9             | 19842.0             | 19839.0             |
| R2  | 20014                       | 20650.4             | 20685.4             | 20689.7             | 20689.5             | 20690.1             |
| R3  | 19976                       | 20278.8             | 20274.1             | 20273.6             | 20271.5             | 20271.6             |
| R4  | 19966                       | 20414.9             | 20417.6             | 20420.6             | 20423.5             | 20425.5             |
| R5  | 20015                       | 20288.4             | 20273.9             | 20273.6             | 20272.0             | 20270.6             |
| R6  | 20019                       | 20115.3             | 20130.1             | 20142.1             | 20141.2             | 20139.9             |
| R7  | 19989                       | 20102.2             | 20102.1             | 20096.1             | 20094.6             | 20090.0             |
| R8  | 20000                       | 19974.5             | 20039.2             | 20043.3             | 20045.5             | 20046.7             |
| R9  | 1001                        | 1004.6              | 1006.0              | 1006.1              | 1006.2              | 1006.2              |
| R10 | 1002                        | 1016.2              | 1016.8              | 1016.9              | 1017.0              | 1017.0              |
| R11 | 1001                        | 1001.4              | 1001.7              | 1002.0              | 1002.1              | 1002.0              |
| R12 | 1003                        | 995.9               | 996.2               | 996.3               | 996.5               | 996.4               |

|     | Referencia értékek<br>(Ohm) | 6 mérésből<br>(Ohm) | 7 mérésből<br>(Ohm) | 8 mérésből<br>(Ohm) | 9 mérésből<br>(Ohm) | 10 mérésből<br>(Ohm) |
|-----|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| R1  | 19984                       | 19837.1             | 19837.6             | 19834.3             | 19838.3             | 19835.7              |
| R2  | 20014                       | 20692.6             | 20694.1             | 20692.9             | 20691.5             | 20695.4              |
| R3  | 19976                       | 20268.0             | 20266.3             | 20269.0             | 20265.1             | 20266.3              |
| R4  | 19966                       | 20421.6             | 20425.8             | 20421.8             | 20424.5             | 20425.6              |
| R5  | 20015                       | 20273.2             | 20270.3             | 20270.3             | 20274.5             | 20270.3              |
| R6  | 20019                       | 20143.0             | 20145.8             | 20144.7             | 20144.8             | 20148.4              |
| R7  | 19989                       | 20089.7             | 20091.5             | 20089.8             | 20088.2             | 20089.1              |
| R8  | 20000                       | 20048.7             | 20048.5             | 20049.0             | 20052.2             | 20051.7              |
| R9  | 1001                        | 1006.1              | 1006.2              | 1006.1              | 1006.2              | 1006.2               |
| R10 | 1002                        | 1016.8              | 1017.0              | 1016.9              | 1016.9              | 1016.9               |
| R11 | 1001                        | 1001.9              | 1002.0              | 1002.0              | 1002.0              | 1002.0               |
| R12 | 1003                        | 996.5               | 996.4               | 996.6               | 996.5               | 996.5                |

A mérés végrehajtása a következőképpen történt:

1. az R1,R2,...,R16 értékeket bemértük KEITHLEY 2100 típusú 6 ½ digitos multiméterrel (a mérés során az ellenállás értékeket az utolsó stabil értékig rögzítettük három mérés során, majd ezek átlagát vettük), ezt tekintjük Referencia értékeknek az 1.2. táblázatban
2. összeszerelés után 10 db mérést végeztünk adatgyűjtés üzemmódban, miközben a nyers adatokat SD kártyán tároltuk
3. az adattáblák darabonkénti előfeldolgozása után mindegyikre külön lefuttattuk az optimalizációs eljárást

Az eredményekről egyöntetűen megállapíthatjuk, hogy meglepően jól közelítik a referencia értékeket. Ezen kívül az is észrevehető, hogy a mérőeszköz, valamint a kiértékelő program igen stabil, a 10 mérés között észrevehetetlen az eltérés. A következő táblázatban foglaltuk össze a mérési eredmények statisztikai paramétereit (3.3. táblázat).

**A mérési eredményei statisztikai jellemzői, illetve a referencia értékektől való eltérések**

| A 10 mérés statisztikai jellemzői |             |              |        | A referenciáktól való eltérések |       |
|-----------------------------------|-------------|--------------|--------|---------------------------------|-------|
| Név                               | Átlag (Ohm) | Szórás (Ohm) | CV (%) | H (Ohm)                         | h (%) |
| R1                                | 19836       | 10.33        | 0.052  | 148.20                          | 0.74  |
| R2                                | 20687       | 13.20        | 0.064  | -673.14                         | 3.36  |
| R3                                | 20270       | 4.29         | 0.021  | -294.42                         | 1.47  |
| R4                                | 20422       | 3.64         | 0.018  | -456.14                         | 2.28  |
| R5                                | 20274       | 5.42         | 0.027  | -258.73                         | 1.29  |
| R6                                | 20140       | 9.83         | 0.049  | -120.53                         | 0.60  |
| R7                                | 20093       | 5.26         | 0.026  | -104.34                         | 0.52  |
| R8                                | 20040       | 23.32        | 0.116  | -39.93                          | 0.23  |
| R9                                | 1006        | 0.49         | 0.049  | -5.00                           | 0.50  |
| R10                               | 1017        | 0.23         | 0.024  | -14.84                          | 1.48  |
| R11                               | 1002        | 0.18         | 0.018  | -0.90                           | 0.09  |
| R12                               | 996         | 0.19         | 0.020  | 6.62                            | 0.66  |

A mérési eredmények statisztikai jellemzőinek vizsgálatánál képeztük mindegyik kiszámított ellenállás átlagát, majd az egyes R értékeket szórását a 10 db rekonstrukció során. Ezután kiszámítottuk a szórás és az átlag érték százalékos arányát (CV). Ezzel kívánjuk szemléltetni, hogy a 10 db rekonstrukció során maximum 0,1 %-os eltéréssel tudtuk megismételni a mérést. (3.3. táblázat)

A következő lépés annak vizsgálata volt, hogy a visszaállított ellenállás értékek milyen abszolút (H), illetve relatív hibával (h) rendelkeznek a referencia értékekhez képest. Ennek eredményeit mutatja az 1.3. táblázat „A referenciáktól való eltérések” oszlopa. Mely szerint az optimalizáció során kapott ellenállás értékeket max 3,5 %-os relatív hibával kaphatjuk vissza.

#### 4. TOVÁBBLÉPÉSI LEHETŐSÉGEK

Ezen számítási algoritmus validálásával, azaz kutatómunkánk első jelentős mérföldkövével, két irányban léphetünk tovább:

1. bonyolítjuk, fejlesztjük az ellenálláshálót,
2. áttérünk a komplex értékekre a végcélunkhoz igazodva.

A döntésünk az volt, hogy ne bonyolítsuk az ellenálláshálót, hanem térjünk át a komplex írásmódra, hiszen a mérőeszköz szinuszos gerjesztéssel, komplex értékek mérésére készült. Az eddigiekben bemutatott algoritmus komplex értékekre való átírása asztali PC-ink számítási kapacitásainak problémájába ütközött, így rátértünk az algoritmus módosítására. Jelenleg ezen dolgozunk. Célunk, hogy a megfelelő inverz feladat megoldó algoritmus megtalálásával oly mértékig bonyolítsuk az ellenálláshálót, hogy helyettesíthetjük annak fizikai írásmódját a végesesleges differenciál egyenlet megoldó algoritmussal.

## SZAKIRODALOMJEGYZÉK

1. Standeisky I.: Elektrodinamika; 2007, Egyetemi Jegyzet, Széchenyi István Egyetem, UNIVERSITAS-GYŐR Kht., Győr
2. Holder, D. S.: ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY, 2005, Methods, History and Applications, Institute of Physics Publishing, IOP Publishing Ltd.
3. Duraiswami R., Sarkar K., Chahine G. L.: „Efficient 2D and 3D electrical impedance tomography using dual reciprocity boundary element techniques”, Engineering Analysis with Boundary Elements 22 (PII: S0955-7997(98)00028-9), 1998, 13–31,
4. Rasteiro, M. G., Silva, R., Garcia, F. A. P. and Faia P.: „Electrical Tomography: a review of Configurations and Applications to Particulate Processes”, 2011, Hosokawa Powder Technology Foundation
5. Adler, A., Lionheart, W. R. B.: Uses and abuses of EIDORS: An extensible software base for EIT, 2006 Physiol. Meas.
6. Parker, M. J.: An Inverse Problem for Networks, Electrical, Massachusetts Institute of Technology, 1990
7. Erkel, A., Dr Meskó, A., Dr Stegena, L.: Geofizikai Kutatási Módszerek III., 1970, Felszíni Geofizika, Tankönykiadó Vállalat, Bp.
8. Lesparre N., Adler A., Gibert D., Nicollin F.: Electrical Impedance Tomography in geophysics, application of EIDORS, 2017
9. Polydorides, N.: Image reconstruction algorithms for soft-field tomography, 2002, UMIST, PhD thesis
10. Lipponen, A., Seppanen, A., Kaipio, J. P.: „Reduced order estimation of nonstationary flows with electrical impedance tomography”, 2010, 17th Australasian Fluid Mechanics Conference
11. Meraa, NS., Lesnic, D.: A boundary element method for the numerical inversion of discontinuous anisotropic conductivities. 2003, Engineering Analysis with Bondary Elements 27
12. Kima, K. Y., Kima, B. S., Kimb, M. C., Kimc, S.: „Dynamic inverse obstacle problems with electrical impedance tomography, Mathematics and Computers in Simulation” 2004, 66, 399–408
13. Bera, T. K., Nagaraju, J.: „Resistivity imaging of a reconfigurable phantom with circular inhomogeneities in 2D-electrical impedance tomography”, 2010, ELSEVIER 44, 0263-2241
14. George D. L. and Ceccio S. L.: „Validation of Electrical-impedance Tomography for Measurements of Materlal Distribution in Two-phase Flows”, Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Michigan, 48109-2121 USA
15. Woo, E. J.: „Impedance Spectroscopy and Multi-Frequency Electrical Impedance Tomography”, 2007, International Journal of Bioelectromagnetism, Vol. 9 No. 2
16. Oh, T. I., Koo, H., Lee, K. H., Kim, S. M., Lee, J., Kim, S. W., Seo J. K. and Woo, E. J.: „Validation of a multi-frequency electrical impedance tomography (mfEIT) system KHU Mark1: impedance spectroscopy and time-difference imaging”, 2008, IOP PUBLISHING, Physiol. Meas. 29 295–307
17. Grieve, B. D.: On-line Electrical Impedance Tomography for Industrial Batch Processing, 2002, Department of Chemical Engineering UMIST, Manchester, UK, Thesis
18. Hua, P., Woo, E. J., Webster, J. G., Tompkins, W. J.: „Improved Methods to Determine Optimal Currents in Electrical Impedance Tomography”, 1992, IEEE Transactions On Medical Imaging. Vol. 1 I, NO. 4,

19. Wang, M.: Three- dimensional Effects in Electrical Impedance Tomography, 1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester, April 14-17, 1999
20. Maimaitijiang, Y., Bohm, S., Gaggero, P. O., Adler A.: „Evaluation of EIT System Performance”, *Physiol Meas.* 2011 Jul;32(7):851-65
21. Hossain, M. A., Dr. A.-U.-Ambia, Aktaruzzaman, M., Khan, M. A.: „Implementation of Radon Transformation for Electrical Impedance Tomography (EIT)”, *International Journal of Information Sciences and Techniques (IJIST)* Vol.2, No.5, September 2012
22. Uhlmann, G.: Electrical impedance tomography and Calder’ on’s problem, 2009 *Inverse Problems* 25 123011
23. Lee, I. B.: Determining Conductivity by Boundary Measurements: Some Numerical Results, Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland, College Park, Maryland, Technical Note, 1988,
24. Adler, A., Borsic, A., Polydorides, N., Lionheart, W. R. B.: Simple FEMs aren’t as good as we thought: experiences developing EIDORS v3.3, Manchester Institute for Mathematical Sciences, 2008.
25. Polydorides, N., Lionheart W. R. B.: „A Matlab toolkit for three-dimensional electrical impedance tomography: a contribution to the Electrical Impedance and Diffuse Optical Reconstruction Software project”, 2002 *Meas. Sci. Technol.* 13 1871
26. Vauhkonen, M., Lionheart, W. R. B., Heikkinen, L. M., Vauhkonen, P. J., Kaipio, J. P.: A MATLAB package for the EIDORS project to reconstruct two-dimensional EIT images, 2001 *Physiol. Meas.* 22 107

Vizvári Z.<sup>1</sup> – Györfi N.<sup>2</sup> – Klincsik M.<sup>3</sup> – Sári Z.<sup>3</sup> – Odry P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék  
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar  
7624 Pécs, Boszorkány út 2.*

<sup>2</sup>*Élettani Intézet  
Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar  
7624 Pécs, Szigeti út 12.*

<sup>3</sup>*Informatika és Villamos Intézet, Műszaki Informatika Tanszék  
Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar  
7624 Pécs, Boszorkány út 2.*

<sup>4</sup>*Informatikai Intézet, Számítógéprendszerek és Irányítástechnikai Tanszék  
Dunaújvárosi Egyetem  
2401 Dunaújváros, Táncsics Mihály utca 1/A fszt.*

## **ÚJ MEGKÖZELÍTÉSŰ ELEKTROMOS IMPEDANCIA TOMOGRÁFIÁS REKONSTRUKCIÓS ALGORITMUS VALIDÁLÁSA IMPEDANCIA HÁLÓZATON**

Kutatócsoportunk a módszer megvalósításának egy új nézőpontját vizsgálja. Ennek következtében a vizsgált, kontinuumnak tekinthető, anyagot koncentrált paraméterű, lineáris hálózatként modellezzük. Cikkünkben sikerült általánosítani a matematikai modellt olyan mértékben, hogy az anyag dielektromos állandóját (azaz koncentrált paraméter párját a kapacitást) is figyelembe vegye. Így annak ellenére, hogy jelentősen megnöveltük az ismeretlenek számát a modellben, lehetőséget teremtettük a multifrekvenciás megközelítés alkalmazására, aminek következtében az optimalizált egyenletrendszer mindig túlhatározott marad. A matematikai modell definiálása után fizikai modellt készítettünk, amelyen validálva a módszert, visszakaptuk a gráf ágaira elhelyezett ellenállás és kondenzátor értékeket azok toleranciáján belül.

### **1. ELMÉLETI HÁTTÉR (SZAKIRODALOM-KUTATÁS) ÉS KIÉRTÉKELŐ ALGORITMUS FEJLESZTÉSE**

Az EIT kiértékelési algoritmusainak elméleti háttérével foglalkozó szakirodalmak mennyisége igen jelentős abbaól fakadóan, hogy a roncsolásmentes eljárást igen széles körben használják. Beszámolónkban igyekeztünk azokat megjelölni, melyek valamilyen módon hasznunkra váltak. Ezek a [1] – [27].

Az EIT mérés alapvető parciális differenciál egyenlete képezi a kiértékelés alapját: [2]

$$\nabla \cdot \sigma \nabla \phi = 0 \quad (1.1)$$

Ez az elektromosságban Poisson-egyenletként ismert és abban az esetben, ha a vezetőképesség a helytől független, azaz homogén, izotróp közegben, Laplace-egyenletre egyszerűsödik: [2]

$$\Delta\phi = 0 \quad (1.2)$$

Mind a Poisson-, és a Laplace-egyenlet megoldható az ún. Dirichlet-, és Neumann-peremfeltételek, vagy mindkettő egyidejű megadásával. [2]

A megoldáshoz többféle matematikai módszer áll a rendelkezésre. Ilyenek a véges elem módszer (FEM, Finite Element Method, [2]), a peremelem módszer (BEM, Boundary Element Method, [3]), a véges differenciák módszere (FD, Finite Differences) stb.

A mérés során a legfőbb célunk, hogy az (1.1) egyenletben szereplő, helytől függő vezetőképességet határozzuk meg. Erre különböző inverz probléma megoldási módszerek állnak a rendelkezésünkre: [4]

- LBP: linear back projection („lineáris visszavetítés”)
- nem lineáris módszerek,
- heurisztikus (empírikus) módszerek.

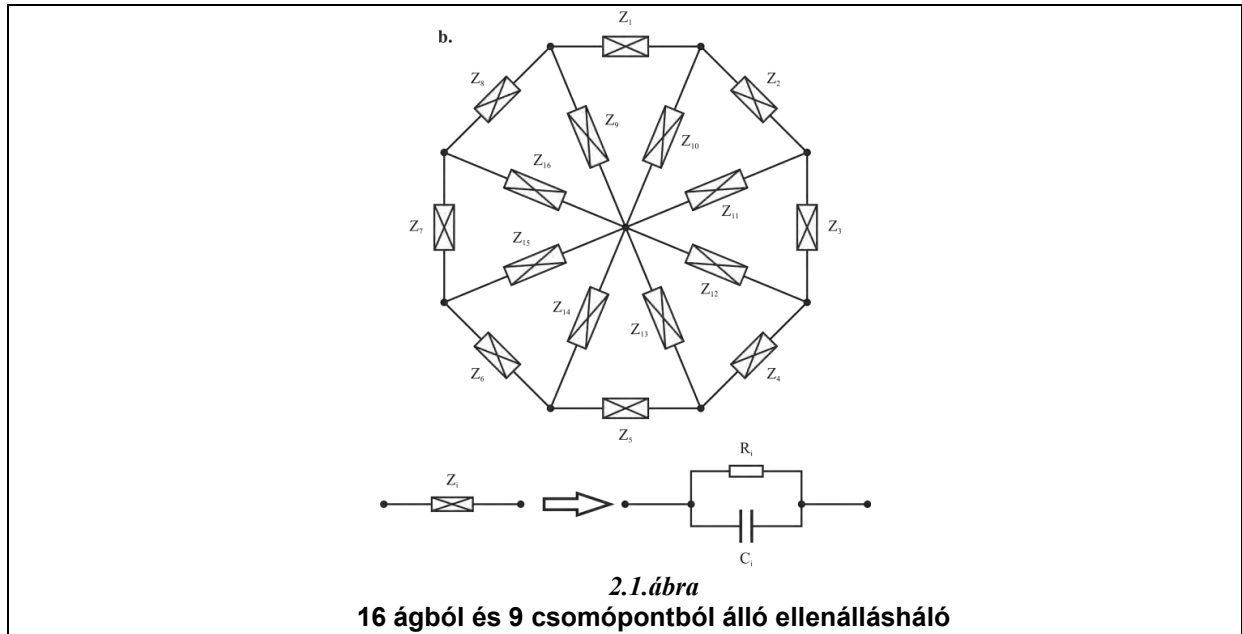
Az EIT mérések a mérési geometria szempontjából két fő csoportra oszthatóak fel:

1. ha a földfelszínen helyezük el az elektródákat, végtelen féltérrel modellezhetjük az adott szituációt;
2. ha élő fára helyezük el az érzékelőket egy kör mentén, zárt geometriával, körrel modellezhetjük a mérést.

## 2. KIÉRTÉKELŐ ALGORITMUS FEJLESZTÉSE

A kiértékelés, illetve az ún. inverz feladat megoldásának közelítése érdekében, az ezirányú kutatási munka első lépéseként fontosnak tartottuk, hogy magát a fizikai hátteret olyan mértékig egyszerűsítsük, hogy szinte kizárólag az inverz feladat megoldására tudjunk koncentrálni. Így jutottunk el addig a megfontolásig, hogy első lépésben a folytonos fizikai rendszerekről diszkrét, koncentrált paraméterű rendszerekre térünk át. Így a differenciálegyenlet által leírt fizikai rendszert passzív, lineáris áramkörti elemek hálózataira egyszerűsítettük. Meglepő volt számunkra, hogy a fizikai problémát az elméleti villamosságban egyik kiemelt inverz problémájaként tartják számon és igen nagy irodalma van. Ilyenek például a [28] – [32].

A mérési eredmények kiértékeléséhez néhány idealizált esetben lehetséges analitikus megoldást is találni, további problémák megjelenésénél, általában, numerikus megoldást szükséges használni. Ilyen ajánlott megoldás a Véges Elem Módszer (FEM). ([2]) Hervé Gagnon és szerzőtársai szerint ([28]) a FEM-es mérés kiértékelés gyakorlatilag analóg a Kirchhoff-csomóponti és huroktörvények felírásával felállítható egyenletrendszer megoldásával. Ezt használtuk ki a matematikai modellünk megalkotásához. A matematikai modell gyakorlatilag egy impedancia hálózattal (lineáris passzív hálózattal) helyettesíti a folytonos anyagot. A hálózatban szereplő admittancia értékek kiszámítása a feladat az áramgenerátoros gerjesztés és a peremen végzett feszültség mérések segítségével. (2.1. ábra):



A mérési eredmények kiértékeléséhez néhány idealizált esetben lehetséges analitikus megoldást is találni, további problémák megjelenésénél, általában, numerikus megoldást kell használni. Ilyen ajánlott megoldás a Végés Elem Módszer (FEM). ([2]) Hervé Gagnon és szerzőtársai szerint ([28]) a FEM-es mérésiértékelés gyakorlatilag analóg a Kirchhoff-csomóponti és huroktörvények felírásával felállítható egyenletrendszer megoldásával. Ezt használtuk ki a matematikai modellünk megalkotásához. A matematikai modell gyakorlatilag egy impedancia hálózattal (lineáris passzív hálózattal) helyettesíti a folytonos anyagot. A hálózatban szereplő admittancia értékek kiszámítása a feladat az áramgenerátoros gerjesztés és a peremen végzett feszültség mérések segítségével. (2.1. ábra):

Az inverz feladat megfogalmazása a következő: határozzuk meg az  $R_1, R_2, \dots, R_{12}$  értékeket, abban az esetben ha csak az ellenállások által alkotott háló szerkezetét ismerjük!

A példa megoldásához alkalmazhatóak a passzív, lineáris hálózat leírását szolgáló Kirchhoff-törvények, illetve az Ohm-törvény, melyeket gráfelméletes hálózatszámítási módszerek segítségével így fogalmazhatunk meg mátrix alakban:[22]

1. Kirchhoff-csomóponti törvény (Kirchhoff's Current Law, KCL):

$$\mathbf{A}^T \vec{i}_b = \vec{i}_g \quad (2.1)$$

2. Kirchhoff huroktörvény (Kirchhoff's Voltage Law, KVL):

$$\vec{v}_b = \vec{e}_g - \mathbf{A} \vec{u}_n \quad (2.2)$$

3. Ohm-törvény (Ohm's Law, OL):

$$\vec{v}_b = \mathbf{G} \vec{i}_b \quad (2.3)$$

Ahol

$\mathbf{A}$ : a hálózat gráfját és a felvett áramirányokat leíró ág – csomópont topológiai mátrix

$\vec{e}_g$ : a hálózat ágaiban található feszültséggenerátorok vektora,

$\vec{i}_g$ : a hálózat ágaiban található áramgenerátorok vektora,



$\vec{i}_b$ : a hálózat ágain folyó áramok vektora,

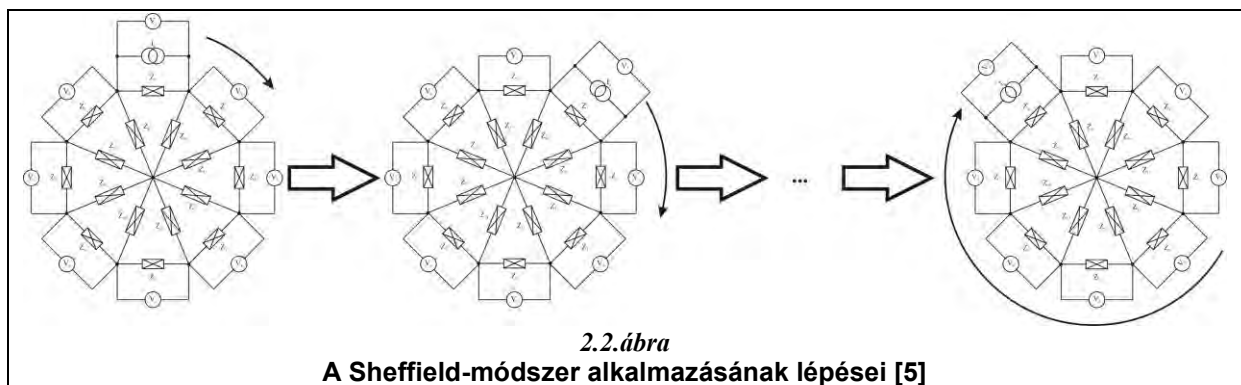
$\vec{u}_n$ : a hálózat csomópontjaiban, (egy tetszőlegesen kijelölt 0V-hoz képest) mérhető potenciálok vektora,

$\vec{v}_b$ : a hálózat ágain mérhető feszültségesések vektora,

$\mathbf{G}$ : a hálózat ágain levő vezetőképességek mátrixa (diagonális mátrix).

A fenti egyenletekből egyértelműen kiolvasható, hogy a célunk a  $\mathbf{G}$  mátrix kiszámítása, ami első lépésben nem tűnik nehéz feladatnak. Azonban, ha szembesülünk azzal a ténnyel, hogy a méréseinket, azaz az adatgyűjtést csak a peremen végezhetjük, tehát az  $R_1, R_2, \dots, R_8$  ellenállások ágain (2.1. ábra), akkor jövünk rá, hogy valójában sokkal több ismeretlenünk van, mint egyenletünk.

A helyzeten javíthatunk, ha egy ún. mérési stratégiát választunk. A mérés kivitelezéséhez első lépésben a Sheffield-módszert („adjacent-pattern”) használtuk. Ennek első lépését szemlélteti a 2.2. ábra. A Sheffield-módszer esetében áramgenerátoros gerjesztést alkalmazunk, melyet egy, a peremen elhelyezkedő ágra (szomszédos csomópontokra) kötünk. A méréseket is ezt követve végezzük: a peremen, szomszédos csomópontokra kötjük a mérőcsatornák bemeneteit. Mivel differenciális mérőbemenetekkel rendelkezünk, ezért a polaritás-helyesen bekötött mérőcsatornák segítségével a peremen elhelyezkedő ágakon eső feszültségeket mérjük, azonos polaritással.



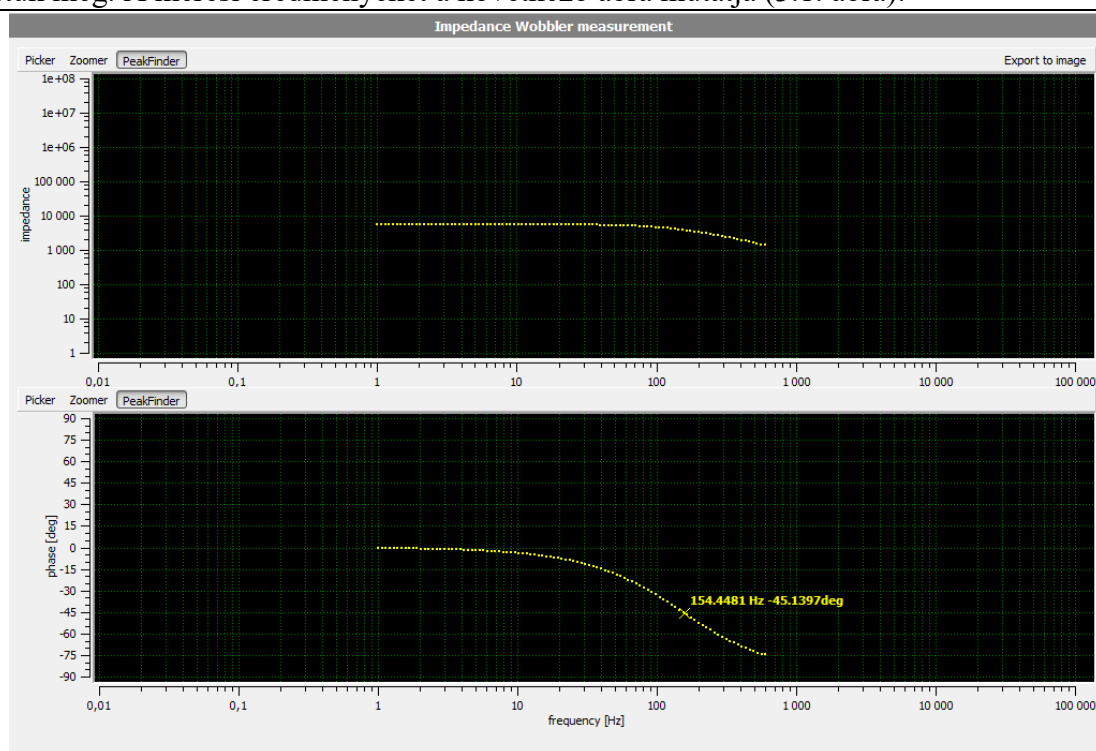
Az alkalmazott impedancia modell előnyei között szerepel, hogy az egyes ágakon szereplő impedancia (vagy admittancia) értékek frekvenciafüggőek. Ez azt jelenti, hogy az impedancia értékek számításában a frekvencia változóként szerepel. Ennek következményeként megállapítható, hogy több frekvencián a mérési eredmények különböznek, azonban az ezek számításához használt paraméterek (ellenállás, kapacitás) minden egyenletrendszer esetében ugyanazok. Ez lehetőséget ad arra, hogy az eddigiekben ismertetett mérési protokollt megismételve egy másik frekvencián megduplázzuk az egyenletrendszereink számát úgy, hogy az ismeretlen ellenállás és kapacitás értékek nem változnak. Így a második, harmadik stb. frekvencián megismételve sokszorozni tudjuk az egyenletrendszereink számát. Ez oda vezet, hogy bármilyen bonyolultságú gráf esetében túlhatározottá tudjuk tenni az egyenletrendszert.

### 3. A KIÉRTÉKELŐ ALGORITMUS VALIDÁLÁSA

Az 1.1 ábrán látható áramköri elrendezés (fantom) egy 16 ággal és 9 csomóponttal rendelkező gráfot reprezentál. Ennek minden ágán található egy párhuzamos RC tag, amelyek esetében  $R_{1...8} = 8,2 \text{ k}\Omega$ -os,  $R_{9...16} = 8,2 \text{ k}\Omega$ -os ellenállásból és  $C_{1...16} = 100 \text{ nF}$  kondenzátorokból. Mielőtt az ellenállásokat és kondenzátorokat beépítettük, megmértük az R és C értékeket. Ehhez egy (6 ½ digit) Keithley 2100 multimétert használtunk. Az ellenállások tűrése jobb, mint 1%, a kondenzátoroknál ez legfeljebb 5%.

Az 2.1. ábrán látható wheel elnevezésű [28] mérési elrendezés esetében az egyes ágakon levő impedanciákat alkotó R és C elemek kiszámítását saját fejlesztésű algoritmus segítségével végezzük ([28] – [35]). Az ilyen típusú inverz probléma megoldásához igen pontos és nagy felbontású adatokra van szükség, ezért a sikeres rekonstrukció kulcsa szinte csak a gyűjtött adatok pontosságától és felbontásától függ. ([2]) Így ez a validáló mérés a saját fejlesztésű mérőrendszer validálásához is alkalmas.

A validálás első lépése impedancia spektrum mérés volt a wheel modellen. Ennek során a mérőkörön elhelyezett generátor kapcsok között mért eredő impedancia frekvenciafüggését mértük meg. A mérési eredményeket a következő ábra mutatja (3.1. ábra):



**3.1.ábra**  
**Wheel mérőkörön mért impedancia spektrum**

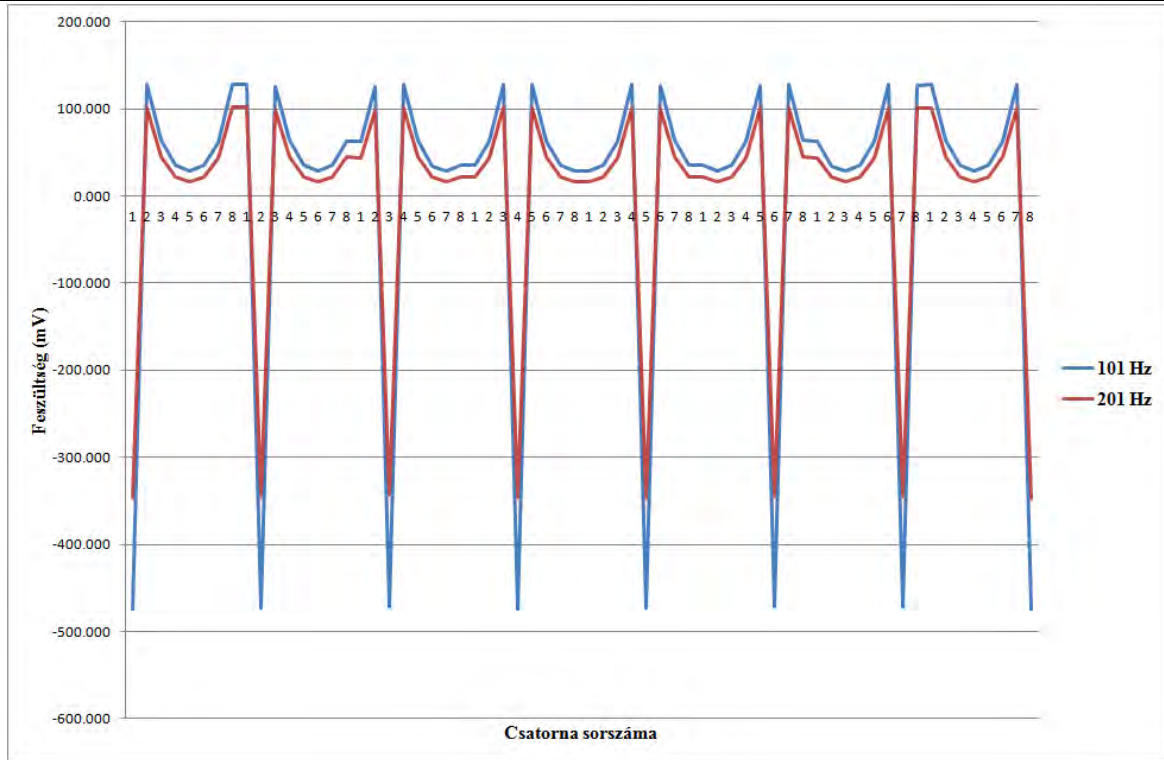
A mérés beállításai a következők voltak: kezdő frekvencia 1 Hz, végfrekvencia 600 Hz. A frekvenciatartomány 100 frekvencia pontra lett felbontva, tehát ebben a frekvencia intervallumban 100 mérés történt (a felosztás automatikus). A spektrum mérés eredménye az elvártnak megfelelő, ebben a frekvenciatartományban látható a vizsgált hálózat rezonancia frekvenciája, ahol az impedancia amplitúdó görbe (felső, log-log diagram) „letörik”, illetve a fázis görbe (alsó, lin-log diagram) pedig  $0^\circ$ -ról indulva  $-90^\circ$ -hoz tart (fordul). A rezonancia frekvencia ott van, ahol a fázis a  $-45^\circ$ -os értéket veszi fel. Az 3.1. ábra esetében 154,45 Hz-en mértünk  $-45,14^\circ$ -ot.

Az ellenállás és kondenzátor értékek rekonstrukciójához, a Sheffield-módszer szerint ([28]) rögzített mérőcsatornák mellett, minden generátor pozíció esetében történik adatgyűjtés. Ez 8 generátor pozíció esetén, generátor pozícióként mindösszesen 64 adatot jelent egy frekvencián. A rekonstrukciós algoritmus azonban megköveteli, hogy az inverz

probléma túlhatározottá tétele érdekében egy másik frekvencián is történjen adatgyűjtés, ami megduplázza a gyűjtött adatok számát.

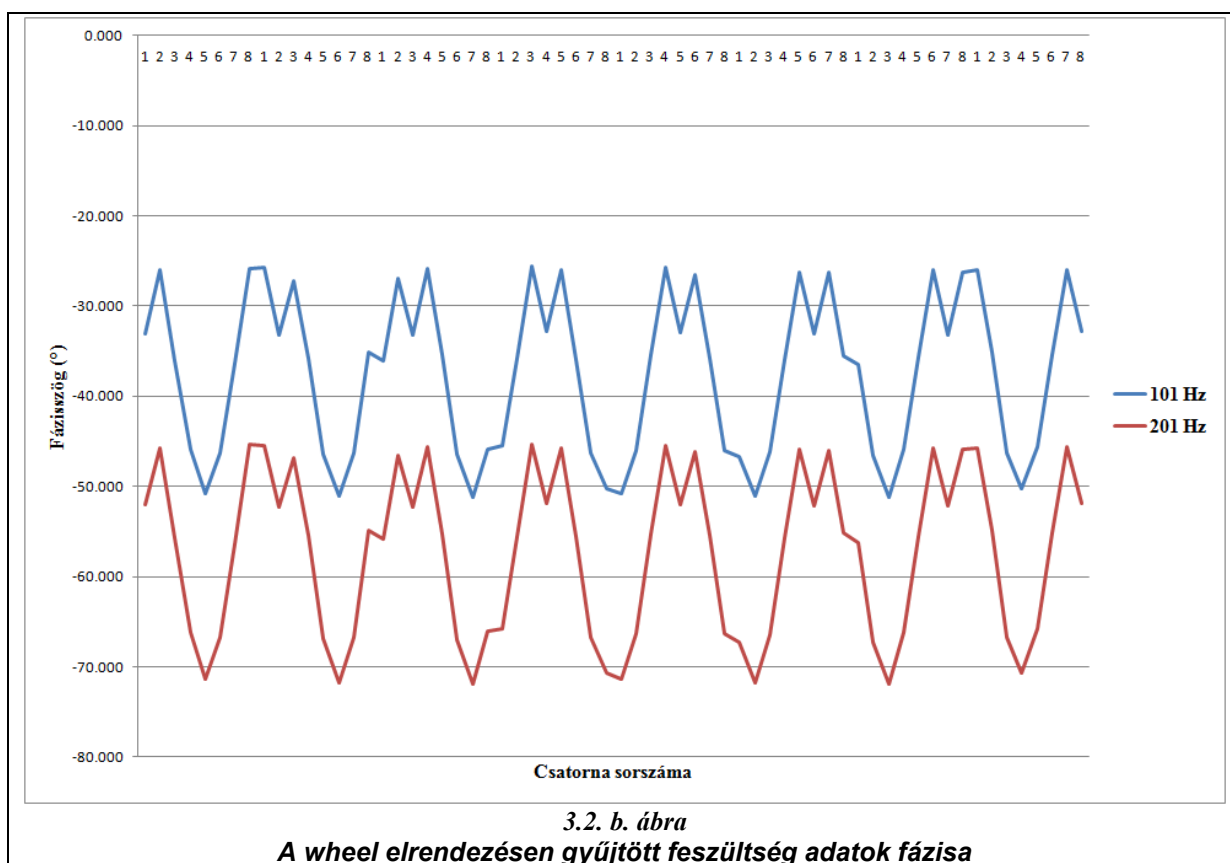
Az impedancia értékek rekonstrukcióját saját fejlesztésű algoritmussal végezzük, ami megköveteli, hogy a méréseket még egy frekvencián végezzük. Így tulajdonképpen 101 Hz-en és 201 Hz-en végeztük el a Sheffield protokollt. Az inverz probléma megoldó algoritmus igen érzékeny a gyűjtött adatok statisztikai jellemzőire, ami azt jelenti, hogy rossz jel-zaj viszonytal, nagy szórással gyűjtött adatok olyan mértékű bizonytalanságot jelenthetnek, ami a rekonstrukciót akadályozhatja. Így a jelenlegi validáló mérés az inverz probléma megoldó algoritmus ellenőrzésén túl a műszer validálását is jelentheti.

A gyűjtött adatokat a következő diagramok szemléltetik: (3.2. a. és 3.2.b. ábra)



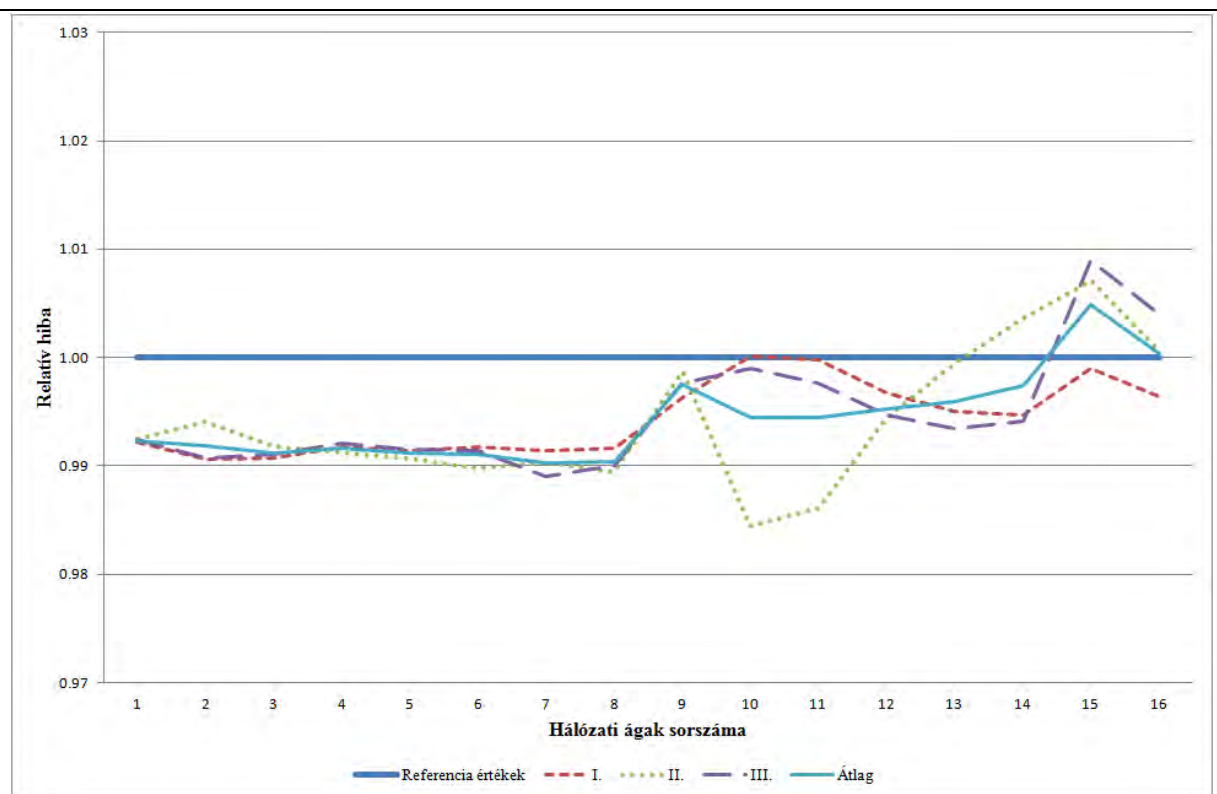
3.2. a. ábra

A wheel elrendezésén gyűjtött feszültség adatok amplitúdója



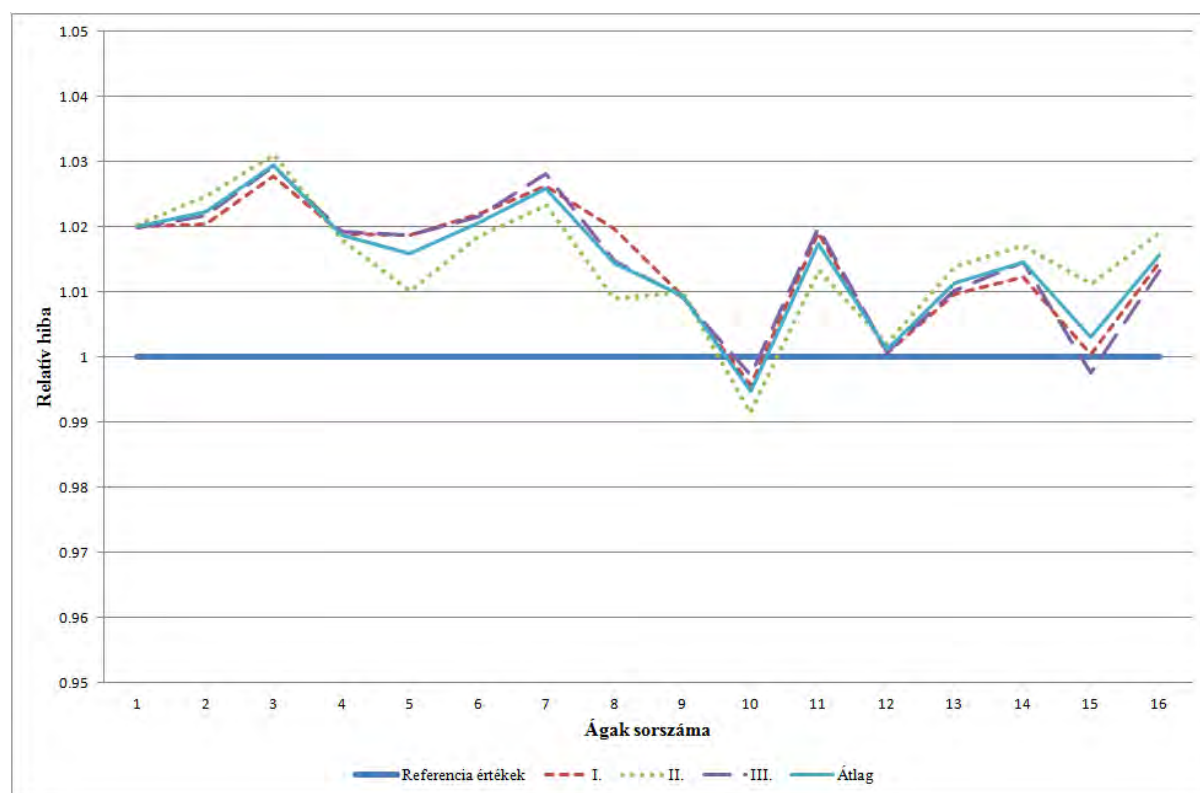
A 3.2. a. és 3.2. b. ábrákon látszik, hogy a generátor pozíciója változik a mérés során, a mérőcsatornák ugyan azon a helyen maradnak. A gerjesztés vándorlása mind az amplitúdó, mind pedig a fázis esetében tisztán megfigyelhető. Ezekben a pontokban a mért komplex feszültség ellenkező előjelű. Továbbá látszik még, hogy az egyes forgatások során mért értékek dinamika tartománya közel állandó, a körbejárás során nem változik. Ez arra utal, hogy a hálózat belső elemei azonos értékűek. A 3.2. a. és 3.2. b. ábrákon a mérési eredmények frekvencia függése is kiolvasható. Ezek alapján megállapítható, hogy a frekvencia növekedésével a mérési eredmények abszolút értéke csökken, a fázis konstans értékkel tolódik.

Az adatgyűjtést és ezzel együtt rekonstrukciót összesen háromszor végeztük el, majd a kiértékelés során külön ábráztuk az egyes mérésenként és az ezek átlagából visszaállított ellenállás és kondenzátor értékek relatív hibáját, melyek számításánál az aktuális értékeket a beépített alkatrészekben mért értékekhez viszonyítottuk. A visszaállítás során kapott viszonylag nagy mennyiségű adat jóságának szemléltetéséhez a relatív hibát vettük alapul, melyet a 3.3.a. és 3.3.b. ábrán mutatjuk be.



3.3.a. ábra

Wheel elrendezésen gyűjtött feszültség adatokból számított ellenállás értékek relatív hibája



3.3.b. ábra

Wheel elrendezésen gyűjtött feszültség adatokból számított kondenzátor értékek relatív hibája

Az 3.3.a. és 3.3.b. ábrán a kék, vastag vonal jelöli a referencia értékeket, míg a többi a mérés és a méréskiértékelés során kapott ellenállás és kondenzátor értékeket. Az 3.3.a. ábrán látszik, hogy az ellenállás értékek a névleges értékek körül ingadoznak. Az ingadozás a mérési eredmények szórásának tudható be. A névleges értékekhez viszonyított relatív hiba maximális értéke az ellenállások esetében 1,58 %, míg a kondenzátor értékek esetében (3.3.b. ábra) 3,01 %. Az eredményekről megállapíthatjuk, hogy meglepően jól közelítik a referencia értékeket. Az egyes ágakon számított admittancia értékek mind valós, mind pedig imaginárius része, valamint az ebből származtatható ellenállás és kondenzátor értékek hibája a legtöbb esetben az alkatrészek tűrésén belüli, tehát a validálás sikeres.

#### 4. TOVÁBBLÉPÉSI LEHETŐSÉGEK

A komplex írásmód bevezetésével lehetőségünk nyílik a vizsgált anyag dielektromos tulajdonságainak pontosabb és alaposabb kivizsgálására. Így a gyűjtött adatokból az anyagszerkezet vezetőképesség eloszlása mellett a dielektromos állandó térbeli eloszlására is következtethetünk. A cikkünkben bemutatott mérőföldkő elérésével és bemutatásával, azaz a számítási algoritmus validálásával két irányban léphetünk tovább:

1. bővíthetjük az impedancia hálózatot oly mértékig, hogy már a vizsgált anyagot közelítse,
2. mivel problémát jelent az inverz probléma megoldó szoftver esetében, hogy a jelenlegi algoritmus a hálózat bonyolításával jelentős mértékben lassul és a megoldás gyakorlatilag kivárthatatlan, ezért tervezzük a program átfordítását MATLAB-ba, mellyel reményeink szerint jelentős mértékben gyorsul majd.

A két lehetőség közül, döntésünk szerint az utóbbit választjuk, mi szerint megkezdjük algoritmusunkat átírni teljesen numerikussá, azaz MatLab kód építését kezdjük meg. Ennek bonyolításával, reményeink szerint gyorsabb működésű algoritmust nyerhetünk.

#### SZAKIRODALOMJEGYZÉK

1. Standsky I.: Elektrodinamika; 2007, Egyetemi Jegyzet, Széchenyi István Egyetem, UNIVERSITAS-GYŐR Kht., Győr
2. Holder, D. S.: ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY, 2005, Methods, History and Applications, Institute of Physics Publishing, IOP Publishing Ltd.
3. Duraiswami R., Sarkar K., Chahine G. L.: „Efficient 2D and 3D electrical impedance tomography using dual reciprocity boundary element techniques”, Engineering Analysis with Boundary Elements 22 (PII: S0955-7997(98)00028-9), 1998, 13–31,
4. Rasteiro, M. G., Silva, R., Garcia, F. A. P. and Faia P.: „Electrical Tomography: a review of Configurations and Applications to Particulate Processes”, 2011, Hosokawa Powder Technology Foundation
5. Erkel, A., Dr Meskó, A., Dr Stegena, L.: Geofizikai Kutatási Módszerek III., 1970, Felszíni Geofizika, Tankönykiadó Vállalat, Bp.
6. Lesparre N., Adler A., Gibert D., Nicollin F.: Electrical Impedance Tomography in geophysics, application of EIDORS, 2017
7. Polydorides, N.: Image reconstruction algorithms for soft-field tomography, 2002, UMIST, PhD thesis
8. Lipponen, A., Seppanen, A., Kaipio, J. P.: „Reduced order estimation of nonstationary flows with electrical impedance tomography”, 2010, 17th Australasian Fluid Mechanics Conference

9. Meraa, NS., Lesnic, D.: A boundary element method for the numerical inversion of discontinuous anisotropic conductivities. 2003, Engineering Analysis with Bondary Elements 27
10. Kima, K. Y., Kima, B. S., Kimb, M. C., Kimc, S.: „Dynamic inverse obstacle problems with electrical impedance tomography, Mathematics and Computers in Simulation” 2004, 66, 399–408
11. Bera, T. K., Nagaraju, J.: „Resistivity imaging of a reconfigurable phantom with circular inhomogeneities in 2D-electrical impedance tomography”, 2010, ELSEVIER 44, 0263-2241
12. George D. L. and Ceccio S. L.: „Validation of Electrical-impedance Tomography for Measurements of Materlal Distribution in Two-phase Flows”, Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Michigan, 48109-2121 USA
13. Woo, E. J.: „Impedance Spectroscopy and Multi-Frequency Electrical Impedance Tomography”, 2007, International Journal of Bioelectromagnetism, Vol. 9 No. 2
14. Oh, T. I., Koo, H., Lee, K. H., Kim, S. M., Lee, J., Kim, S. W., Seo J. K. and Woo, E. J.: „Validation of a multi-frequency electrical impedance tomography (mfEIT) system KHU Mark1: impedance spectroscopy and time-difference imaging”, 2008, IOP PUBLISHING, Physiol. Meas. 29 295–307
15. Grieve, B. D.: On-line Electrical Impedance Tomography for Industrial Batch Processing, 2002, Department of Chemical Engineering UMIST, Manchester, UK, Thesis
16. Hua, P., Woo, E. J., Webster, J. G., Tompkins, W. J.: „Improved Methods to Determine Optimal Currents in Electrical Impedance Tomography”, 1992, IEEE Transactions On Medical Imaging. Vol. 11, NO. 4,
17. Wang, M.: Three- dimensional Effects in Electrical Impedance Tomography, 1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester, April 14-17, 1999
18. Maimaitijiang, Y., Bohm, S., Gaggero, P. O., Adler A.: „Evaluation of EIT System Performance”, Physiol Meas. 2011 Jul;32(7):851-65
19. Hossain, M. A., Dr. A.-U.-Ambia, Aktaruzzaman, M., Khan, M. A.: „Implementation of Radon Transformation for Electrical Impedance Tomography (EIT)”, International Journal of Information Sciences and Techniques (IJIST) Vol.2, No.5, September 2012
20. Uhlmann, G.: Electrical impedance tomography and Calder’on’s problem, 2009 Inverse Problems 25 123011
21. Lee, I. B.: Determining Conductivity by Boundary Measurements: Some Numerical Results, Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland, College Park, Maryland, Technical Note, 1988,
22. Parker, M. J.: An Inverse Problem for Networks, Electrical, Massachussetts Institute of Technology, 1990
23. Simonyi, K., Zombory, L.: Elméleti villamosságatan, Műszaki Kiadó, 2006.
24. Adler, A., Lionheart, W. R. B.: Uses and abuses of EIDORS: An extensible software base for EIT, 2006 Physiol. Meas.
25. Adler, A., Borsic, A., Polydorides, N., Lionheart, W. R. B.: Simple FEMs aren’t as good as we thought: experiences developing EIDORS v3.3, Manchester Institute for Mathematical Sciences, 2008.
26. Polydorides, N., Lionheart W. R. B.: „A Matlab toolkit for three-dimensional electrical impedance tomography: a contribution to the Electrical Impedance and Diffuse Optical Reconstruction Software project”, 2002 Meas. Sci. Technol. 13 1871

27. Vauhkonen, M., Lionheart, W. R. B., Heikkinen, L. M., Vauhkonen, P. J., Kaipio, J. P.: A MATLAB package for the EIDORS project to reconstruct two-dimensional EIT images, 2001 Physiol. Meas. 22 107
28. Gagnon, H., Cousineau, M., Adler, A., and Hartinger A. E.: A Resistive Mesh Phantom for Assessing the Performance of EIT Systems, IEEE, 2010.
29. Abdulaziz Al-Humaidi: RESISTOR NETWORKS AND FINITE ELEMENT MODELS, thesis, University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Engineering and Physical Sciences, 2011.
30. Curtis, Mooers, Morrow: Finding the Conductors in Circular Networks From Boundary Measurements, University of Washington, Department of Mathematics, kéziratoss jegyzet
31. Curtis, E., Ingerman, D., Morrow J.: Circular Planar Graphs and Resistor Networks, University of Washington, Department of Mathematics, kéziratoss jegyzet
32. Lionheart, W. R. B., Paridis, K., Adler, A.: Resistor networks and transfer resistance matrices, kéziratoss jegyzet
33. Johnson, M. L.: Essential Numerical Computer Methods, University of Virginia Health System, Departments of Pharmacology and Medicine, Charlottesville, USA, Elsevier 2010.
34. Baker, K.: Singular Value Decomposition Tutorial, kéziratoss jegyzet, 2013.
35. Hogben L: Handbook of Linear Algebra, Taylor & Francis Group, LLC, 2007.



Novotni, A.

*University of Sopron, Innovation Centre*

## THE ROLE OF THE RESEARCH OF WOOD INDUSTRY WASTE AND BY-PRODUCTS IN H2020 PROJECTS

### INTRODUCTION

The sustainable life cycle of wood products can play a key role in moving towards a low-carbon economy. Without it, meeting climate targets is unthinkable. Unfortunately, the sustainable production, consumption and recycling of wood products has received very little attention in international development programs in the past. This was due in part to unsustainable practices and in part to deceptive mass communication campaigns that have plagued the timber industry for decades, accompanied by extremely negative overtones.

Fortunately, there has been a positive shift in international development policy, public discourse, and international scientific life. A sustainable wood (industry) is becoming increasingly important in many disciplines. It is noteworthy that in 2018, the FAO, with the participation of several international organizations (ACSFI, CIFOR, ITTO, World Bank, WWF), announced the Sustainable Wood for a Sustainable World program [4], which seeks to support the growth of a sustainable wood industry in a complex way.

One of the most important elements for the success of a sustainable wood industry is the management of waste and by-products.

This study seeks to answer the question of whether the shift to the support of the management and research of waste and by-products of wood industry also appeared in Horizon 2020 at the European level.



*Figure 1*

**Sustainable Wood for a Sustainable World**

## METHODS

The author converted the huge data files that can be downloaded from CORDIS [2], which contain tens of thousands of records and hundreds of thousands of related documents, into a relational database. This required several data conversions. The database provides an opportunity to examine data from all Horizon 2020 projects.

Keywords pre-filtered the wood industry projects. Then, the filtered file was content checked and the file was reduced further. Research projects related to waste and by-products were then filtered in a similar way.

The *Doctus* expert system was used to explore the hidden decision-making mechanisms for awarding grants, analyzing the supported projects using different statistical methods. Finally, the author also shortly analyzed the effectiveness of projects as measured by project outputs.

## RESULTS

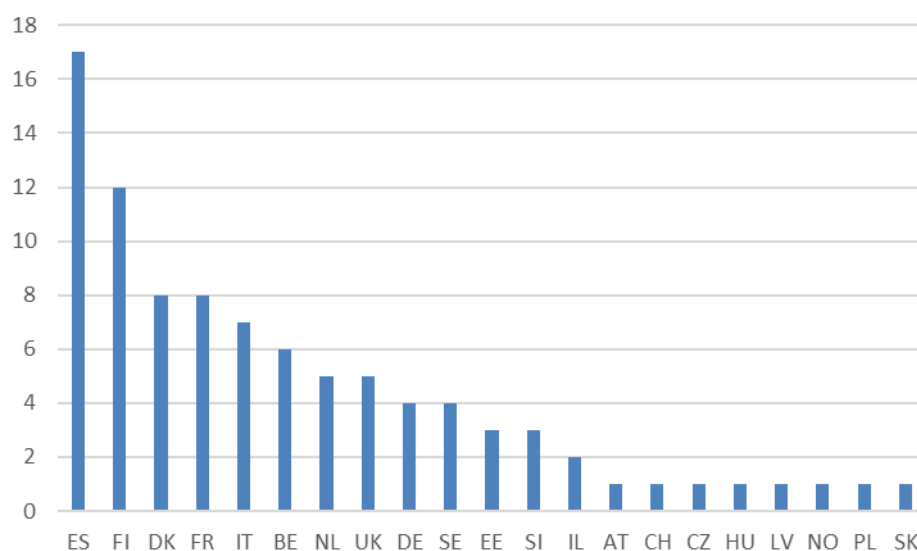
The change in attitudes of the various UN organizations has so far not registered in the European Union's development policy. Only 197 of the 30,084 Horizon 2020 projects (as of September 30, 2020) are to some extent related to the most widely understood wood industry production process (value chain). However, the connection is in most cases secondary, with up to a few dozen projects considered to be truly wood industry projects. All projects are, by definition, “sustainable”, as this is an essential indicator of success today. The target group has only 92 research projects related to waste and by-products, which indicates the importance of recyclability.

The role of countries in the projects examined was characterized by five indices and the relationships between them:

1. *Number of project coordinator roles* associated with companies and institutions in each country.
2. *Number of project participations* related to companies and institutions in each country.
3. It was not examined independently, but we have taken into consideration the *production of roundwood* by country between 2013-2019 as an important factor in the analysis of the relationship between the criteria. Roundwood production is not a complex index, but it also indicates the size of a country's wood industry and the potential amount of waste and by-products. Examining exports and imports can also be important, but some of the waste and by-products are always related to extraction.
4. We calculated the *EU contribution per country* as an estimated indicator close to the real one.
5. We also calculated the *average EU contribution per project participation (per country)* in each country as an estimated indicator close to the real one.

For our last two calculated indicators, the EU contribution per project and the number of project participants were the basis for the calculation. We calculated the average contribution per project participant, and then we estimated the project contribution per country and the average contribution per project participation in each country. The result is somewhat different from the actual values, as the contribution awarded in the projects is not equal between the individual participants. However, for various reasons (e.g. lack of data), this was considered a good approximation.

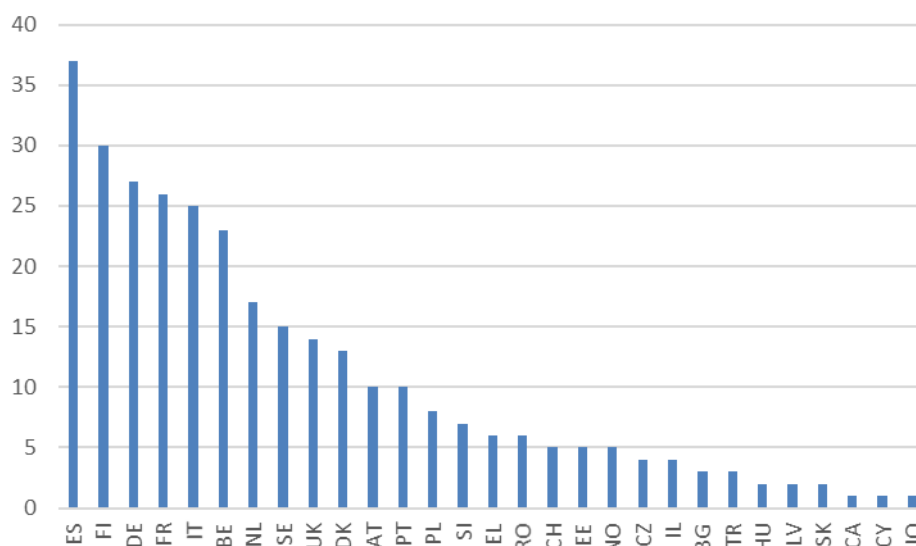
Spain's leading role in the projects (Figure 1-2) is surprising. Spain is only 10th in the group of (EU and non-EU) countries surveyed in terms of roundwood production, and eighth in the EU countries surveyed. Export-import and several other production-trade factors do not change the fact that Spain does not play a leading role in the timber industry. [3]



*Figure 2*

#### **Number of project coordinator roles by country**

However, the high number of project participations of Spain is mainly related to low-budget projects.



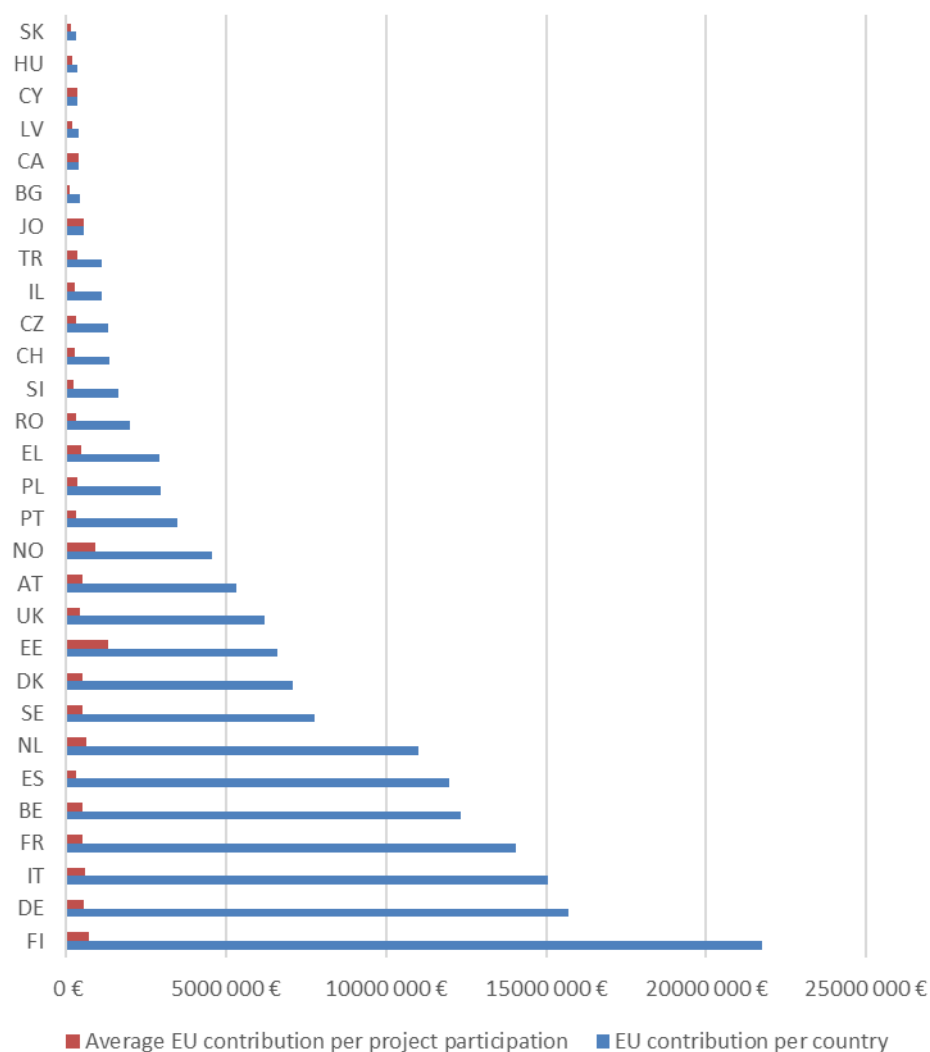
*Figure 3*

### **Amount of project participation by country**

The real level of project contribution per country shown in Figure 4 may indicate an even greater difference in favor of the “old” EU Member States, based on the partial results of our calculations in a larger research. (This shows an estimated level.)

Figure 4 also shows that the leading position of Spain by the number of project coordinator roles by country and the number of project participations by country are not confirmed by financial contribution indices.

Finland is already in the lead here, ahead of Germany and Italy. Unfortunately, Hungary's role in these projects is rather small by all indices.



*Figure 4*

#### Financial indices

The relationship between the five criteria was characterized by Spearman's rank correlation coefficients [5]. (Table 1)

Unsurprisingly, based on the data in Table 1, the strongest rank correlation, 0.95, is between the number of project participations and EU contributions per country.

However, there is an almost neutral relationship between average roundwood production (2013-19) and other criteria.

This context should be treated with caution, as some of the participating countries are outside the EU, including some that are world leaders in the timber industry (e.g. Canada), but their participation in EU projects has been sporadic.

If we calculate the rank correlation coefficients for only the EU countries, we get a slightly different result. Table 2 shows that roundwood production here already shows a moderate rank correlation with some other criteria.

Table 1

**Spearman's rank correlation coefficients (with non-EU countries)**

| CRITERIA                                                     | Number of project coordinator roles | Number of project participations | Production of roundwood (average, 2013-2019) | EU contribution by country | Average EU contribution per project participation by country |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Number of project coordinator roles                          | 1                                   | 0.78                             | 0.16                                         | 0.76                       | 0.39                                                         |
| Number of project participations                             | 0.78                                | 1                                | 0.34                                         | 0.95                       | 0.45                                                         |
| Production of roundwood (average, 2013-2019)                 | 0.16                                | 0.34                             | 1                                            | 0.34                       | 0.15                                                         |
| EU contribution by country                                   | 0.76                                | 0.95                             | 0.34                                         | 1                          | 0.70                                                         |
| Average EU contribution per project participation by country | 0.39                                | 0.45                             | 0.15                                         | 0.70                       | 1                                                            |

Table 2

**Spearman's rank correlation coefficients (only EU countries)**

| CRITERIA                                                     | Number of project coordinator roles | Number of project participations | Production of roundwood (average, 2013-2019) | EU contribution by country | Average EU contribution per project participation by country |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Number of project coordinator roles                          | 1                                   | 0.80                             | 0.28                                         | 0.78                       | 0.55                                                         |
| Number of project participations                             | 0.80                                | 1                                | 0.46                                         | 0.95                       | 0.61                                                         |
| Production of roundwood (average, 2013-2019)                 | 0.28                                | 0.46                             | 1                                            | 0.43                       | 0.16                                                         |
| EU contribution by country                                   | 0.78                                | 0.95                             | 0.43                                         | 1                          | 0.80                                                         |
| Average EU contribution per project participation by country | 0.55                                | 0.61                             | 0.16                                         | 0.80                       | 1                                                            |

In the second phase of the research, we used the Doctus expert system to find the hidden decision rules behind the grant decisions [1]. So, we built a case-based knowledge base.

We mainly looked for the answer to whether there is a correlation between the contribution by participant received per project (as a decision variable), the country of the project coordinator and the distribution of project participants by country in the projects.

The decision problem is highly theoretical, as the amount applied for is already known when the applications are submitted. However, we believe that some sub-information can also be

extracted from this model. We were most interested in the country of the central “actors”. The decision problem can also be interpreted as the question “What amount should we apply for?” But there are also limitations of this question too.

The 92 projects were arranged into four quartiles, based on the contribution per project participant. Then we merged two quartiles (one original containing only one data) and created the three values of decision attribute. (Table 3).

**Table 3**

**Simplified model of attributes**

| Attribute number | Name                                  | Values                          | Decision Attribute | Value Ordering |
|------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------|----------------|
| Attribute 1      | Evaluation                            | under median, medium high, high | Yes                | Increasing     |
| Attribute 2      | Coordinator                           | Value 1...21:<br>AT...UK        | No                 | Nominal        |
| Attribute 3-31   | AT...UK<br>(29 participant countries) | yes/no                          | No                 | Nominal        |

The values of the properties can be in different value order: *increasing* if the first value is the worst; *decreasing* if the best is in the first place; if one value is not better than the other, then the order is *nominal*.

If we build a case-based knowledge base; then after defining the properties and values, the collection of cases follows. We also need to provide an evaluation of the cases. Doctus will then find the rules that describe the cases of experience.

In case-based inferences, data mining is based on the idea that Doctus’ rule-finding algorithm is also suitable for finding patterns in a database or data warehouse. Numerical data is first converted into symbols by the clustering algorithm, while non-numerical data is entered into the knowledge base as flexible values. The results of this type of data mining are easy to interpret - for an expert in the field.

So as a first step, we defined the attributes. (Figure 5)

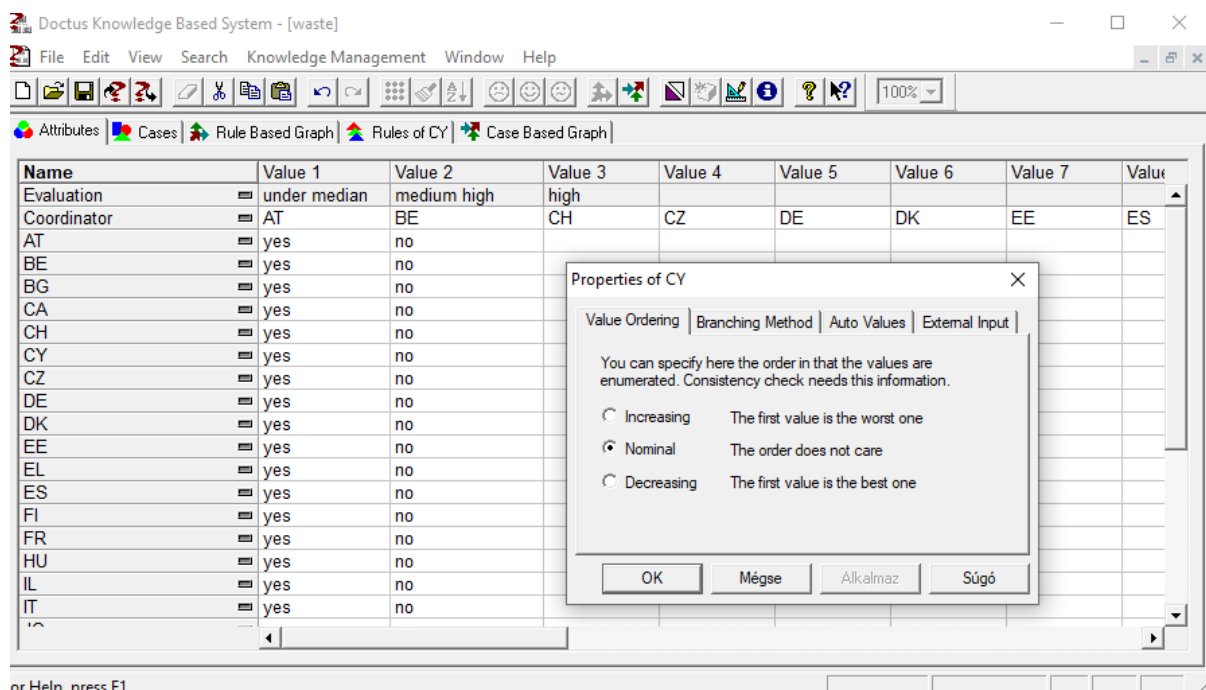


Figure 5

## Attributes

Then, imported from Excel, we recorded all the cases and the 2,852 values associated with the cases and attributes. (Figure 6)

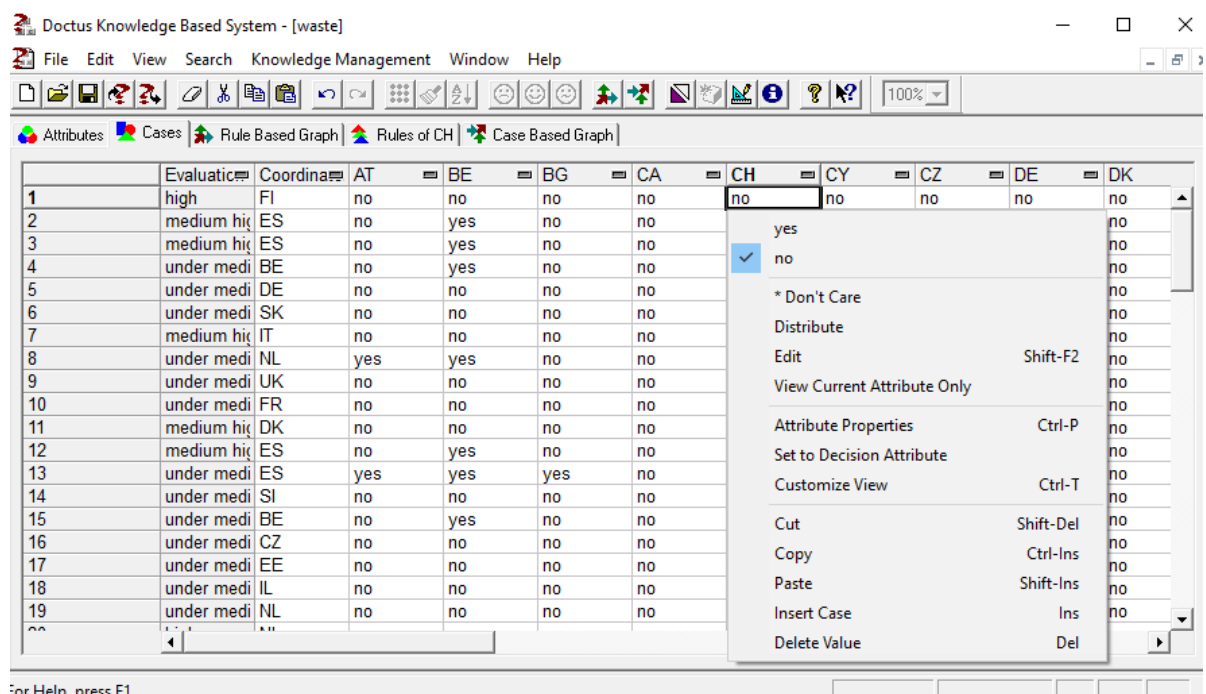


Figure 6

## Cases



Doctus generates a case-based graph to classify cases collected from the expert. The case-based graph is a decision tree, but it does not show dependencies, but the “if ... then” rules that it derived from case processing. The “if ... then” rules can be read by moving from the root of the graph to the letters, where the value of the output is displayed.

When generating a case-based graph, you can choose from three branching modes. The default one is “*Efficient*”. The bipolar (“*Polar*”) bifurcates each node into two groups of good and bad groups, classifying the values of the property. “*Heuristic*” gives the same result as an effective one if there are many cases and / or properties that would otherwise significantly increase the runtime.

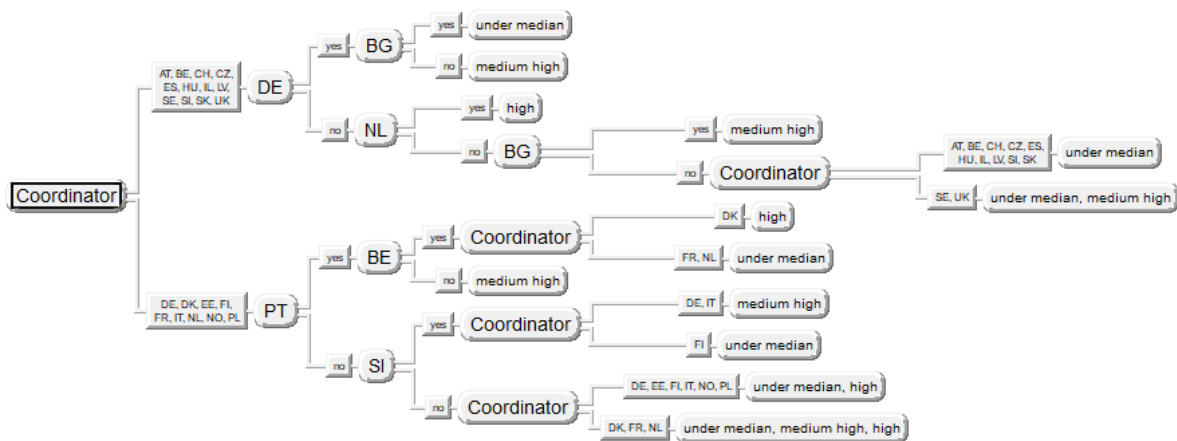


Figure 7

## Cased-Based Graph

We could not select the most efficient modeling procedure (“Efficient”) because it would have taken about 600 days to run it with the tools at our disposal. When applying the heuristic model, we obtained an overly diversified graph, so we used the “Polar” method.

The conclusion of the result is not necessarily interesting. It matters more what factors are most important.

Nodes are divided into branches based on the characteristics of the property selected for it. This distribution can only succeed if the case characteristics are not completely independent of the qualifying characteristic. The degree of this relationship is called *informativeness*.

The most informative attributes are the most determinant in decision mechanisms.

Doctus Knowledge Based System

File View Window Help

75%

Informativity Cases Statistics

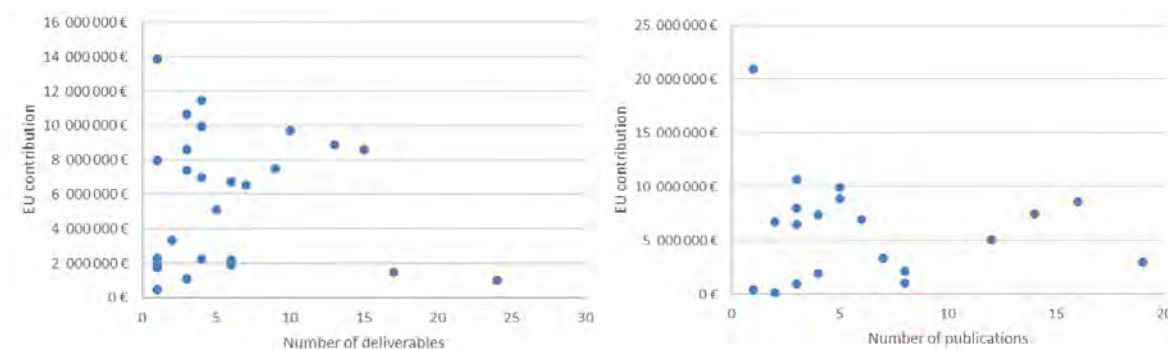
| Attribute   | Informativity | Density |  |  |  |  |
|-------------|---------------|---------|--|--|--|--|
| Coordinator | 0.1528        | 14.86   |  |  |  |  |
| DE          | 0.1059        | 10.29   |  |  |  |  |
| IT          | 0.1055        | 10.26   |  |  |  |  |
| PT          | 0.0510        | 4.96    |  |  |  |  |
| NL          | 0.0472        | 4.59    |  |  |  |  |
| EL          | 0.0471        | 4.58    |  |  |  |  |
| TR          | 0.0427        | 4.15    |  |  |  |  |
| EE          | 0.0394        | 3.83    |  |  |  |  |
| FI          | 0.0372        | 3.62    |  |  |  |  |
| NO          | 0.0368        | 3.58    |  |  |  |  |
| PL          | 0.0329        | 3.20    |  |  |  |  |
| FR          | 0.0289        | 2.81    |  |  |  |  |
| RO          | 0.0259        | 2.52    |  |  |  |  |
| UK          | 0.0258        | 2.51    |  |  |  |  |
| CH          | 0.0227        | 2.20    |  |  |  |  |
| SI          | 0.0224        | 2.18    |  |  |  |  |
| IL          | 0.0142        | 1.38    |  |  |  |  |
| CZ          | 0.0139        | 1.35    |  |  |  |  |
| JO          | 0.0139        | 1.35    |  |  |  |  |
| CA          | 0.0139        | 1.35    |  |  |  |  |
| CY          | 0.0139        | 1.35    |  |  |  |  |
| SE          | 0.0126        | 1.22    |  |  |  |  |
| BE          | 0.0118        | 1.15    |  |  |  |  |
| DK          | 0.0100        | 0.98    |  |  |  |  |
| BG          | 0.0087        | 0.85    |  |  |  |  |
| ES          | 0.0083        | 0.81    |  |  |  |  |
| HU          | 0.0070        | 0.68    |  |  |  |  |
| LV          | 0.0070        | 0.68    |  |  |  |  |
| AT          | 0.0022        | 0.22    |  |  |  |  |

*Figure 8*

#### Informativeness

In addition to the identity of the coordinator, the participation of German and Italian projects determined the value of the decision variable. German participation seems to have had a decisive and positive impact on the amount of the contribution, while the Spaniards involved in many projects play a peripheral role in the projects. (Figure 8)

In the third part of the article, we briefly outline a problem. Although the data are not yet final, the project results seem to involve a very high EU contribution (Figure 9), but this is basically the case for all projects, not just the study group. Most of the projects have not yet produced any project output. Of course, that may still change after 2020. Moreover, quantity and quality are not necessarily directly proportional.



*Figure 9*

### EU contribution and project outputs

## CONCLUSION

Given the current, peripheral role of sustainable wood projects, it seems that the increasing trend at the level of large international organizations may reach the European Union in the next funding period.

Environmentally unfounded opposition to the wood industry may decrease in the future, and this process may be strengthened by sustainable wood industry projects. Therefore, the role of the management and research of waste and by-products of wood industry is very large. Higher added value and sustainability can be the way out of the serious structural problems of the Hungarian wood industry. For example, the University of Sopron may have a special role in the research of the necessary scientific foundations in the future. This obviously requires improving the conditions for local project management and increasing the interest of researchers in participating in international research projects through financial incentives.

However, based on Hungary's subordinate role so far, we must start from the realities. Following the Spanish example, smaller-than-average (but seemingly substantial) amounts should be targeted at joint projects where German participation is significant. The latter does not seem at all impractical given the economic and cultural ties between the two countries.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

1. Baracska, Z. & Bevanda, V. & Dörfler, V. (2000). Knowledge Management by DOCTUS Knowledge-Based System. NY: Syracuse University

2. CORDIS. (2020). CORDIS - EU Research Results. Retrieved October 10, 2020, from <https://cordis.europa.eu/projects/en>
3. FAOSTAT. (2020). Forestry Production and Trade. Retrieved October 27, 2020, from <http://www.fao.org/faostat/en/>
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Sustainable wood. Retrieved October 30, 2020, from <http://www.fao.org/forestry/sustainable-wood/en/>
5. Reidmacher, H. P., & Molnár, I. (2000). *Excel közgazdászoknak: Gazdasági feladatok megoldása*. Budapest: Aula.

Győrfi A. - Jakab A. R. - Leitöl Cs. - Kiss T.

*University of Pécs, Faculty of Engineering and Information Technology, Institute of  
Engineering and Smart Technologies, Department of Environmental Engineering  
[leitol.csaba@mik.pte.hu](mailto:leitol.csaba@mik.pte.hu)*

## **THE OBSERVATION OF PICKINGS IN A MANUAL SORTING PLANT OF SELECTIVELY COLLECTED MIXED PACKAGING WASTE FROM HOUSEHOLDS**

### **ABSTRACT**

In Hungary the most frequently applied technology for pre-treatment of selectively collected waste is manual waste sorting. In our research we studied the picking rates of the sorting staff, and also the rates of different materials placed in the drop zones and into bags. The observation was carried out on two picking belts, in two shifts, in three timebands per shift. The material was placed on one of the belts by direct loading and on the other one through a trommel. Based on the analysis, it can be considered that the rate of the materials put into the drop zones and into the bags was around 80% and 20% on both picking belts. The pickers did about 4000 pickings per hour on average, that means more than one picking per second; and about 60% of that was made up by PET bottles and LDPE foils. The results show that the operators standing on the first spot picked the most waste.

### **INTRODUCTION AND AIM**

The material recovery facility serves the pre-treatment of municipal solid waste; after the separate collection of the different waste components, it is the place where reusable waste is further selected in order to increase the efficiency of its use in the production process. No waste of biodegradable organic material can be treated in the material recovery facility, except if the operator performs the further selection of the recyclable fraction after having done the mechanical separation of the biodegradable organic fraction - specially with the help of an x-ray equipment or an optical separator. [1]

Waste collection systems differ from country to country but they all share a common design concern and operational objective: the collection and transportation of waste from the inhabitants to the treatment plant where, after the best possible environmental and economic treatment, the recovery and disposal of the material takes place. Several different methods are used for the collection of the selectively collected packaging waste. The most widespread solution in Europe is kerbside collection where waste is taken directly from the site where it is generated. In the case of selective waste collection points, the producer of the waste has to take it to a common site where the waste is collected from. There are also methods where the producer of the waste is paid for the different types of materials in order to urge them to more homogeneous and cleaner waste collection. Some companies take back products free of charge so that the waste ends up at the right place. These are often companies selling electronic products that take electronic waste back, or home furnishing chain stores ensuring the re-commercialisation or proper disposal of used furniture. [2]

The collected reusable waste is taken to material recovery facilities where, in general, the sorting of the waste is mainly done manually. [3] Within the cabins, the waste being sorted is transferred on a conveyor belt, and there are people standing on both sides of the belt picking the waste that go to recovery. [4] The recyclable waste is identified and sorted according to

the types of material on the basis of visual inspection. The size and composition of the material being picked, the thickness of the waste mixed on the conveyor belt and also the speed of the picking belt affects in the process. [5] [6] The advantage of the manual sorting lines is that different types of recyclable material can be sorted simultaneously and they can be separated into relatively clear streams. The waste is sorted on the basis of the material type, or the elements are removed that can reduce the performance of other processes. [7] The manual sorting is based on the identification codes indicated on the packages; this enables the exact and clear sorting of the different types of material, but the possibility of human error should not be neglected. [8] The fluctuation of the composition of solid waste is of minor importance for the purposes of waste categorisation, but the amount of some categories of waste can increase or decrease as a result of certain situations or events. [9]

Simulations were performed by individual researchers in order to look into how the changes of waste fractions taken at the different workstations effect performance. The results show that the first workstation sorted only 72.3% of the given type of waste. The remaining waste is taken by another workstation. Despite the fact that this amount is only 27.6% of the maximum quantity of the waste capacity of the workstation, a certain part of the waste is still carried on to the next workstation. The analysis also shows that there are no grounds for the sorting of the same waste fraction on more than two workstations because it leads to a worsening performance of the employees who concentrate on the further waste fractions. The dramatic growth of the waste stream would not enable them to reach the maximum sorting capacity either. This was confirmed also by the fact that the irregularity of the stream significantly affects the result of the sorting line. [5] [6]

In the light of the research results, we can state that manual sorting is not cost-effective, but automated systems are sensitive to contamination, and for the purpose of seeking high purity they result in great losses. [8] The manual sorting systems can be partially or even completely automated through machines arranged in a specified order. [5] The ideal choice can be a combined technological process, because these types of procedures combine the low cost but ineffective methods with the expensive but effective procedures, this way creating a more cost-effective situation. [8]

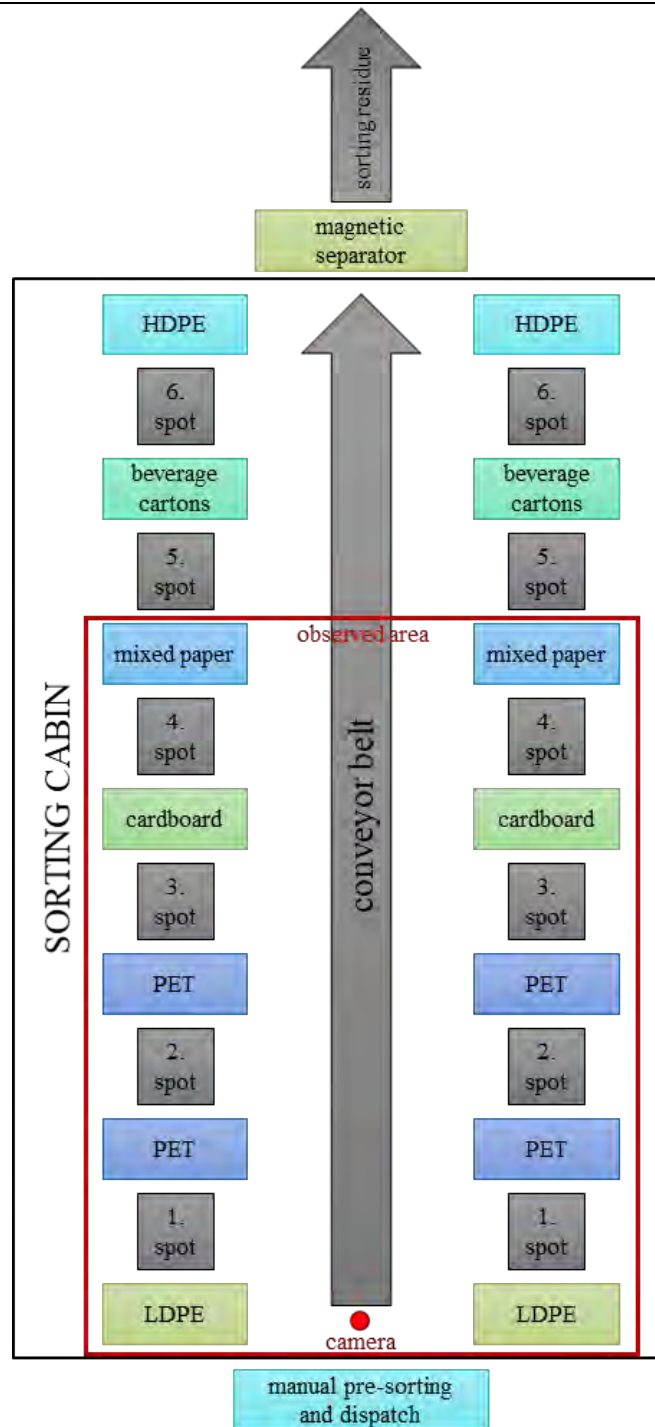
## MATERIALS AND METHODS

In our research we examined the performance of the manual sorting plant of the Regional Waste Management Center of Pécs-Kökény. During our observations, we used a 14-day-period as a basis. The records of the security camera of the cabins were used for the analysis, so that the pickers do not get frustrated by our presence. Three times 15 minutes were observed in two shifts per day on two parallel working picking belts. When choosing the intervals shown in Table 1, we took into consideration the start and the end of the working-time and also the breaks: this way we could get representative samples at the beginning, in the middle and also at the end of the shifts. There is one camera in each cabin placed at the beginning of the conveyor belt; because of the location and the picture quality of the camera, we could carry out the observations only to the 4th spot, since picks were not clearly visible on the two last spots.

*Table 1.*  
**Observed timebands.**

| Shift 1    |             | Shift 2    |             |
|------------|-------------|------------|-------------|
| Timeband 1 | 6: 50-7:35  | Timeband 4 | 14:55-15:40 |
| Timeband 2 | 10:30-11:15 | Timeband 5 | 18:30-19:15 |
| Timeband 3 | 12:30-13:15 | Timeband 6 | 20:30-21:15 |

Reusable waste (paper, cardboard, different plastic, metal, combined packaging material) collected in one container is taken to the material recovery facility. In the given area, the different types of reusable waste are collected in one common container not only at kerbside collection but also at the collection points.



*Figure 1.*

The position of materials thrown into the drop zone.

The structure and operation of the two sorting cabins is identical. There is a slight difference in the material arriving at the two cabins, since the material stream getting to cabin No. 2. goes through a trommel having a particle size boundary of  $<80$  mm, in order to separate the fractions that are small and difficult to pick and that are not recyclable, and this way making the job of the pickers easier. The speed of the picking belt is the same in both cabins, 0,3 m/s. In cabin No. 1, the mixed selective waste taken from the collection points is loaded directly on the belt without a trommel. In cabin No. 2, the waste stream of households collected through the kerbside collection system is carried, and it goes through a trommel first and then it is loaded to the sorting cabin. In the course of the sorting, there is a person standing between two drop zones, dropping the selected material into the drop zones or putting it into bags according to the type of the material. Reusable waste materials occurring in small quantities and hazardous waste get into the different bags separated. The design of the cabin ensures the smooth operation of the plant even if one of the operators leaves their spot. The layout of the cabin and the order of the materials to be sorted are shown in Figure 1.

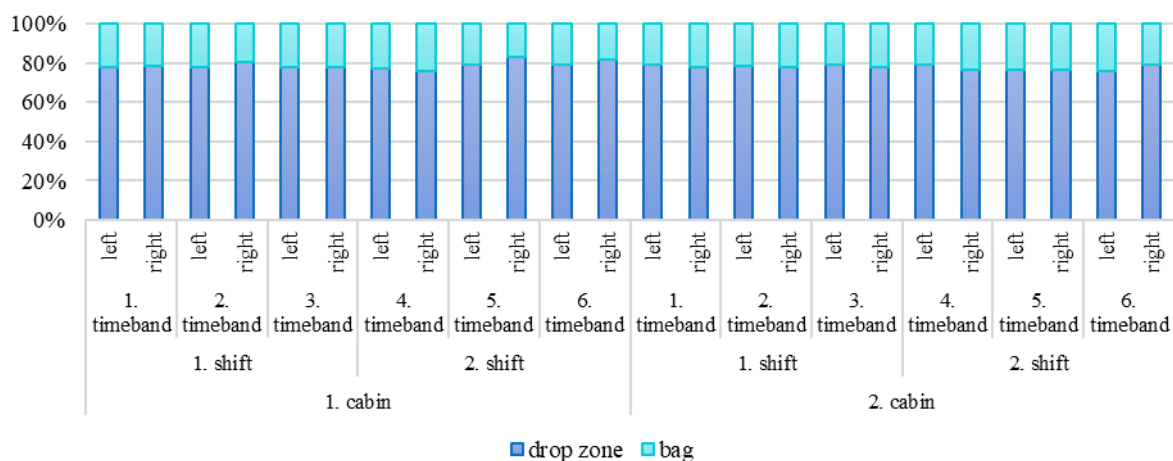
## RESULTS AND DISCUSSION

On the basis of our observations, the rate of materials put in the drop zones and in the bags is on average 80% and 20%. LDPE foils, beverage cartons, mixed plastic, aluminium cans and hazardous waste materials are sorted into the bags. Two of these, LDPE foil and beverage cartons are also thrown into the drop zones. Big pieces of LDPE foils get into the drop zone, but it is easier and faster to sort the smaller pieces into bags once the PET is selected, and this way the quantity of separated material can be maximized. Because of their size, some of the beverage cartons (combined packaging materials) are selected into bags sooner than their drop zone. Mixed plastic and aluminium are sorted into bags only, since our practical experience has shown that their amount collected per shift does not require a separate box.

The sorting residue is transmitted to the mechanical-biological waste treatment plant, so the removal of other interfering material is also essential. Having removed, they are put into special containers and bags, and they are utilized or disposed by external entrepreneurs according to their material.

It can be clearly seen in Figure 2 that there is no significant difference in the picking rates of materials put in the drop zones or in the bags between the cabins, the pickers on the right or left side, or the times of day.

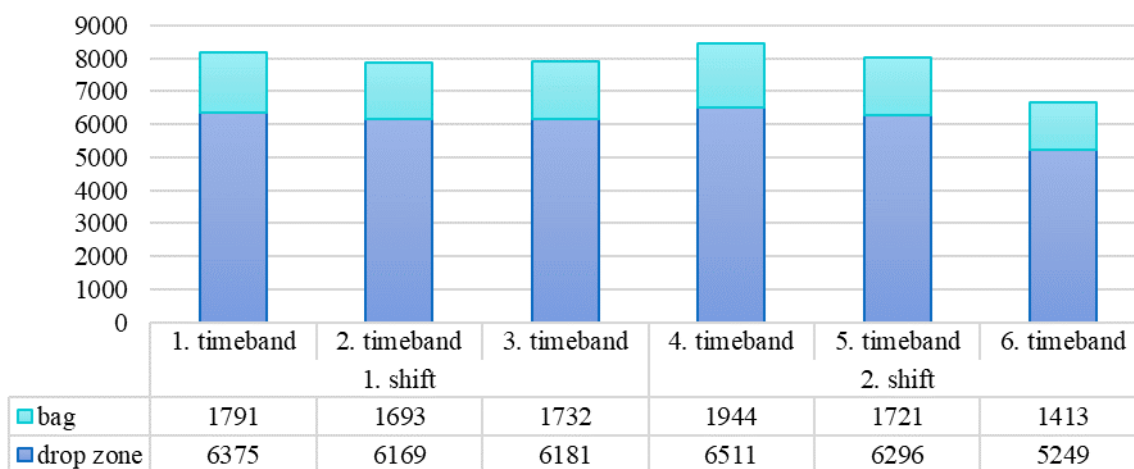




**Figure 2.**

**Rates of pickings per cabin, per time of day, on both sides of the belt in the appointed timebands. [%]**

It can be stated about Figure 3 that the first 5 timebands do not show remarkable differences but the number of pickings significantly declined in the 6th timeband. This is the last timeband and to top it all it is in the evening; this means the employees are probably the most tired at that time, they have longer response time and that can contribute to the reduced number of pickings.



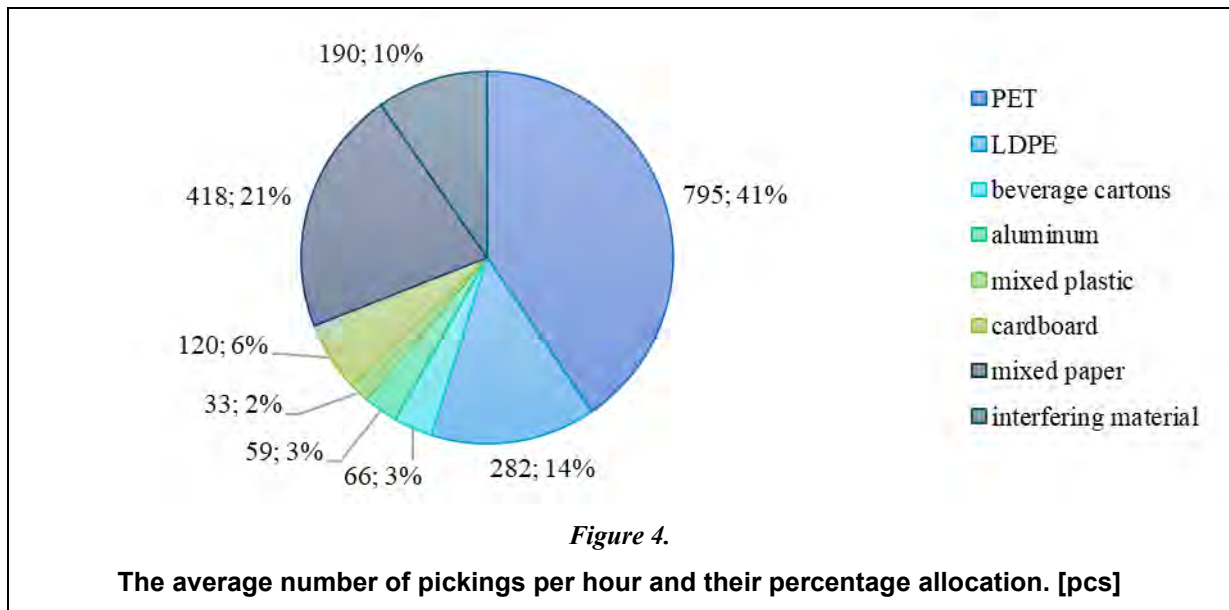
**Figure 3.**

**Average number of pickings per hour. [pcs]**

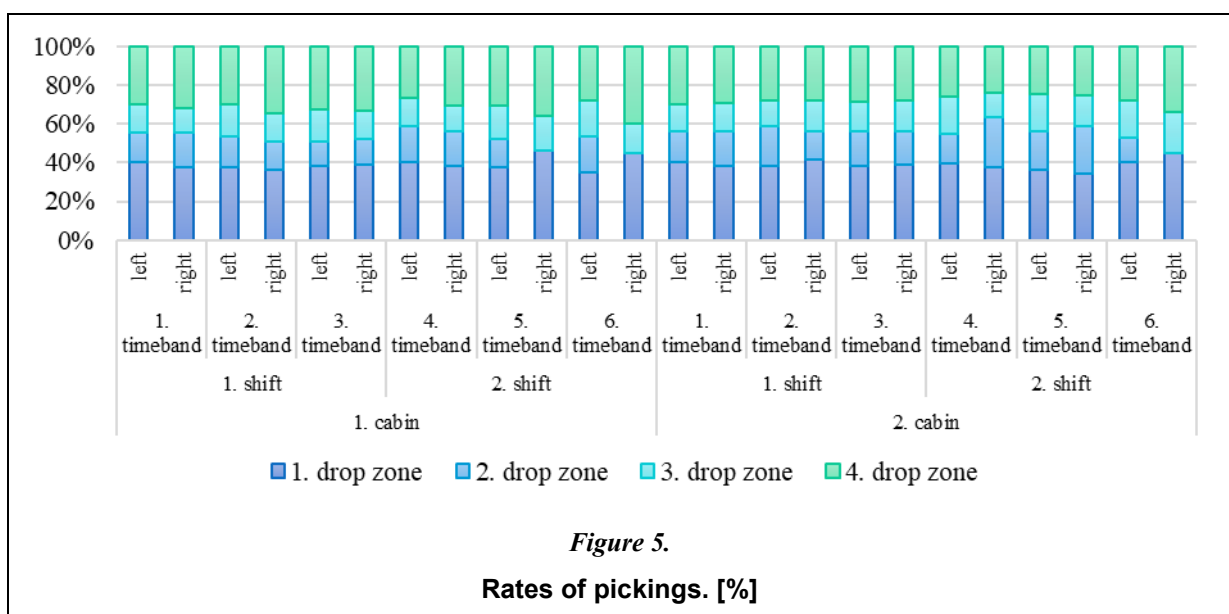
PET bottles make up 41% and mixed paper 21% of the pickings in each hour, and these together add up more than half of the total pickings. Other materials of significant number of pickings are LDPE foils making up 14%, mixed plastic, aluminium, beverage cartons and cardboard together giving 14%, and unfortunately interfering materials of 10%.

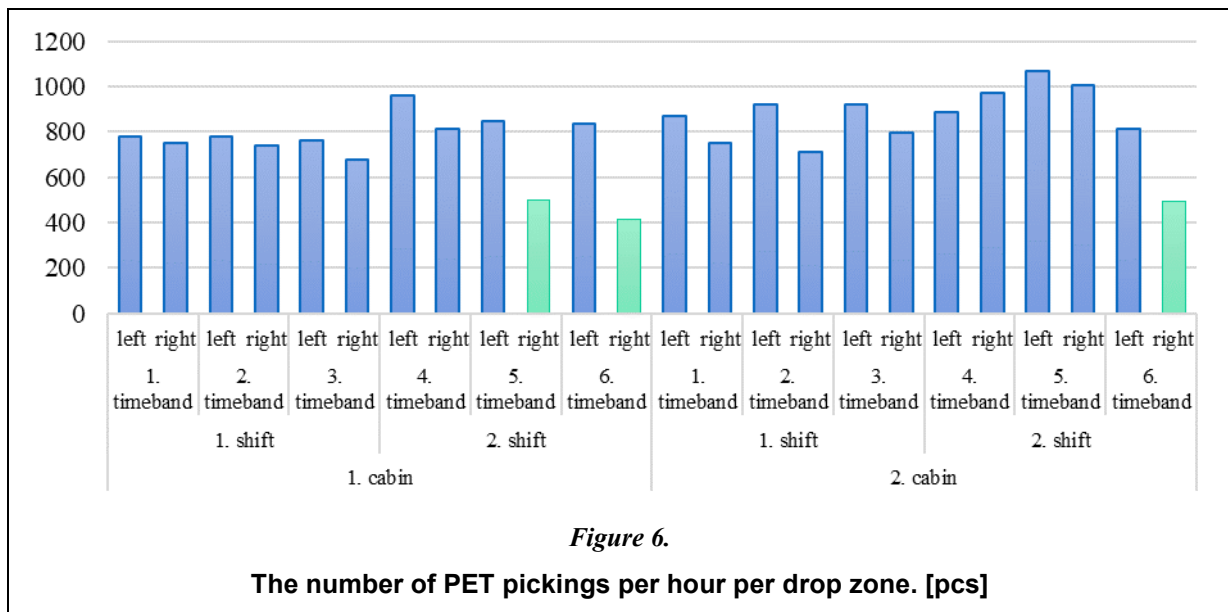
The selection of the latter is necessary because the sorting residue is treated in the mechanical-biological waste treatment plant where these materials would endanger the functioning of the technology, and they could be problematic considering incineration. In addition, some of these materials can be inflammable and explosive, and that means the

employees carrying out the mechanical treatment would also be endangered. Figure 4 shows the average number of pickings per hour and their percentage allocation.



Based on the analysis of the number of pickings, it can be considered that the operators standing on the first spot at the picking belt, who pick both PET and LDPE and put beverage cartons, aluminium and mixed plastic into bags, generally produce 35% of the pickings. The pickings of the operators standing on the second spot between two PET drop zones and putting LDPE foil, mixed plastic, beverage cartons and aluminium into bags make up 20% of the total pickings, whereas the operators on the third spot picking PET and cardboard and putting interfering material into bags produce 18% of that. The pickers on the fourth spot, selecting cardboard and mixed paper and putting the remaining interfering material into bags, do 27% of the pickings on average. The results also show that the operators standing at the first and fourth spots pick the most material that get into the drop zones. The rates of pickings per spot and timeband are shown in Figure 5.





According to our observations, on one side of the conveyor belt three pickers had on average 800 PET pickings per hour. During the measurements, there were no pickers in the second shifts on the 2nd spot of the right side of the belt at the PET drop zones in Cabin 1 in the 5th and 6th timebands and in Cabin 2 in the 6th timeband. The result of it can be clearly seen in Figure 6: on the side where only two people dropped PET bottles in the drop zones, the number of pickings fell significantly below the average number.

## CONCLUSION

Based on our analysis we concluded that in the manual sorting plant of Kökény, the average rate of materials dropped into the drop zones and into the bags was around 80% and 20%. No significant differences were found between the sorting rates and the pickings of the 1. and 2. Cabins, in the 1. and 2. shifts and in the first 5 timebands, but the picking number of the 6. timeband was regularly lower than the others. The reason for this is likely to be found in the fact that it is the late evening timeband, when the cumulative tiredness of the staff - regardless of the time spent in the shift - has a detectable impact on their performance.

The rate of pickings in each hour is made up as follows: PET bottles 41%, mixed paper 21%, LDPE foils 14%, mixed plastic, aluminium, beverage cartons and cardboard together 14%, and interfering materials 10%. We concluded that the pickers standing on the first and fourth spots pick proportionally the most of the material dropped in the drop zones; it is therefore appropriate to put the employees with an ability to sort the material at a higher speed in these spots. The same is true, when there are spaces left out between the picking spots owing to the lack of available workforce. In this case it is also appropriate to put the pickers who are better at sorting in these spots.

It can also be observed, that if a place is left out on one side of the picking belt, it is not the person opposite who is loaded by the material to be sorted, but the ones standing after the empty spot. By contrast, when examining the pickings of PET bottles, we found that the performance of the picker standing on the next spot did not change significantly compared to the situation when the number of the staff was complete. This also means that the pickings of the person standing on the second spot cannot be made up by the next person, and so this amount gets in the sorting residue.

## ACKNOWLEDGEMENT

The support of the European Union and the Hungarian State (grant agreement no. EFOP-3.6.2-16-2017-00010) is gratefully appreciated.

## REFERENCES

1. **246/2014. (IX. 29.)** Government Decree: “On the rules of establishing and operating specific waste management facilities”
2. **Mwanzaa, B.G.,** et al.: “The Influence of Waste Collection Systems on Resource Recovery: A Review” *Procedia Manufacturing* (2018) 21, 846–853.
3. **Poulsen O.M.,** et al.: “Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes” *Science of The Total Environment* (1995) 168:1, 33-56.
4. **Mayrotas, G.,** et al.: “Municipal solid waste management and energy production: Consideration of external cost through multi-objective optimization and its effect on waste-to-energy solutions” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2015) 51, 1205-1222.
5. **Bonello, D.,** et al.: “An exploratory study on the automated sorting of commingled recyclable domestic waste” *Procedia Manufacturing* (2017) 11, 686-694.
6. **Robert, G.** et al.: “Analysis of Picked up Fraction Changes on the Process of Manual Waste Sorting” *Procedia Engineering* (2017) 178, 349-358.
7. **Wagland S.T.:** “Waste collection, sorting, and pretreatment” *Substitute Natural Gas from Waste, Technical Assessment and Industrial Applications of Biochemical and Thermochemical Processes* (2019) 37-48.
8. **Ruj, B.,** et al.: “Sorting of plastic waste for effective recycling” *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research* (2015) 4:4, 564-571.
9. **Abdulredhaa M.,** et al.: “The development of a waste management system in Kerbala during major pilgrimage events: determination of solid waste composition” *Procedia Engineering* (2017) 196, 779-784.

## **THE STUDY OF SIZE AND COMPOSITION IN SELECTIVELY COLLECTED MIXED PACKAGING WASTE FROM HOUSEHOLDS**

### **ABSTRACT**

The basis for our research was provided by the material taken to the manual sorting plant where the packaging wastes selectively collected by the inhabitants is treated. In the course of the measurement, the samples were divided into fractions, first according to size of >350 mm; 350-70 mm; <70 mm, then within those fractions according to the types of material. The material fractions were the following: mixed paper, cardboard, beverage cartons, PET, LDPE, HDPE, mixed plastic, metal, glass and interfering material. 60% of the total waste was in the range of 70 mm – 350 mm preferred by the optical separators, about 20% was bigger and around 20% was smaller than that range. It can be stated from the measurements that about 70% of the waste received at the sorting facility can be recycled and 30% contains not recyclable material.

### **INTRODUCTION AND AIM**

The economic, social and technological development, the growth of the population and the improvement of individual well-being have caused a drastic increase in the amount of the generated solid waste all over the world. [1] Although the amount of the generated municipal waste rose in Hungary over the past years, it is still 100 kg less than the average of the EU-28, that being 487 kg/year per capita. In addition, the amount of dumping was reduced and our recycling rate (with compost) has reached 35%. Unfortunately, the latter rate is still lower than EU's rate of 46%. [2]

To reduce the amount of waste put into landfill, the European Union (EU) has introduced the hierarchy of wastes that has to be applied as a priority order in waste prevention. The following order was stated from the most favoured solution to the least favourable one: prevention, preparation for re-use, recycling, other utilization, such as energetic exploitation and disposal. On this basis, the principle of 3R got into regular use, referring to the initial letters of the words reduce, reuse, recycle and to the first three steps. [3]

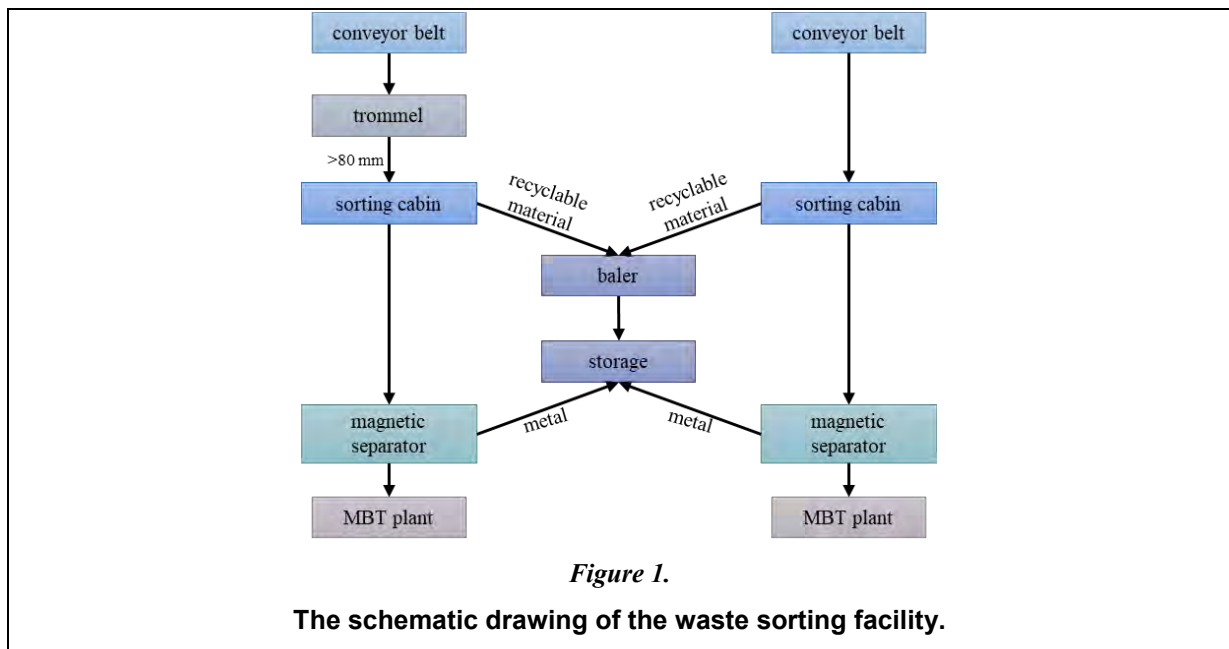
Major investments were made in the development of waste management in Hungary from 2001. 39 material recovery facilities were built in 25 regions for the treatment of selectively collected packaging waste by the year of 2012. The system treated the waste of 6.7 residents, that meant 67% of the whole population at that time, and 13 more facilities were planned to be built. [4] According to the early warning reports of the Commission in 2018, Hungary is burdened by the risk of not being able to meet the recycling target of 50% by 2020; and this means that significant efforts would be required to reach the subsequent objectives. [2] [3] The treatment solutions of municipal waste have to be financially sustainable, technically feasible, socially and legally acceptable, and also environmentally friendly, since the GHG emission can only be reduced by effective waste management. [1] The recycling targets defined by the EU do not give enough incentives to the service providers, and the minimum service standards do not require kerbside collection of separated waste. [2]

In most cases, people are more willing to start selective waste collection when kerbside collection is introduced, thus the place of waste collection gets closer to the place of waste generation, and less energy is required for taking waste to the containers. [5] However, these factors are not sufficient to achieve significant changes in recycling and maintaining the model of circular economy. The government should realise that waste management is a complex and long-term process. It should stimulate the market of recycled materials, therefore it has to take an active part in making the decisions necessary for achieving the targets. [6]. Social influence and regulatory factors play an important role in the ways communities develop good recovery habits. [5]

It takes at least 6-8 years to develop and reach the maximum capacity of different selective collection systems; and even if time passed, we can only count on the participation of 70-80% of the population, despite the fact that Act CLXXXV 2012 obliges inhabitants to collect waste selectively. Ideally, a collection rate of 80-90% can be reached in the case of metals, 60-70% of paper, glass, textile and hazardous waste, and 30-40% of plastic that is surprisingly the lowest of the listed material types. [7] [8]

Disposable packaging can make up to half of the environmental impacts of the foodstuff value chain, therefore not only people but also producing companies play a great role in the numbers. Most of the uncollected materials would not be recyclable because of contamination, since clean, homogeneous raw material is needed to get good-quality secondary raw material. [9] However, most of these have good combustion characteristics and they are often treated by energy- and heat generation processes replacing fossil fuels. But this requires additional developed pollution control measures. [10]

## MATERIALS AND METHODS



Our research was carried out in the waste sorting plant of Pécs-Kökény, where the packaging waste selectively collected by the inhabitants is treated. The collected selective waste is sorted here by types and transported from this location to other waste recovery facilities. Most of the sorting is carried out manually, supplemented by a trommel and two

magnetic metal separators. The separated waste is baled and taken to waste processing and recovery facilities. The detailed process of the treatment can be seen in Figure 1.

In our research, 12 samplings were taken within 3 months. In the course of each sampling, a container of 1100 litres was filled with selectively collected packaging waste taken to the sorting facility. The samples were taken from the waste received on the previous day, as an average of different point samples during the day. These samples contained mixed packaging waste (different types of paper, plastic and metal) selectively collected by the inhabitants. According to the regional rules of waste collection, glass waste is not collected in the same containers, but there are separate collecting points with this purpose, therefore, in theory, no glass waste could have been found in our samples. After ripping up the bags, the selection of these was done manually in the hall of the material recovery facility, in a covered working area with concrete floor.

When defining the separation limits of size, the ideal size range of the optical sorting facilities was used as a basis. The fraction bigger than 350 mm was selected first from the samples because these can hide a lot of waste during the mechanised technology and that would downgrade the output material quality. In these fraction, only cardboard, LDPE and interfering material was found. The next separation limit was the fraction smaller than 350 mm but bigger than 70 mm. This is the size range, where the optical separators are capable of working with the highest efficiency, so we separated this fraction into 10 different types of material: mixed paper, cardboard, beverage carton, PET, LDPE, HDPE, mixed plastic, metal, glass and interfering material. In the case of the fraction smaller than 70 mm, practical experience showed that it predominantly contained contaminated waste that cannot be recycled, and that their picking was economically not recoverable.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Material composition

The results of material composition are shown in Table 1.

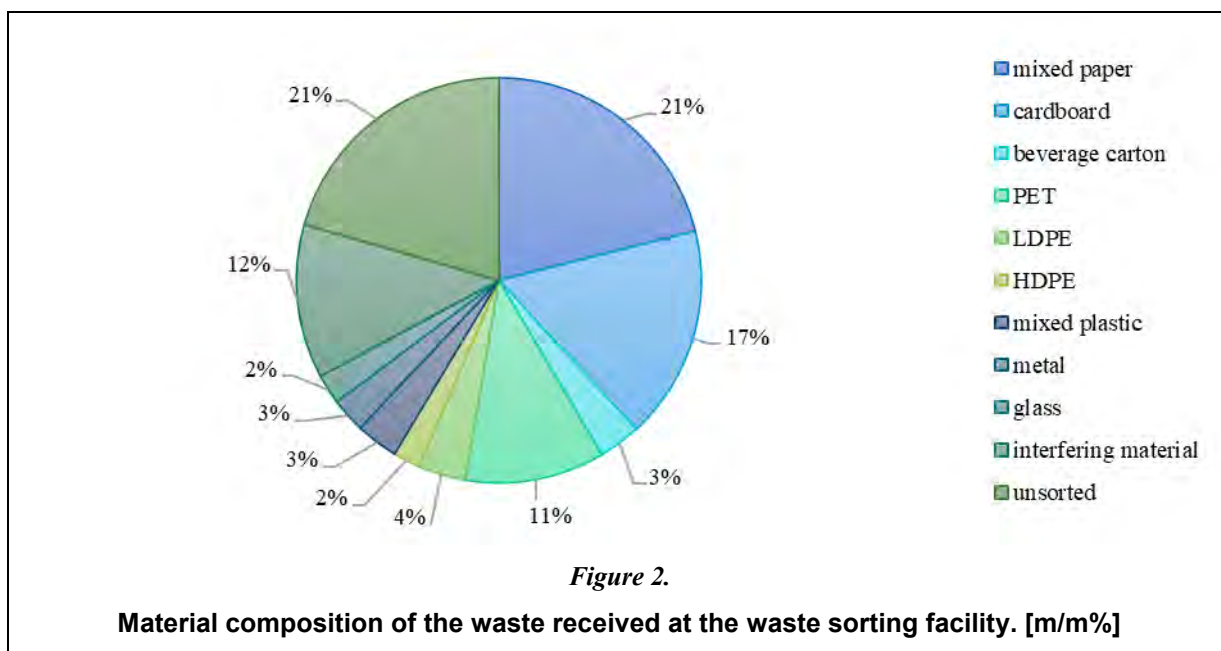
*Table 1.*

**Material composition of the samples taken from the waste received at the waste sorting facility. [m/m%]**

|                             | SPL 1 | SPL 2 | SPL 3 | SPL 4 | SPL 5 | SPL 6 | SPL 7 | SPL 8 | SPL 9 | SPL 10 | SPL 11 | SPL 12 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| <i>mixed paper</i>          | 22.3% | 18.1% | 26.6% | 30.7% | 23.1% | 13.7% | 16.3% | 30.9% | 18.3% | 17.3%  | 20.6%  | 15.1%  |
| <i>cardboard</i>            | 18.2% | 13.1% | 8.6%  | 13.6% | 34.2% | 32.1% | 7.6%  | 12.2% | 10.6% | 22.5%  | 11.7%  | 20.0%  |
| <i>beverage carton</i>      | 3.4%  | 2.2%  | 4.2%  | 3.4%  | 3.1%  | 2.5%  | 3.3%  | 3.5%  | 4.2%  | 3.8%   | 3.6%   | 3.6%   |
| <i>PET</i>                  | 13.2% | 10.6% | 9.1%  | 10.8% | 11.2% | 11.6% | 12.7% | 12.2% | 11.4% | 9.0%   | 11.3%  | 11.2%  |
| <i>LDPE</i>                 | 3.4%  | 2.8%  | 2.9%  | 4.3%  | 2.7%  | 4.3%  | 6.5%  | 2.6%  | 6.4%  | 2.4%   | 4.3%   | 3.0%   |
| <i>HDPE</i>                 | 2.4%  | 0.6%  | 3.6%  | 2.0%  | 1.4%  | 2.5%  | 2.5%  | 3.0%  | 1.7%  | 2.4%   | 1.9%   | 1.7%   |
| <i>mixed plastic</i>        | 3.0%  | 0.9%  | 4.7%  | 3.1%  | 2.7%  | 6.5%  | 4.3%  | 3.9%  | 2.8%  | 2.8%   | 3.0%   | 3.0%   |
| <i>metal</i>                | 2.0%  | 0.6%  | 2.1%  | 2.6%  | 1.7%  | 2.2%  | 5.1%  | 4.8%  | 3.3%  | 2.8%   | 3.0%   | 2.8%   |
| <i>glass</i>                | 3.0%  | 3.4%  | 2.3%  | 2.6%  | 1.0%  | 1.4%  | 7.2%  | 3.9%  | 1.4%  | 1.0%   | 0.9%   | 0.6%   |
| <i>interfering material</i> | 9.8%  | 19.3% | 13.0% | 11.1% | 8.5%  | 6.9%  | 13.4% | 9.1%  | 11.1% | 13.5%  | 19.4%  | 12.3%  |
| <i>unsorted</i>             | 19.3% | 28.3% | 22.9% | 15.9% | 10.5% | 16.2% | 21.0% | 13.9% | 28.9% | 22.5%  | 20.4%  | 26.7%  |

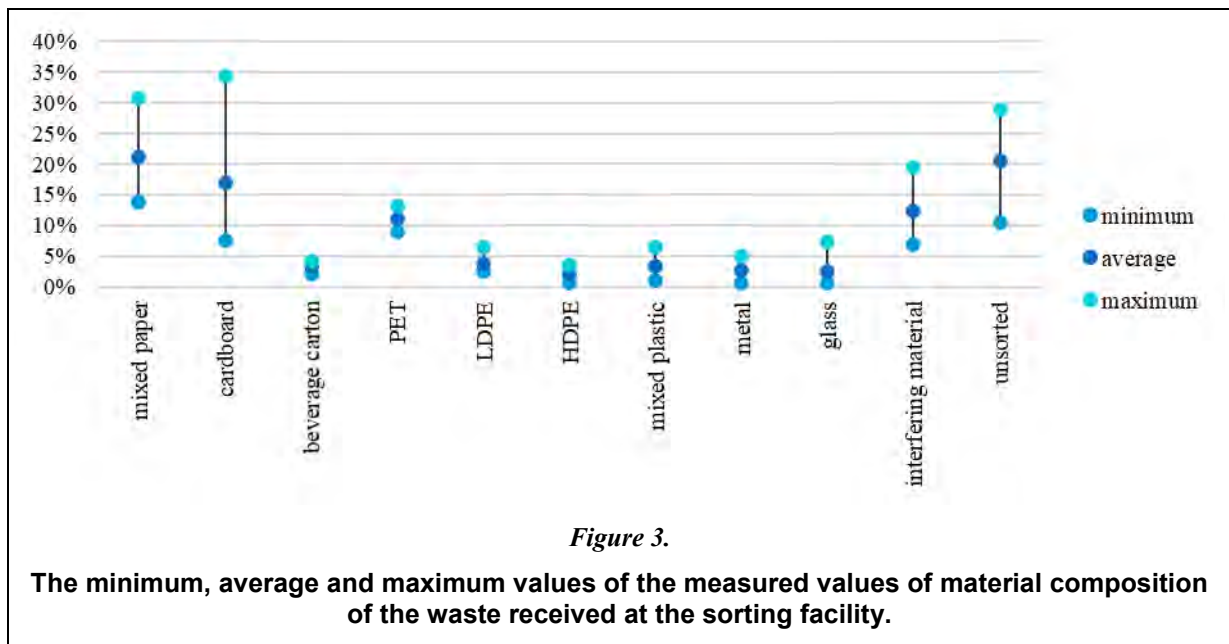


According to Figure 2. showing the average results, it can be stated that 41% of the incoming waste is made up of paper (mixed paper, cardboard, beverage carton), 20% is plastic (PET, LDPE, HDPE, mixed plastic), 3% is metal, 3% is glass and 33 % is not recyclable material (interfering material, unsorted).



However, Figure 3. clearly shows that we also got values significantly different from the average values. The main cause of it can be found in the two main characteristics of the studied material: we examined waste that was taken from residual collection. Since our samples were taken from residual collection, the measured values were highly affected by human attention and negligence. There can be significant differences between waste material coming from an urban or rural area. Since it is about waste, the outliers cannot be ignored in any case; it can be proved later over a longer measurement period that they are caused by some external influence and so these measurement results occur on the basis of a trend or pattern from time to time, and this way they can lose their outlying character.





### Size composition

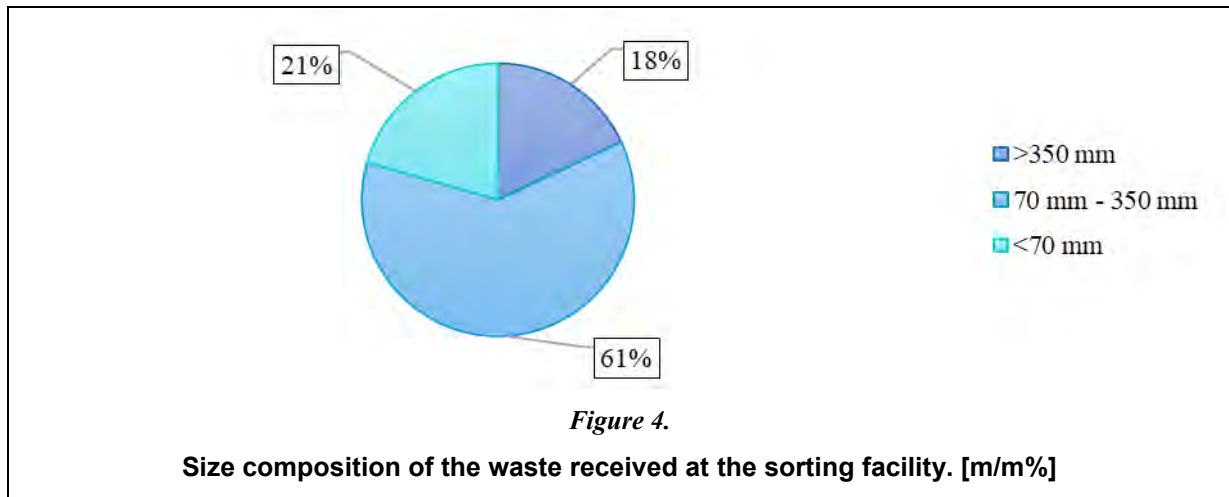
The results of size composition are shown in Table 2.

**Table 2.**

**Size composition of the samples taken from the waste received at the sorting facility. [m/m%]**

|                | SPL 1 | SPL 2 | SPL 3 | SPL 4 | SPL 5 | SPL 6 | SPL 7 | SPL 8 | SPL 9 | SPL 10 | SPL 11 | SPL 12 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| >350 mm        | 23.6% | 28.7% | 8.3%  | 13.1% | 36.6% | 24.5% | 6.2%  | 11.7% | 12.5% | 21.5%  | 19.2%  | 13.3%  |
| 70 mm - 350 mm | 57.1% | 43.0% | 71.4% | 71.0% | 52.9% | 59.2% | 72.8% | 74.3% | 58.6% | 56.1%  | 55.2%  | 60.0%  |
| <70 mm         | 19.3% | 28.3% | 20.3% | 15.9% | 10.5% | 16.2% | 21.0% | 13.9% | 28.9% | 22.5%  | 25.6%  | 26.7%  |

According to Figure 4. representing the average results, it can be stated that 60% of the incoming waste belongs to size range 70 mm – 350 mm preferred by optical separators, about 20% of it is bigger and around 20% is smaller than that range. In practice, this means that 60% of the incoming waste is suitable for being sorted by the optical separators. To this size range belong newspapers, advertising magazines, 1.5 litre PET bottles, cardboard and beverage cartons, which give a significant part of this fraction. In order to be able to improve the sorting effectiveness of the machines, the waste bigger than that size should be separated manually and the smaller ones by machines.



### Material composition split into size fractions

Table 3 and 4 show material composition split into size fractions.

**Table 3.**

**The rates of material types in the samples of >350 mm size range taken from the waste received at the sorting facility. [m/m%]**

| >350 mm              | SPL 1 | SPL 2 | SPL 3 | SPL 4 | SPL 5 | SPL 6 | SPL 7 | SPL 8 | SPL 9 | SPL 10 | SPL 11 | SPL 12 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| cardboard            | 64.3% | 35.9% | 38.9% | 69.6% | 80.6% | 91.2% | 70.6% | 48.1% | 28.9% | 67.7%  | 34.7%  | 85.9%  |
| LDPE                 | 7.1%  | 2.2%  | 5.6%  | 13.0% | 3.7%  | 8.8%  | 11.8% | 0.0%  | 26.7% | 1.6%   | 13.9%  | 0.0%   |
| interfering material | 28.6% | 62.0% | 55.6% | 17.4% | 15.7% | 0.0%  | 17.6% | 51.9% | 44.4% | 30.6%  | 51.4%  | 14.1%  |

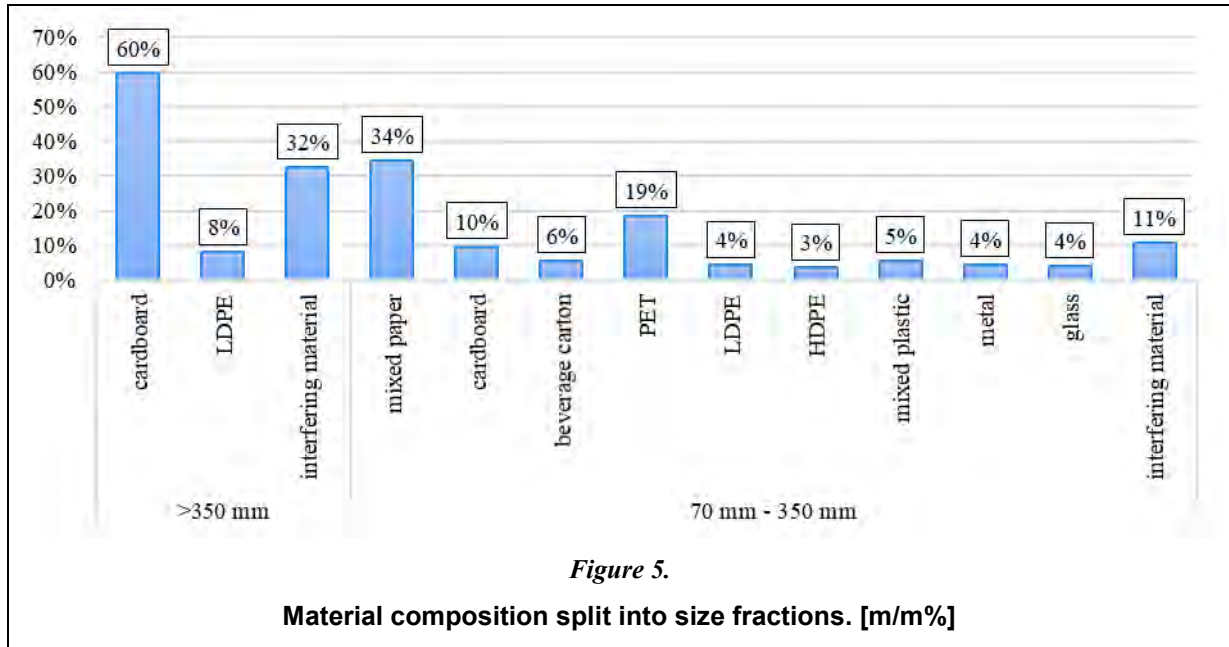
**Table 4.**

**The rates of material types in the samples of 70 mm - 350 mm size range taken from the waste received at the sorting facility. [m/m%]**

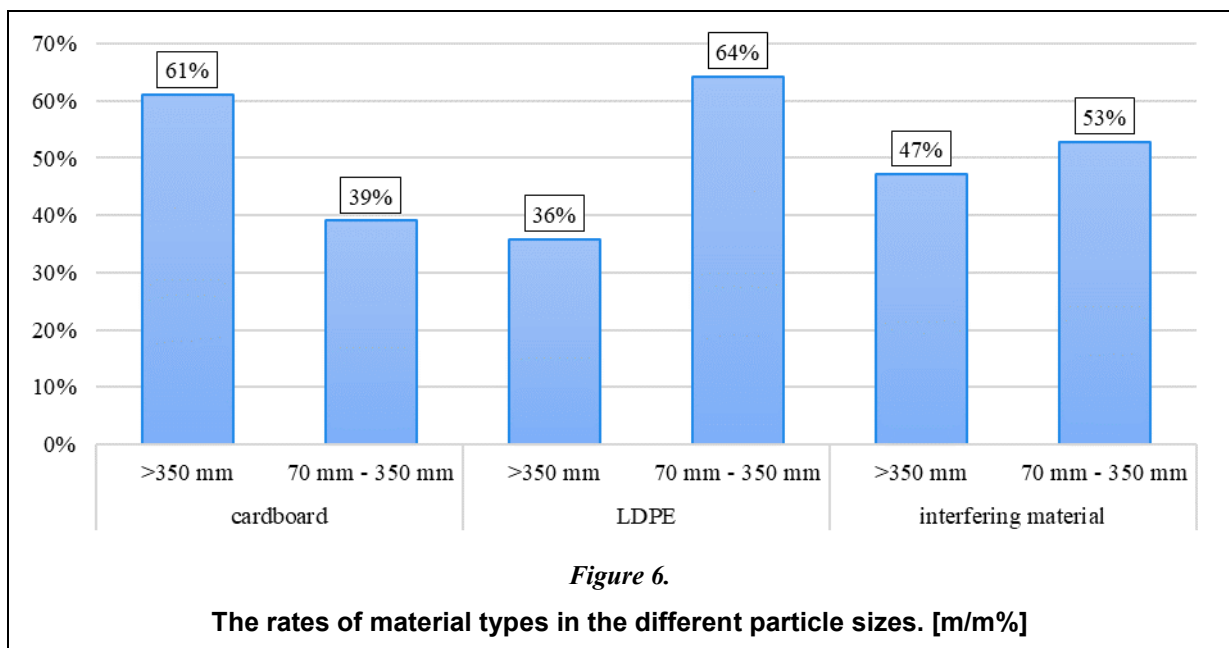
| 70 mm - 350 mm       | SPL 1 | SPL 2 | SPL 3 | SPL 4 | SPL 5 | SPL 6 | SPL 7 | SPL 8 | SPL 9 | SPL 10 | SPL 11 | SPL 12 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| mixed paper          | 39.1% | 42.0% | 39.2% | 43.2% | 43.6% | 23.2% | 22.4% | 41.5% | 31.3% | 30.9%  | 32.1%  | 25.2%  |
| cardboard            | 5.3%  | 6.5%  | 7.3%  | 6.4%  | 9.0%  | 16.5% | 4.5%  | 8.8%  | 11.8% | 14.2%  | 9.9%   | 14.3%  |
| beverage carton      | 5.9%  | 5.1%  | 6.2%  | 4.8%  | 5.8%  | 4.3%  | 4.5%  | 4.7%  | 7.1%  | 6.8%   | 5.6%   | 5.9%   |
| PET                  | 23.1% | 24.6% | 13.5% | 15.2% | 21.2% | 19.5% | 17.4% | 16.4% | 19.4% | 16.0%  | 17.5%  | 18.7%  |
| LDPE                 | 3.0%  | 5.1%  | 3.5%  | 3.6%  | 2.6%  | 3.7%  | 8.0%  | 3.5%  | 5.2%  | 3.7%   | 3.3%   | 5.0%   |
| HDPE                 | 4.1%  | 1.4%  | 5.4%  | 2.8%  | 2.6%  | 4.3%  | 3.5%  | 4.1%  | 2.8%  | 4.3%   | 3.0%   | 2.8%   |
| mixed plastic        | 5.3%  | 2.2%  | 6.9%  | 4.4%  | 5.1%  | 11.0% | 6.0%  | 5.3%  | 4.7%  | 4.9%   | 4.6%   | 5.0%   |
| metal                | 3.6%  | 1.4%  | 3.1%  | 3.6%  | 3.2%  | 3.7%  | 7.0%  | 6.4%  | 5.7%  | 4.9%   | 4.6%   | 4.7%   |
| glass                | 5.3%  | 8.0%  | 3.5%  | 3.6%  | 1.9%  | 2.4%  | 10.0% | 5.3%  | 2.4%  | 1.9%   | 1.3%   | 0.9%   |
| interfering material | 5.3%  | 3.6%  | 11.5% | 12.4% | 5.1%  | 11.6% | 16.9% | 4.1%  | 9.5%  | 12.3%  | 17.9%  | 17.4%  |

It can be seen clearly in Figure 5 that more than half of the fraction of >350 mm is made up of cardboard waste and an additional 10 % is LDPE foil. These packaging materials are often used in the case of bigger products needed in the households; this is why they can be

found in such a large quantity in the selectively collected residual packaging waste. In the fraction of 70 mm – 350 mm mixed paper, beverage cartons, metals, LDPE and HDPE plastic, and also glass could be found in almost the same quantities. In this fraction, the amount of cardboard and interfering material was twice as much, PET was four times as much and mixed paper was seven times as much as in the first observed fraction.

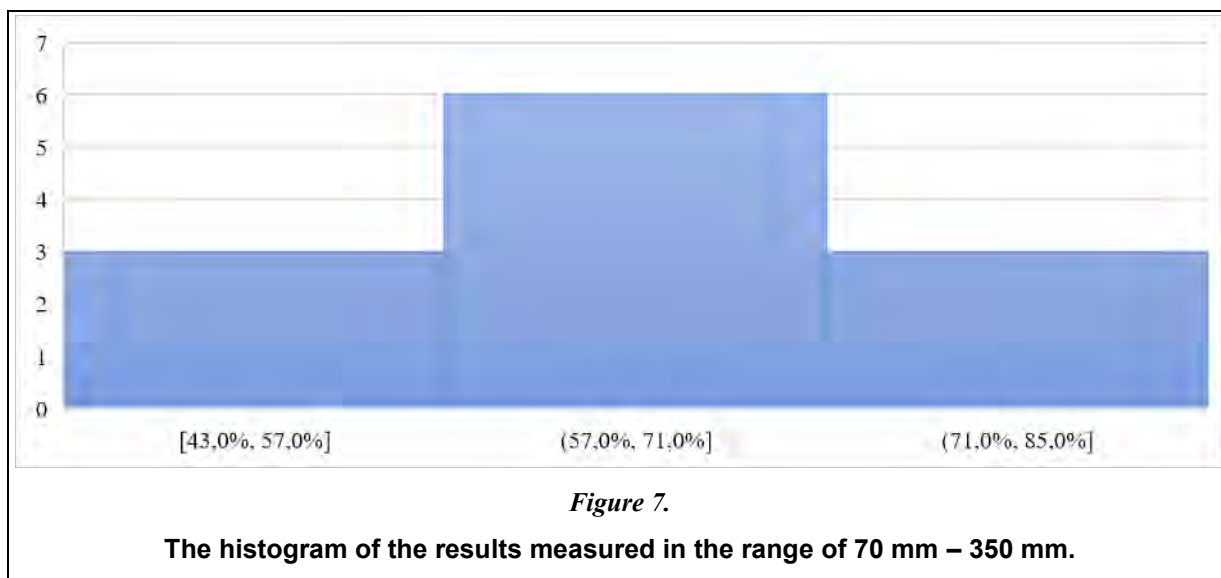


The rates of material types in the different particle sizes is shown in Figure 6. The size distribution of the sorted cardboard shows that the rate was 40%-60% between the fractions of 70 mm - 350 mm and >350 mm, and in the case of LDPE foil the rate was the other way round. This means that cardboard is favoured at the packaging of large size products. Interfering substances were to be found at the same rate in both fractions.



## CONCLUSION

70% of the material taken to the waste sorting plant is useful material and 30% of it is not recyclable material. 60% of it belongs to size range 70 mm – 350 mm, 20% to size range <70 mm and 20% to size range >350 mm. At the breakdown of the fraction 70 mm – 350 mm into material types, it has been found that mixed paper, PET and cardboard is present in the largest percentage of the useful materials, making up 60% of the fraction. In the fraction >350 mm only cardboard and LDPE foil can be found of the recyclable materials, which make up 60% of the fraction.



During the measurements it was observed that on average 60% of the received waste would be ideal for automatic sorting. However, when looking at the values of the samples it can be seen that the measured values are most frequently between 60-70% (Figure 7), hence it would be even better to design setting the technology to 70%. To be able to define the technological design more precisely, more samplings would be needed; in an ideal case, exact definitions could be taken from a sampling line covering a whole year.

The measurement results clearly show that despite the rules of waste collection - which state that glass waste must not be put into containers used for residual kerbside collection - almost 2.5% of the incoming material is glass waste. It may also be worth factoring this fact into the technological designs.

## ACKNOWLEDGEMENT

The support of the European Union and the Hungarian State (grant agreement no. EFOP-3.6.2-16-2017-00010) is gratefully appreciated.

## REFERENCES

1. **Abdel-Shafy, I.H.**, et al.: „Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization” *Egyptian Journal of Petroleum* (2018) 27:4, 1275-1290.
2. **European Commission**: „The EU Environmental Implementation Review 2019 Country Report – HUNGARY” *Brussels*, 2019.04.04.
3. **Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council**: „on waste and repealing certain Directives”

4. **Leitol, Cs.:** „Resource efficiency of Hungarian recycling systems” *POLLACK Periodica* (2012) 7:2, 117-127.
5. **González-Torre, P.L.,** et al.: „Influence of distance on the motivation and frequency of household recycling” *Waste management* (2005) 25:1, 15-23.
6. **Minghua, Z.,** et al.: „Municipal solid waste management in Pudong New Area, China” *Waste Management* (2009) 29:3, 1227-1233.
7. Act CLXXXV 2012 ”about waste”
8. **Alexa, L.,** et al.: ”Selective Collection, Pre-treatment and Recovery of Municipal Solid Waste” *Waste Management Manual II.* (2005) 13-70.
9. **Bala, A.,** et al.: „Environmental assessment of the food packaging waste management system in Spain: Understanding the present to improve the future” *Science of the Total Environment* (2019) 702, 134603.
10. **Everaert, K.,** et al.: „The formation and emission of dioxins in large scale thermal processes” *Chemosphere* (2002) 46:3, 439-448.

## **SIMULATION AND OPTIMIZATION OF NATURAL GAS SWEETENING PLANT WITH HYSYS 8.8**

### **ABSTRACT**

Computer-aid engineering programs are the best approach to understand the behavior and effect of variables of a power plant operation with each other and improve the efficiency before capital investment. In this study, a commercial natural gas sweetening plant of Iraq investigated and simulated with aid of HYSYS 8.8. For finding optimum circulation rate and precise amine solution. Ten cases of a simulation studied, Five cases on investigating diethanolamine (DEA) solution, and five cases on methyl diethanolamine (MDEA) solution. The first five cases start with a concentration of 20% DEA up to 45% DEA with a 5% difference. And the next five cases concentrations are the same but with the MDEA solution. Each concentration was run with five different circulation rates which starts with 175 m<sup>3</sup>/h up to 325 m<sup>3</sup>/h with 25 m<sup>3</sup>/h differences. The result showed, with increasing circulation rate for DEA and MDEA in all concentrations, the concentration of CO<sub>2</sub> in the sweet gas decreased drastically. The water loss and hydrocarbons loss percentage increased with increasing circulation rate in all concentrations of amine solutions, except the DEA behaved differently compare to MDEA regarding water loss. Higher DEA concentration showed lower water loss, but a low concentration of MDEA was better for decreasing the water loss. The final results showed the circulation rate of 200 and 250 m<sup>3</sup>/h were the stable and optimum condition for MDEA amine, but for DEA amine the cost drastically increases with increasing the circulation rate. Moreover, the optimum condition demonstrated with a circulation rate of 175 m<sup>3</sup>/h at 20% DEA and 25% DEA solution which equals 60.988 MMBtu/hr and 213 MMBtu/day, respectively.

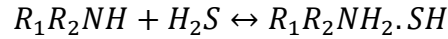
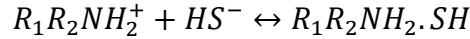
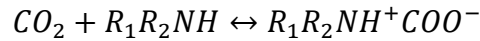
### **1. Introduction**

Natural gas (NG) is a prime and foremost source of energy, it is widely used for many different purposes. NG is obtained from deep underground from natural gas reservoirs, which many undesired impurities and hazardous chemicals. The most dangerous and effective undesired impurities are hydrogen sulfide and carbon dioxide. These contaminants create problems such as corrosion, freezing, plugging, erosion, health damage, and environmental hazards<sup>1</sup>. It is very important to make it fit market demand, environmentally safe, and to meet the gas pipeline specifications.

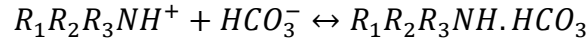
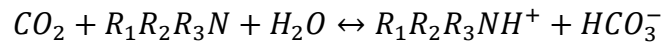
A gas reckoned as 'sour gas' when the H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> concentration exceed 2% CO<sub>2</sub> and 4 ppm H<sub>2</sub>S<sup>2</sup>. Therefore, the widely used sweetening method is the 'amine gas sweetening process', it is classified under the chemical absorption process which used for removing H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub><sup>3</sup>. During the process, a solvent reacts with the acid gases to form organic compounds<sup>4</sup>. The most used solvents are alkanolamine. Amine solutions are weak organic bases, they react with acid gases at normal temperature and they can be deacidized in higher temperatures. In this study, we focus on the effect and simulation of diethanolamine (DEA) and Methyldiethanolamine (MDEA). DEA is a secondary amine and MDEA is a

tertiary amine. The primary amines are more reactive than the secondary and the secondary amine than the tertiary amines <sup>5</sup>. The primary and secondary amines directly react with CO<sub>2</sub> and form carbamate and bicarbonate ion via hydrolysis, but the tertiary amine form only bicarbonate ion and protonated amine <sup>6</sup>.

<sup>2,5</sup> secondary amines reaction with CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S:



<sup>2,5</sup> Tertiary amines reaction with CO<sub>2</sub>:



Amine gas sweetening process consist of some process units, like; absorber, regenerator, filter, amine flash tank, condenser, cooler, surge tank, separator, heat exchanger, and pumps (as appear in Figure 1). The sour gas enter absorber from the bottom and the amine solution from the top. The flow through the column is counter-current. And then after the reaction come to happen, rich amine solution from the bottom of the absorber goes to the separator unit where any kind of vapor will be released from the streamline. Then the rich amine flow through the heat exchanger and then the rich amine goes to the top of the stripper column. Inside the stripper, the rich solution moves downward in counter-current with the water steam generated by the reboiler. The acid gases and the steam leave the top of the stripper and enter a condenser, where the major portion of the steam is condensed and return to the reboiler. The acid gases are separated in a separator and sent to the flare. The lean amine goes back to the system, first to the heat exchanger, and then to absorber <sup>7-9</sup>.

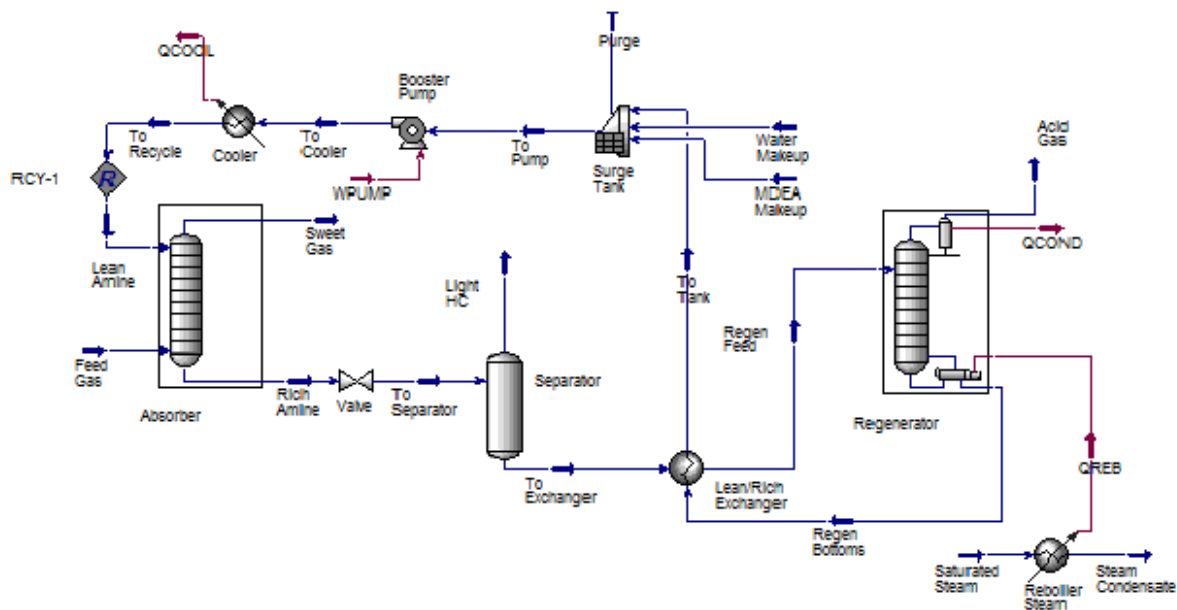


Figure.1 Schematic of amine unit.

The Iraqi Kurdistan region is an encounter with an extraordinary development by discovering a huge amount of oil and gas reservoirs through Investors. This study aims to do simulation and modification of the amine sweetening process of KAR group with the HYSYS V8.8 program. This operation runs with different parameters, each parameter plays a major role in energy consumption and the total cost of the operation. The major units that

played role in the simulation were lean amine circulation flow rate and lean amine concentration. Two different amines are tested (MDEA and DEA).

## 2. Materials and methods

### 2.1. Materials

For running the simulation and finding the optimum condition, simulating software and the real data from the facility is required.

#### 2.1.1. Aspen HYSYS V8.8

Aspen HYSYS is a comprehensive process modeling system used by the world's leading oil and gas producers, refineries, and engineering companies. It is used for optimization and simulation process and evaluating process performance under different circumstances<sup>10</sup>. The modeling of a process like an amine unit is so far easier and also more practical with the functionality of Aspen HYSYS version 8.8 and higher. "Acid Gas" property package has made this simulation easier. There are several main advantages of the 'Acid Gas' package of HYSYS. First, the built-in property packages in HYSYS provide accurate thermodynamic, physical, and transport property predictions for hydrocarbons, non-hydrocarbons, petrochemical, and chemical fluids. Second, this package contains the thermodynamic models developed by D.B. Robinson. Third, this program has more than 1600 components and 17000 binary coefficients and even if the component couldn't be found in HYSYS, you can create a fully defined hypothetical component. But fortunately, the equilibrium acid gas solubility and kinetic parameters for the aqueous alkanolamine solutions in contact with H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> have integrated into this property package. Fourth, the amines package gives a precise stage efficiency model. The stage efficiency model calculates H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> component stage efficiency based on the tray dimensions, internal tower condition, and status for both absorber and stripper<sup>11</sup>.

#### 2.1.2. Gas composition

The sour gas composition is the cornerstone of all calculations. The gas composition of the Khurmala amine gas sweetening plant was used for simulation<sup>9</sup>. The simulation consists of 8 cases. All the cases will be compared to each other to find the best case of working with the least energy consumption. For this work, we need the composition of the following components of input feed: N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, i-C<sub>4</sub>, n-C<sub>4</sub>, i-C<sub>5</sub>, n-C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub>, H<sub>2</sub>O, and MEA, DEA, and MDEA wt% (Table 1). The initial substances composition of the sour gas stream is taken from a previous study<sup>9</sup>.

Table 1. Khurmala natural gas specifications for the sour gas to the absorber

| Component                        | Mole% | RMM    | kmole/h   | kg/h     | Mole%    |
|----------------------------------|-------|--------|-----------|----------|----------|
| H <sub>2</sub> S                 | 5.38  | 34.076 | 288.03426 | 9815.056 | 5.372849 |
| CO <sub>2</sub>                  | 4.48  | 44.01  | 239.85009 | 10555.8  | 4.474045 |
| N <sub>2</sub>                   | 0.11  | 28.02  | 5.8891764 | 165.0147 | 0.109854 |
| CH <sub>4</sub>                  | 63.35 | 16.02  | 3391.6302 | 54333.92 | 63.26579 |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>    | 13.9  | 30.07  | 744.17775 | 22377.42 | 13.88152 |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>    | 6.03  | 44.09  | 322.83394 | 14233.75 | 6.021985 |
| i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 1.36  | 58.123 | 72.811636 | 4232.031 | 1.358192 |
| n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 2.44  | 58.123 | 130.63264 | 7592.761 | 2.436757 |
| i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | 1.03  | 72.15  | 55.144106 | 3978.647 | 1.028631 |
| n-C <sub>5</sub> H <sub>14</sub> | 0.73  | 72.15  | 39.082716 | 2819.818 | 0.72903  |
| C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>   | 1.19  | 86.177 | 63.710181 | 5490.352 | 1.188418 |



|       |     |    |           |          |          |
|-------|-----|----|-----------|----------|----------|
| H2O   | -   | 18 | 7.1258541 | 128.2654 | 0.132922 |
| Total | 100 |    | 5360.9226 | 135722.8 | 100      |

Source: (Abdulrahman and Sebastine, 2013)

Throughout the simulation, some parameters are fixed which is taken from real-time running operation (Table 2).

Table 2. fixed parameters of amine unit simulation

| Parameters                       | Value      |
|----------------------------------|------------|
| Absorber - stages                | 20         |
| Absorber Top Pressure            | 1090       |
| Absorber Bottom Pressure         | 1094       |
| Desorber - stages                | 20         |
| Reboiler - temperature           | 117 oC     |
| Desorber top pressure            | 2 bar      |
| Desorber - Reflux ratio          | 0.35       |
| Rich amine pump - inlet pressure | 1091 Psi   |
| Inlet gas pressure               | 1095 Psi   |
| Inlet gas temperature            | 38 C       |
| Inlet Gas Flow                   | 172.2 m3/h |
| Seperator Delta P                | 14.7 Psi   |
| Desorber Inlet Temperature       | 190 oF     |
| Desorber top pressure            | 35 Psi     |
| Desorber Bottom Pressure         | 38 psi     |
| Condenser Temperature            | 7 oC       |
| Reflux Ratio                     | 0.3        |

## 2.2. Methods

In this project, the focus will be on the simulation of the acid gas removal process with high efficiency and using different amine solution. For gas sweetening several packages available. There are a lot of variables that affect the efficiency of the plant and energy consumption. In this research, the main simulation variables are; DEA and MDEA Amines concentration with different weight percentages and different circulation rates. This simulation is consisting of some steps.

- Constitution of plan one-on-one
- Select a model property package
- Select all substances
- Define all the reactions inside the process
- Create and specify the feed stream
- Install and define the operational units of the process plan
- Create an 'analyzing list' and tables inside the program
- Test all the cases
- Comparing to each other and find out the best result

### 2.2.1. Modeling

modeling with HYSYS starts with opening a 'new case'. Right after that, a new screen shows up which consists of 'Properties, Simulation, Safety analysis, and Energy analysis'. In the category of 'Properties'. first, we have to add and define the 'Components list'. Every component that exists in the entire process should be added. Then inside the 'Fluid package'

section, the acid gas property package was selected. After package selection, the ‘Reactions’ section very important which should be defined and set very carefully. Any reactions that occur inside the whole process must be outlined.

The equipment and streams will be set and defined. The most significant equipments are absorber tower, separator, Lean/rich exchanger, regenerator (stripper), make-up mixer, cooler. Defining each equipment with more detail makes the simulation work with less error percentage and closer to reality. Absorber tower requires the specifications of two inlets, number of stages, and geometry dimensions. The separator requires inside pressure and the geometry of the vessel. The heat exchanger needs information upload regarding the shell and tube side geometry, the pressure drops for both sides and the condition of the stream goes to the regenerator. For regenerator parameters required reflux ratio with the pressure of reboiler and condenser, residual acid gas load in desorption process, bottom and top temperature, and pressure inside the tower. The concentration of amine adjusted inside the makeup mixer (purge tank) with adding water, the outlet concentration of amine solution required. Pressure through the simulation lines adjusted by installing pumps and set their outlet pressure.

### 2.2.2. Simulation cases

#### 2.2.2.1. Case 1-5: MDEA case

The investigating cases from case 1 to case 5 will be analyzed on a process model of Figure 1. For these five cases, these data are being specified for them which only the amount of amine concentration is been changed. Each case tested between a circulation rate of 175 – 325 m<sup>3</sup>/h (Table 3).

Table 3. case 1 to case 5.

| Case No. | Lean Amine Composition                                                                               |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Case 1   | 20% MDEA, with best inlet temperature and best circulation rate between 175 – 325 m <sup>3</sup> /h  |
| Case 2   | 25% MDEA, with best inlet temperature and best circulation rate between 175 – 325 m <sup>3</sup> /h  |
| Case 3   | 30% MDEA, with best inlet temperature and best circulation rate between 175 – 325 m <sup>3</sup> /h  |
| Case 4   | 35 % MDEA, with best inlet temperature and best circulation rate between 175 – 325 m <sup>3</sup> /h |
| Case 5   | 45% MDEA, with best inlet temperature and best circulation rate between 175 – 325 m <sup>3</sup> /h  |

The next five cases will run under the same conditions as the first five cases, only the amine changes to DEA (Table 4).

Table 4. case 6 to case 10

| Case No. | Lean Amine Composition                                                                             |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Case 6   | 20% DEA, with best inlet temperature and best circulation rate between 175 – 325 m <sup>3</sup> /h |
| Case 7   | 25% DEA, with best inlet temperature and best circulation rate between 175 – 325 m <sup>3</sup> /h |
| Case 8   | 30% DEA, with best inlet temperature and best circulation rate between 175 – 325 m <sup>3</sup> /h |
| Case 9   | 35 % DEA, with best inlet temperature and best circulation                                         |

|         |                                                                                                    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | rate between 175 – 325 m <sup>3</sup> /h                                                           |
| Case 10 | 45% DEA, with best inlet temperature and best circulation rate between 175 – 325 m <sup>3</sup> /h |

## Results and discussion

In various circulation rates, different individual amines are used in the simulation.

### *Amount of CO<sub>2</sub> in the sweet gas stream of the absorber column*

The result showed MDEA is less reactive with CO<sub>2</sub> compare to DEA. The circulation rate has the same effect on both amines which the higher circulation rate results in more CO<sub>2</sub> removal. Almost all amines with all concentrations were giving an acceptable concentration of CO<sub>2</sub>. All the results match with the required safety of pipelines specifications (Figure 2).

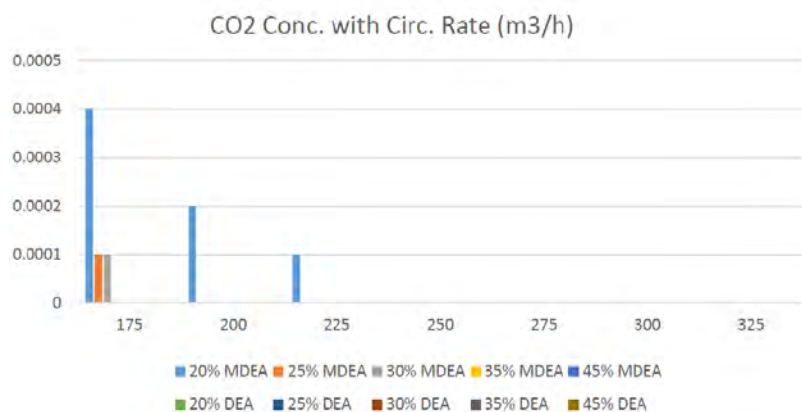


Figure 2. effect of a different percent of amines on CO<sub>2</sub> concentration in sweet gas.

### *Amount of H<sub>2</sub>S in the sweet gas stream of the absorber column*

All amines concentrations with different circulation rates were showing zero H<sub>2</sub>S amount in the sweat gas stream of the absorber column. This promises the removal of H<sub>2</sub>S completely with all tested cases.

### *Wasted hydrocarbon inside acid gas (AG) streams*

The best result for the loss of hydrocarbons demonstrated at 30%DEA, 20% DEA, 20%MDEA, and 30%MDEA, while with a higher circulation rate the higher hydrocarbon (HC) waste observed (Figure 3). Therefore, keeping both circulation rate and amine concentration in a rational range would give benefit to the plant productivity and energy loss which at a circulation rate of 225 and 250 m<sup>3</sup>/h seems an appropriate status.

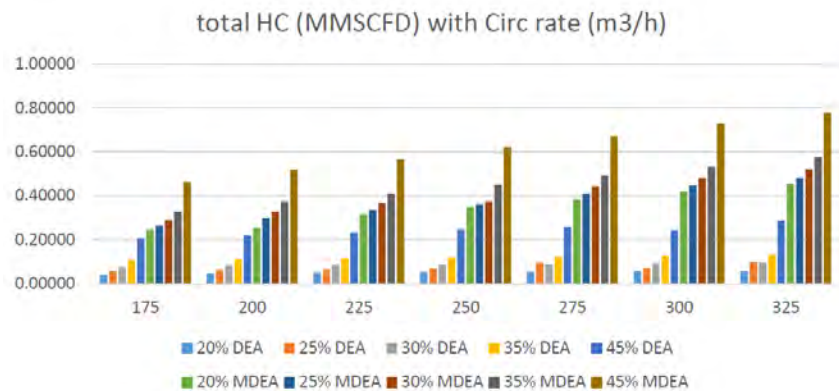


Figure 3. Total HC waste from light HC and AG streams.

### Water losses in the process plant

There are three streams that water can escape through, and they are (sweet gas stream, the acid gas stream, and the light HC stream from the separator). The result showed (increasing the circulation rate in all cases comes out with increasing water loss and also DEA saves more water than MDEA in the system (Figure 4). Moreover, the lowest water loss was observed at 45% DEA and 20% MDEA compare to all other amine concentrations in all different circulation rates. Besides, with increasing concentration of MDEA also water loss will increase but with increasing DEA concentration the water loss decrease.

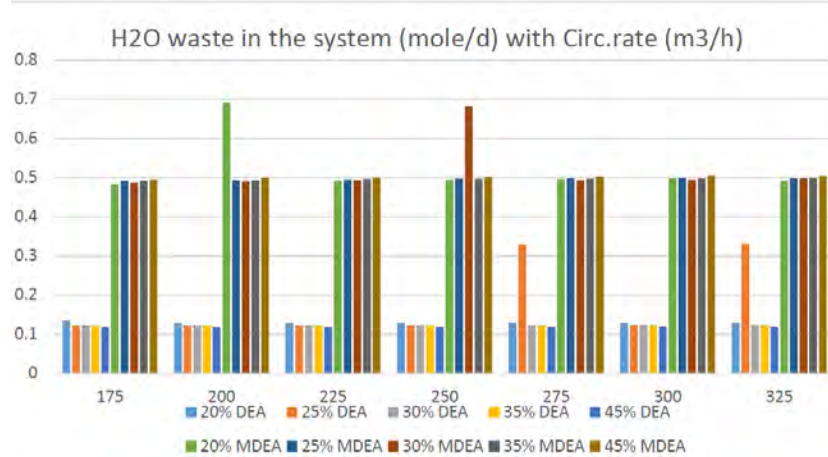


Figure 4. Effect of different percent of mixing amines on water loss.

### Energy consumption

The condenser and the reboiler duty for regeneration are the foremost major points to be overseen in terms of energy consumption. After running the simulation, the results showed, the best circulation rates were 175 and 225 m<sup>3</sup>/h with DEA based amine is always the least amount of condenser duty observed. The MDEA is always counting twice condenser duty compare to DEA (Figure 6). On the other hand, the Reboiler duty was showing the inverse of the condenser in which the duty of heating DEA is always higher with 20% (Figure 7). The circulation rate of 200 and 250 m<sup>3</sup>/h shows a stable and not excessive amount of heat for MDEA amine because the amount of the change from 225 m<sup>3</sup>/h gets so close to each other. DEA amine at a circulation rate of 175 m<sup>3</sup>/h and 25% DEA the amount of energy saved is the highest which equals 60.988 MMBtu/hr (Figure 5). After simulating for one day, the daily energy-saving became 213 MMBtu/day.

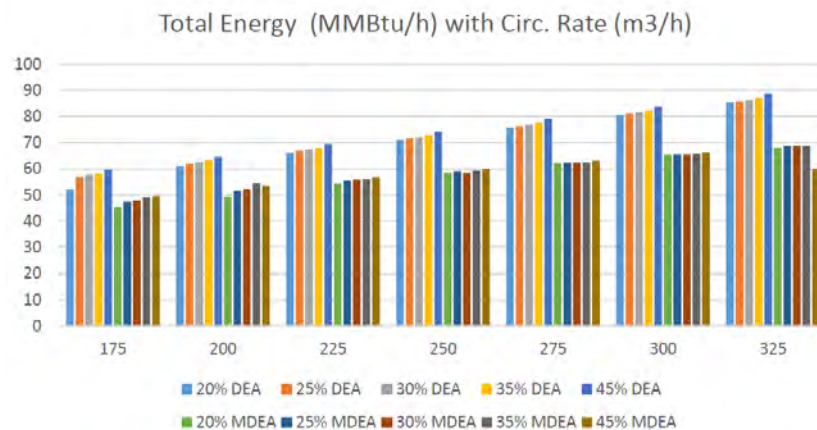


Figure 5. Total Energy required by Regenerator.

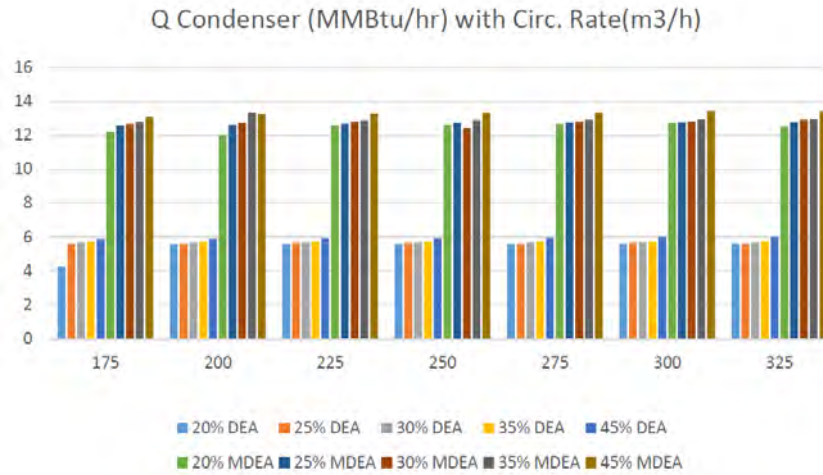


Figure 6. The required energy for the Condenser of Regenerator column.

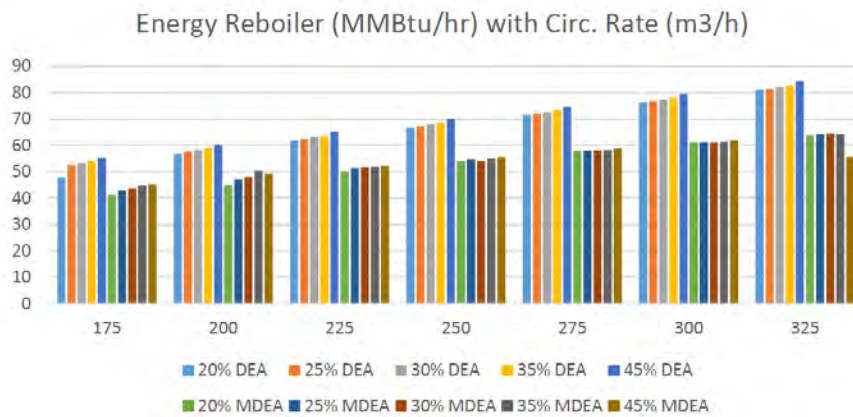


Figure 7. The required energy for the reboiler of the regenerator column.

## Conclusion

In this study, different Amine concentrations, and two amines with different circulation rates were used for simulating an existing gas production facility. The target always must consider the amount of  $H_2S$  and  $CO_2$  in the sweet gas which shall not be more than 4 PPM of  $H_2S$  and 2% of  $CO_2$ . For the simulation, HYSYS has been used with the property package of Acid Gas Package. The simulation runs with 10 cases, the first five cases with DEA, and the next five cases MDEA with different concentrations.

The results show that, with increasing circulation rate with any amine concentration of DEA and MDEA amine types, causes to decrease in the concentration of  $CO_2$  in the sweet gas. According to this result, the optimal circulation rate is 200  $m^3/h$ . and Also DEA works better than MDEA regarding removing  $CO_2$ .

The amount of  $H_2S$  mole fraction in sweet gas was 0.00000% with all different amine types with different concentrations and different circulation rates. All simulation cases showed a high performance with treating the amount of  $H_2S$  inside the sour gas. The total HC waste was recorded with 30% DEA, 20% DEA, 20% MDEA, and 30% MDEA. Although it is proven with increasing concentration and circulation rate, the loss of Hydrocarbons will increase. According to the final analysis, between 225 and 250  $m^3/h$  would keep the process in an appropriate status for saving the maximum amount of hydrocarbons. The temperature of the rich amine stream, any ascending concentration of amines increases the temperature of the rich amine stream because the density increases also due to this the capacity of saving energy will increase. The MDEA with 20% and 25% were showing the best result between

the circulation rate of 200 to 250 m<sup>3</sup>/h. For water loss problem-solving, the circulation rate (between 200 and 225 m<sup>3</sup>/h) with possible highest DEA (30-45% DEA) and lowest MDEA (20-30% MDEA) amine concentration was the best choice. In circulation rate of 175 m<sup>3</sup>/h, 20% DEA, and 25% DEA the amount of energy saved was the highest average (60.988 MMBtu/hr). The saved energy consumption per day is approximately equal to 213 MMBtu.

## ACKNOWLEDGEMENT

The work was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

1. Ghanbarabadi, H. & Khoshandam, B. Simulation and comparison of Sulfinol solvent performance with Amine solvents in removing sulfur compounds and acid gases from natural sour gas. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **22**, 415–420 (2015).
2. Manning, F. S. & Thompson, R. E. Monoethanolamine, M.E.A. in *Oilfield Processing of Petroleum: Natural gas 1* 108–109 (PennWell Publishing company, 1991).
3. Al-Lagtah, N. M. A., Al-Habsi, S. & Onaizi, S. A. Optimization and performance improvement of Lekhwair natural gas sweetening plant using Aspen HYSYS. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **26**, 367–381 (2015).
4. Zare, A. H. & Mirzaei, S. Removal of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S using aqueous alkanolamine solutions. *World Acad. Sci. Eng. Technol.* **37**, 194–203 (2009).
5. Nuchitprasittichai, A. & Cremaschi, S. Optimization of CO<sub>2</sub> capture process with aqueous amines using response surface methodology. *Comput. Chem. Eng.* **35**, 1521–1531 (2011).
6. Rinker, E. B., Ashour, S. S. & Sandall, O. C. Absorption of Carbon Dioxide into Aqueous Blends of Diethanolamine and Methyldiethanolamine. *Ind. Eng. Chem. Res.* **39**, 4346–4356 (2000).
7. Otaraku, I. J. & Esemuze, F. O. Simulation of Loading Capacity of MDEA and DEA for Amine-Based CO<sub>2</sub> Removal Using Hysys. *Am. J. Chem. Eng.* **3**, 41–46 (2015).
8. Methane Gas Hydrate: as a Natural Gas Source BT - Methane Gas Hydrate. in (ed. Demirbas, A.) 113–160 (Springer London, 2010). doi:10.1007/978-1-84882-872-8\_4.
9. Abdulrahman, R. K. & Sebastine, I. M. Natural gas sweetening process simulation and optimization: A case study of Khurmala fi eld in Iraqi Kurdistan region. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **14**, 116–120 (2013).
10. AspenTech. Aspen HYSYS V8 Manual. (2015).
11. AspenTech. Aspen HYSYS - Operations Guide. (2004).

Adamik P.<sup>1</sup> – Börösök Z.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Innovation Center, University of Sopron, 9400 Sopron, 4. Bajcsy-Zs. str.*

## MEASUREMENT OF HEAT LOSS IN STEAMING KILN AND POSSIBILITY TO RECYCLING

### ABSTRACT

The steaming of wood has a large energy demand. The reduction of energy consumption can decrease the costs and the environmental pollution.

Steaming of wood takes place in practice in steaming chambers. The heat loss of the chamber's wall can be measured with heat flow sensor. The sensors were fixed in different position on the wall and the foundation of the kiln. The foundation made of concrete and the walls is sandwich-structured composite with PUR and aluminum sandwich panel. Heat flow was measured  $71.3 \text{ W/m}^2$  and  $415.5 \text{ W/m}^2$  in average on the wall and the foundation respectively.

The energy loss of the chamber was calculated by means of a WinWatt technical building energy model program. The rate of heat loss varies by 40% as a function of insulation and the outside temperature, where 20 cm of thermal insulation and 20°C temperature difference was calculated.

The possibility of using a heat exchanger to reduce the waste energy was studied also.

**Keywords:** steaming, energy consumption, steaming chamber insulation

### INTRODUCTION

Steaming is most often used to change the unfavorable properties and color of wood (Majka and Olek 2007; Tolvaj et al. 2006, 2009; Taghiyari et al. 2011; Barański et al. 2017). Beside aesthetical result the steaming can decrease the shrinkage and dwelling of the wood as the effect of moisture change. On the steaming process the wood is warmed up in hot steam and keep in high temperature around 100°C for 24 to 48 hours pending on the desired strength of steaming. Consequently, steaming has a large energy demand, which means specific high cost. The amount of energy used for steaming is influenced by several of factors: time of schedule, lumber's thickness, species of wood, outside temperature, type of steaming, and the condition of chamber (Németh et al. 2013). Energy amount can be separated to three main part, 1) warming up the wood and the chamber; 2) causing thermochemical changes in the wood structure in cell wall level; 3) heat loss. The ratio between this three main part is important from the aspects of energy efficiency.

The used energy is mainly thermal energy, which results high amount of CO<sub>2</sub> emissions. On the other hand, the transportation loss of steam in the pipe usually high, because of the high temperature difference of steam and the ambient. That is why it is desirable the reduction of specific energy consumption of steaming. Therefore the reduction of energy consumption can decrease the costs and the environmental pollution.

The energy used for warming up the wood and the chamber and changing the cell structure is needed for having the result it cannot decreased. The heat loss of the chamber can



be significant and would be advantageous to decrease as low as possible. This is the energy amount which disappear in the environment without any useful effect.

In this study was examined the heat loss of an industrially used steaming chamber and was seeking the possibilities of heat loss reduction.

## MATERIAL AND METHODS

The chosen steaming chamber located in the saw mill in a forest company in the mount of Bakony in Hungary. The chamber is used for thermal modification of mostly beech wood. The capacity of the chamber is twelve cubic meter, the heating fuel is overheated steam produced in a high capacity furnace. The fuel of the furnace is mostly the waste materials of the saw mill.

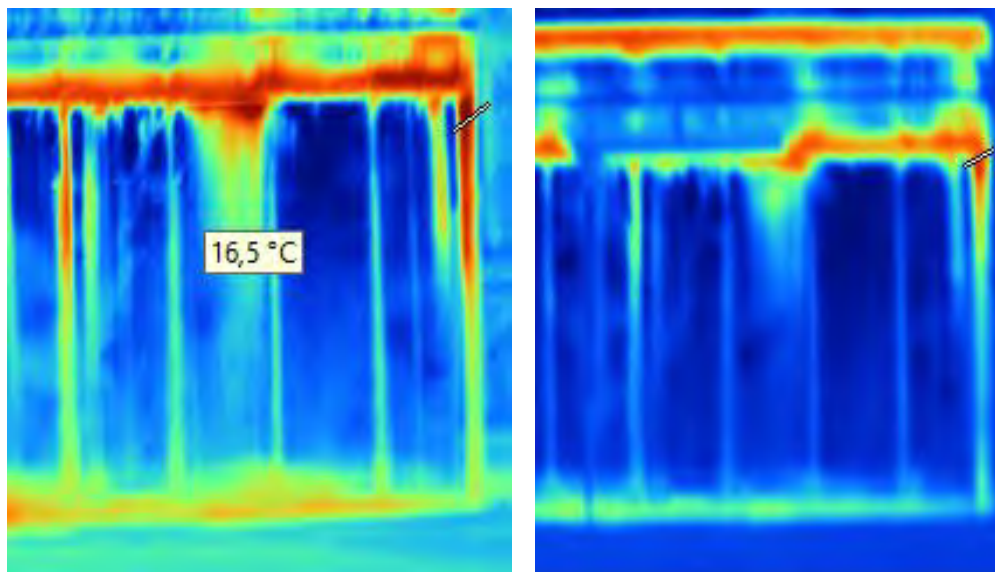
During the tests, measurements were performed on steam chamber. Fluke TiR3FT infrared camera with the resolution of 0.1 Celsius, Ahlborn Almemo 2590 data collecting, thermal flux sensor, calibrated temperature sensor was used for thermo vision and thermal flux measurement. During the measurement wasn't any significant wind and air temperature change. Background temperature was set to the measured air temperature and the emission value of the surface was set 0.25 which fits to the dirty rough aluminum surface. The thermal imager was verified by tactile thermometer. The photos were analyzed by the Smart View software. For measuring heat flow flux meter was fixed on the surface of the chamber in different places. Inner and outer air temperature were also measured. The measurement points were selected to be far away from the corners and inlet points.

Based on the measurement results, a virtual model of the chamber was built with WinWatt software, and the effect of ambient temperature and insulation thickness on thermal conductivity was calculated.

In addition, the use of heat recovery devices has been proposed.

## RESULTS

The large heat losses determined with the help of thermal images were solved with seals and insulations (Fig.1).



*Figure 1*

**Chamber door's temperature before and after the change of seal**



The measured average heat flow can be seen in the Table 1.

*Table 1*

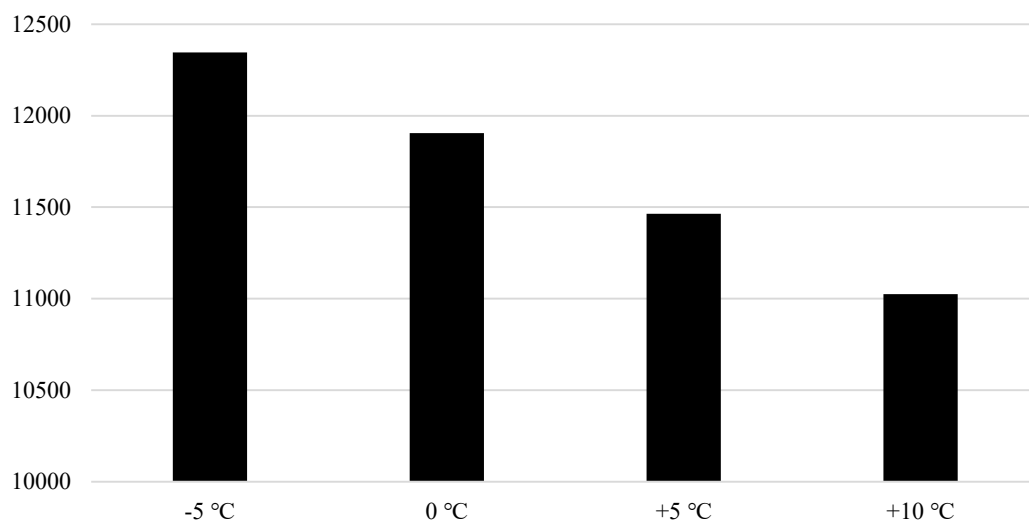
**Measured heat flux in different point of chamber. The point 1 and 2 is on the PUR panel**

| Surface                               | Measuring point 1 | Measuring point 2 | Concrete foundation |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Average heat flux [W/m <sup>2</sup> ] | 69.7              | 72.3              | 415.5               |

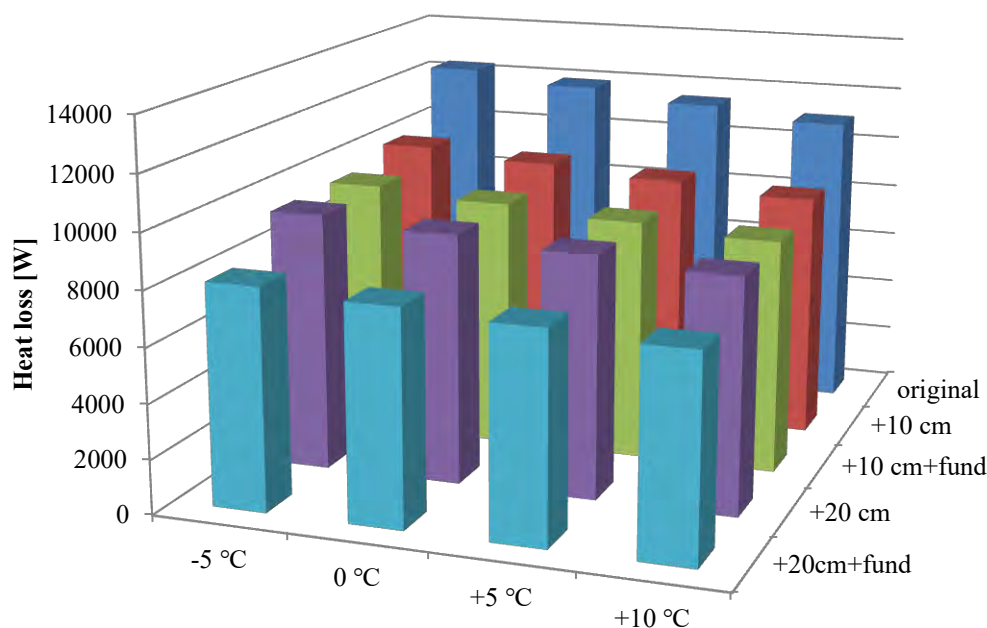
Based on the model of the chamber, 15°C increase of the outer temperature reduce the heat waste about 10% (Fig. 2).

The theoretical insulation of the chamber induced a decreasing heat loss (Fig. 3). The degree of thermal insulation is more important at lower temperatures: at -5°C even the weakest insulation caused an 18% loss reduction, while the double insulation and the separate insulation of the fundation almost doubled this (34%). The difference between the weakest and strongest insulation calculated in percentage point was hardly affected by temperature: it was reduced from 15.7 to 13.4. At higher outdoor temperatures, the reduction in heat loss was greater, reaching 40% with the best thermal insulation. With the best insulation, the outside temperature had little effect on the rate of reduction in heat loss (34.5 to 40%).

Increasing levels of insulation also come with increasing costs. The optimal insulation thickness can be determined by cost and environmental load analysis for the entire life of the chamber, which is the task of the future.



**Figure 2**  
**Heat waste [W] during 1 hour with increasing outer temperature**



**Figure 3**  
Heat loss as a function of insulation and outside temperature

A further reduction in the energy consumption can be achieved by recycling the heat leaving the chamber in a controlled manner. According to measurements, through the overpressure outlet the air flow is 84.75 m<sup>3</sup>/h at 92°C. The exhaust hot air could be used to preheat the water supply to the system via a heat exchanger or possibly with the help of phase change materials the thermal energy can be accumulated and used in other applications. The modeling of the rebuilt system is the task of the future, with which we hope that further significant energy savings can be achieved.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

1. **Barański, J., Klement, I., Vikovská, T., Konopka, A.:** „High temperature drying process of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) with different zones of sapwood and red false heartwood”, BioResources 2017, 12(1), 1861-1870.
2. **Majka, J., Olek, W.:** „Effects of european beech (*Fagus sylvatica* L.) wood steaming on sorption properties and klin-drying intensity”. Folia Forestalia Apolonica 2007, 38, 55-65.
3. **Németh, R., Ott, Á., Takáts, P., Bak, M.:** „The effect of moisture content and drying temperature on the colour of two poplars and robinia wood”. BioResources 2013, 8(2)2074-2083.

4. **Taghiyari, H. R., Talaei, A., Karimi, A.:** (2011) „A correlation between the gas and liquid permeabilites of beech wood heat-treated in hot water and steam mediums”. Maderas: Ciencia y Tecnologia 2011, 13(3), 329-336.
5. **Tolvaj, L., Molnár, S., Takáts, P., Németh, R.:** „A bükk (*Fagus silvatica* L.) faanyag fehér- és színes gesztje színének változása a gőzölési idő és a hőmérséklet függvényében”. Faipar 2006, 54(2), 3-4.
6. **Tolvaj, L., Németh, R., Varga, D., Molnár, S.:** „Colour homogenisation of beech wood by steam treatment” Drewno 2009, 52, 181

## LI-ION AKKUMULÁTOR BIOSZOLUBILIZÁLÁSÁNAK VIZSGÁLATA A. FERROOXIDANS ÉS A. FERRIDURANS BAKTÉRIUMMAL

### Absztrakt

A jelen korunkra jellemző gyorsütemű technológiai fejlődés az akkumulátor ipart is érinti. Az újratölthető Li-ion akkumulátorok piaca világszerte növekszik, ennek megfelelően a hasznosítandó begyűjtött elhasznált akkumulátorok mennyisége is jelentős és folyamatosan növekszik. Kutatásunk célja a Li-ion akkumulátor-hulladék komplex hasznosíthatóságának vizsgálata, mely kutatás jelenlegi fázisában a mobiltelefonból származó, mechanikai úton előkészített, csaknem kizárólag a katód és anód anyagát tartalmazó 0,5mm alatti szemcsefrakció bioszolubilizálásának kísérleti vizsgálatát végeztük el. A vizsgált frakció Li tartalma az 5%-ot, míg a Co tartalma a 25%-ot közelíti, emellett az Al, Cu, Mn, Mo, Ge, Sn és Ti tartalma is visszanyerendő. Ezen fémek kioldási vizsgálatait kétfajta autotróf acidofil mikroorganizmussal: *Acidithiobacillus ferrooxidans*-szal és *Acidithiobacillus ferridurans*-szal végeztük. A két baktérium azonos nemzetséghez tartozik, kemoautotróf, mezofil, savkedvelő mikroorganizmusok, amelyek kultiválását Silverman-Lundgren-féle 9 komponensű tápoldatban végeztük, majd a kísérleteket 2,5 pH érték mellett, szobahőmérsékleten, állandó keveréssel, különböző szilárd/oldószer aránnyal hajtottuk végre. A folyadékfázis ICP analitikai elemzése alapján megállapítható volt, hogy a baktériumok előzetes adaptálása nélkül a Li-ion akkumulátorból 5g szilárd/1000 mL oldószer arány felett már hátráltatott a fémek kioldása, ezzel egy időben, az ugyanezen sz/o arány mellett végzett steril oldószer ugyanakkor bizonyos fémek esetében egyértelműen kisebb hatékonyságú.

### 1. BEVEZETÉS

A lítium-ion akkumulátorok használata széleskörben elterjedt napjainkban a mindennapi, főleg hordozható elektronikai eszközeinkben az előnyös tulajdonságaik miatt. A közeljövőben további növekedésük várható az elektromos és hibrid autók nagyobb volumenű elterjedésének köszönhetően. Ezen okból kifolyólag 2016 és 2018 között a lítium piaci ára 3-, míg a kobalté 4-szeresére nőtt, ezzel érdekeltté téve a hulladék szektort az újrahasznosítási kapacitások növelésére. Míg az elhasznált autó akkumulátorok begyűjtése viszonylag jól szerveződik, a kisebb méretű eszközökből származó elemek begyűjtése terén jelenleg még komoly elmaradások vannak.

Az 1. ábrán szereplő Eurostat Magyarországra vonatkozó akkumulátor eladási és begyűjtési adatai alapján látjuk, hogy mind az értékesített, mind a begyűjtött mennyiség alapvetően növekvő tendenciát mutat, ám a begyűjtött mennyiség 2018-ban még csak a 46%-ot érte el.

A lítium-ion akkumulátorokban tipikusan az anód grafitból, míg a katód lítium-fém oxidból áll. Az első generációs akkumulátorok, amelyeket a hordozható elektronikai eszközökben alkalmaznak, lítium-kobalt oxidot tartalmaznak (LCO).



1. ábra

Magyarországon értékesített és begyűjtött akkumulátor mennyisége az Eurostat adatai alapján

A mobiltelefonokból származó elhasznált lítium-akkumulátorokból többen is vizsgálták a lítium és a kobalt kioldását ásványi savakkal. Manis és társai 2013-as tanulmányukban beszámoltak arról, hogy 2M-os  $H_2SO_4$ -at használtak  $H_2O_2$  jelenlétében sikerrel, ezáltal 99,1%-os lítium és 70%-os kobalt kihozatalt értek el  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, 5 %-os hidrogén peroxid jelenlétében 1 óra alatt (Manis, K. J., et al. 2013). A hagyományosnak mondható piro -és hidrometallurgiai módszerek mellett a „green process” vagyis a „zöld”, környezetbarát megoldások irányába is széleskörű kutatómunka indult. Bár az ásványi savak általában hatékonyabbnak bizonyulnak a szerves savakkal szemben (Aaltonen, M. et al., 2017), a fémkihozatal ez utóbbi esetén növelhető, például, biomassza hozzáadásával, ugyanis egyes növényi összetevők (használt tea levelek, amerikai karmazsinbogyó) redukálószerként fokozzák az oldási hatékonyságot citromsav alkalmazásakor, így 96-99%-os kobalt és lítium kihozatal is elérhető (Chen, X. et al., 2015). Az utóbbi évtizedben megnövekedett emellett az olyan kutatómunkák száma is, amely a különböző elektromos és elektronikai hulladékok bioszolubilizálásának vizsgálatát tűzte ki célul. Laptopokból származó akkumulátor kézzel szeparált katód anyagán kevert *A. ferrooxidans* és *A. thiooxidans* baktériummal végzett kísérletek eredményeképpen 80%-os lítium és 67%-os kobalt kihozatalt értek el. A baktériumokat előzetesen 4 hétig adaptálták a katód porhoz, a kísérlet 35 napig tartott, de az oldatok fémtartalma 20 nap után már nem változott számottevően (Marcincáková, R., et al., 2016). A bioszolubilizálás legnagyobb hátránya jelenleg éppen ez a hosszú tartózkodási idő, mely csökkentésének lehetőségét mutatja be az a tanulmány, mely szerint adaptált, mérsékelt termofil mikroorganizmusokból álló konzorcium, nevezetesen *Acidithiobacillus caldus*, *Leptospirillum ferriphilum*, *Sulphobacillus spp.* és *Ferroplasma spp.* hatékonyságát vizsgálták laptopokból származó Li-ion akkumulátor elektród anyagának oldása kapcsán. A tápoldat az általunk is alkalmazott Silverman-Lundgren 9K volt, 10 g/L elemi kénnel kiegészítve. A  $45^{\circ}\text{C}$ -on végzett kísérletek eredményeképpen 2 nap után elérték a 99,9%-os kobalt, 99,7 %-os nikkel és 84%-os lítium kioldást. Érdekes eredménye a kutatásnak, hogy a

tápanyaghoz alkalmazott  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  tápanyag helyettesíthetőnek bizonyult az akkumulátor borításából származó vas-hulladékkal, ez esetben azonban a szükséges tartózkodási idő 10 napra nőtt (Ghassa, S. et al., 2020).

## 2. KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEK

### 2.1 Mintaanyag előkészítése és tulajdonságai

A kísérleteinkben felhasznált mobiltelefonokból származó Li-ion akkumulátor-minta a Metal Shredder Hungary Kft.-től érkezett. Mechanikai előkészítése során az első lépés az akkumulátorok kisütése volt, ez 24 órán át tartó, 10 m/m%-os NaCl oldatba merítéssel történt. Ezt követően a feltárás kalapácsos törővel történt, majd a 0,5 mm alatti szemcsefrakció leválasztásra került száraz szitálással. Ez a frakció 46,9%-át tette ki a teljes anyagmennyiségnek, és a korábbi vizsgálatok szerint ez a frakció tartalmazza a katódot ( $\text{LiCoO}_2$ ) és az anódot (grafit) anyagát (Orosz, K. A. et al. 2019). A bioszolubilizálási kísérletekhez vett minta analitikai vizsgálatát Varian Inc. gyártmányú, axiális plazmafigyelésű, szimultán multieleemes ICP spektrométerrel végezték, megfelelő savas roncsolásos feltárását követően. A bemért főbb fémek alkotókat az alábbi, 1. táblázat tartalmazza. Látható, hogy a mintában 25,24% a kobalt és 3,54% a lítium mennyisége, az egyéb fémeké nem jelentős, ez is mutatja a mechanikai előkészítés hatékonyságát. Az oldás értékelése során a kihozatal számításokat ezen értékekre vonatkoztatva végeztük el.

1. táblázat

Bioszolubilizálási kísérletekbe bevont Li-ion akkumulátor minta főbb fémek összetevői

|                   | m/m (%) |       |       |      |       |       |       |       |
|-------------------|---------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Minta             | Al      | Co    | Cu    | Li   | Mn    | Ni    | Sn    | Ti    |
| Li-ion<br>x<0,5mm | 0,415   | 25,24 | 0,142 | 3,54 | 0,643 | 0,619 | 0,018 | 0,036 |

### 2.2 Alkalmazott mikroorganizmusok és kísérleti körülmények

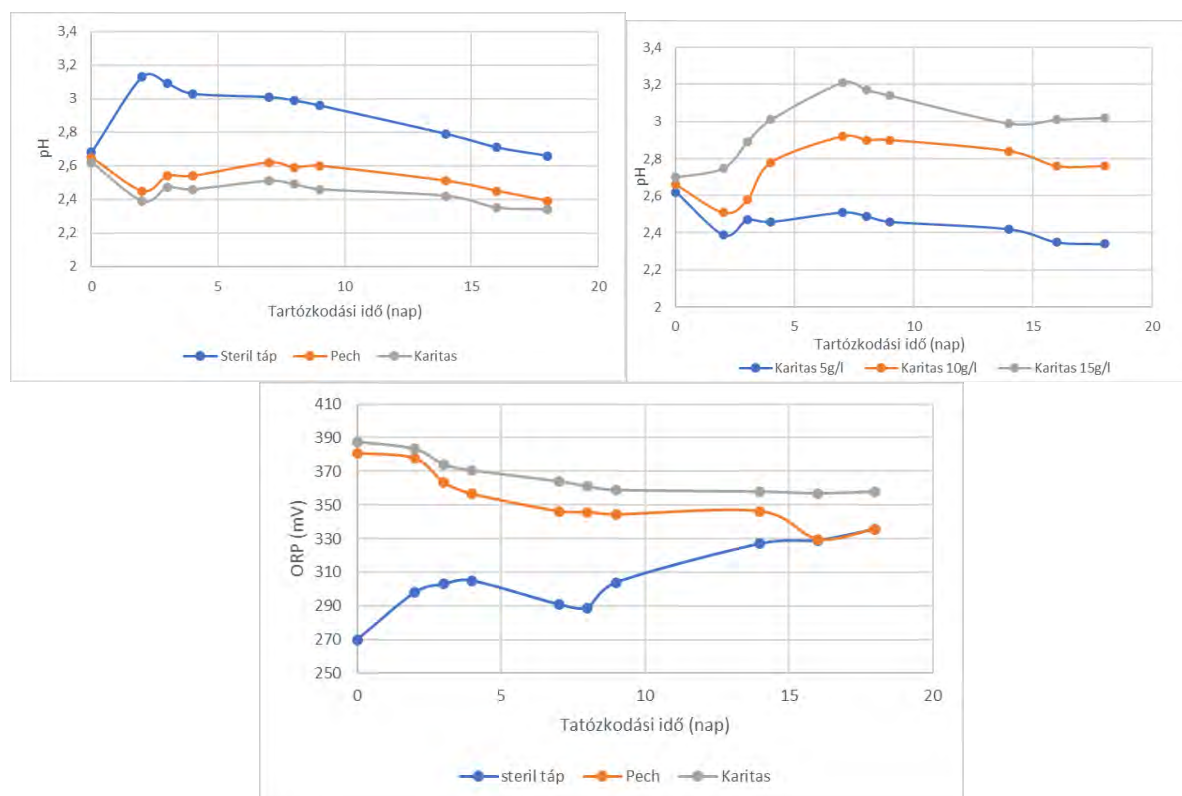
A bioszolubilizálás során kétféle *Acidithiobacillus* baktériumot alkalmaztunk. Az egyik az *Acidithiobacillus ferrooxidans*, amely a  $\text{Fe}^{2+}$ -t oxidálja  $\text{Fe}^{3+}$ -á, emellett a kénvegyületekből ( $\text{S}^0$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  vagy polyszulfidok) kénsavat termel. Az optimális pH tartománya 1,5-2,0. A rendelkezésünkre álló baktériumtenyészetet Pech néven azonosítjuk a későbbiekben, amely név a szlovákiai izolálási helyére utal. Ugyancsak szlovák eredetű, de más helyről izolált a másik baktériumunk is, a *Acidithiobacillus ferridurans*, amelynek hasonló jellemzői vannak, azonban ez a  $\text{Fe}^{2+}$  mellett a  $\text{S}^0$ -t,  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ -t, illetve hidrogént is képes felhasználni elektrondonorként (Hedrich és Johnson, 2013). Ez a baktérium az izolálási helyéről a Karitas nevet kapta. A kísérleteket 250mL térfogatú Erlenmeyer lombikokban, Wise Cube típusú rázógépekben, állandó keverés és szabályozott 28°C hőmérséklet mellett végeztük, 21 napos tartózkodási idővel. Oldószerként 9K tápoldatban kultivált, bekeverésekor exponenciális növekedési fázis végén lévő, jellemzően  $10^7$  sejt/mL értékű baktériumos oldat szolgált. A kultiválást statikus körülmények között, kénsavval beállított 2,5pH értéken végeztük, korábbi tapasztalataink alapján ugyanis ez a pH érték elegendően alacsony. A vizsgált sz/o (szilárd/oldószer) arányok: 5, 10 és 15 g/1000mL. Steril tápoldattal is végeztünk oldási kísérletet az összehasonlítás érdekében, 5g/1000mL szilárd/oldószer arány mellett. A kísérlet során a pH és ORP változást Hach multiméterrel, Intelicall pH és redox elektródokkal

ellenőriztük, majd a tartózkodási időt követően a szűrt oldatokat a fent említett ICP elemzésre küldtük.

### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1 pH-ORP változás

Az alábbi, 2. ábrán látható a bioszolubilizálási kísérletek során mért pH és ORP értékek változása. A bal felső ábrán azonos szilárd koncentráció mellett végzett kísérletek esetén látható a pH alakulása. Egyértelműen látszik a steril és a baktériumtartalmú reaktorok közötti különbség, és bár lefutásában a görbék megegyeznek, van eltérés a két baktérium között is, a Karitas (ferridurans) alacsonyabb pH értéket mutat, csakúgy, mint a korábbi, más elektronikai hulladékkal végzett kísérleteink esetében (Mádai, Ü. V. és Bokányi, L., 2020). Az alacsonyabb pH érték is előrevetíti a jobb kioldási hatékonyságot. A jobb oldali ábra a sikeresebb baktériummal, különböző szilárd/oldószer arány mellett végzett kísérletek pH változását mutatja. Látható, hogy az 5g/L-es sz/o arányt még jól tolerálja a baktérium, a pH a kezdeti növekedést követően stagnál, majd csökkenni kezd. Ez a csökkenés lassabban és kisebb ütemben következik be, mint általunk vizsgált más elektronikai hulladékok esetén. A magasabb sz/o aránynál, bár 10. napot követően megindul a pH csökkenése, különösen a 15g/L esetén láthatóan 3 pH értéken stabilizálódik. A baktériumot tartalmazó reaktorokban a kiindulási ORP értékek 100 mV-tal nagyobbak, mint a steril kísérletben. Az ORP és a  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  arány között szoros összefüggés van a Nernst egyenlet szerint. Általánosságban elmondható, hogy amennyiben a  $\text{Fe}^{2+}$  koncentráció magas, az ORP értéke alacsony. Eszerint, ahogy a  $\text{Fe}^{2+}$  fogyni kezd, az ORP értékének nőni kellene. A baktériumos kísérletekben azonban nem tapasztaltuk ezt a jelenséget. Erre a későbbiekben keressük a magyarázatot.

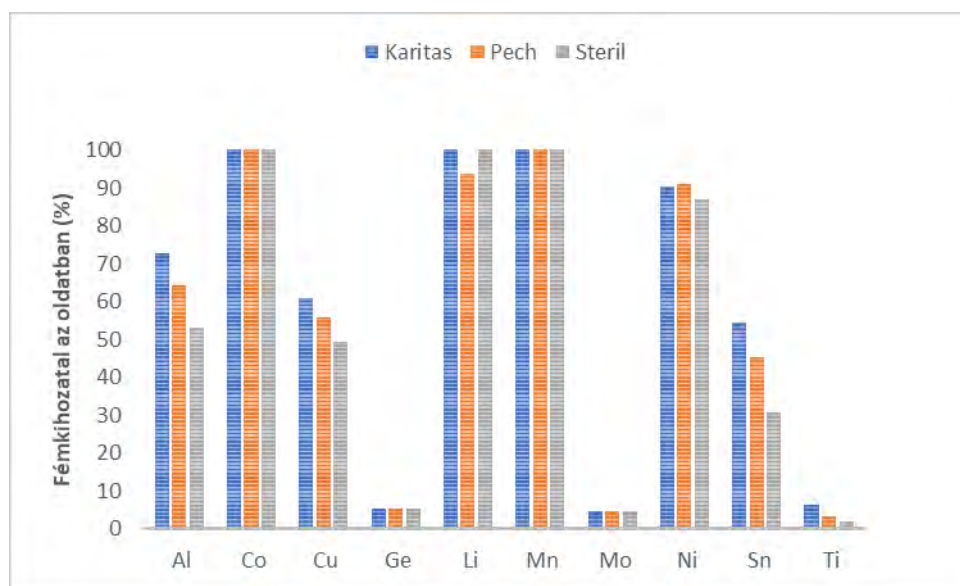


2. ábra.

*pH változása (5g/L-es kísérletek, Karitas baktériummal különböző szilárd koncentráció mellett) és ORP (redoxpotenciál) változása az 5g/L-es kísérletek során idő függvényében*

### 3.2 Fémkihozatali értékek

A 3. ábrán az alkalmazott legkisebb szilárdtartalom mellett láthatóak a fémkihozatali értékek. A szilárd anyagból vett minta, valamint az oldatok analízise alapján számolt kihozatali értékek szerint az 5g/1000ml sz/o arány mellett a steril és a baktériumos oldat is hatékonyan bizonyult a Co és a Mn kioldására. Már ennél a szilárd koncentrációnál is egyértelműen látszik, hogy a Pech (ferrooxidans) baktérium a lítiumra nézve kevésbé sikeres, mint a Karitas (ferridurans). Az alumínium, a réz, a nikkel, az ón és a titán esetén egyértelműen jobb a baktériumos oldás hatékonysága, mint a steril oldószeré.



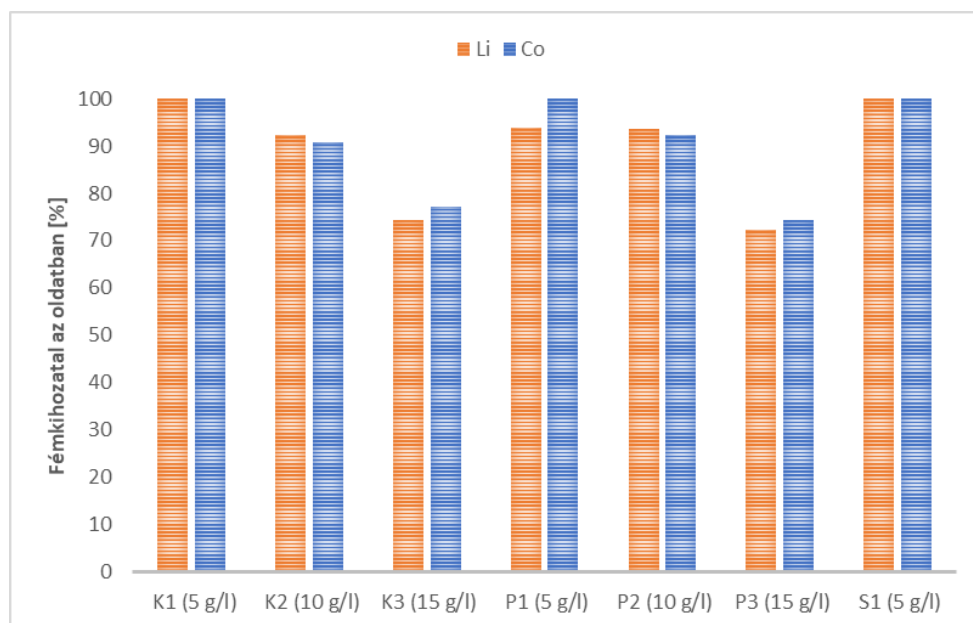
3. ábra.

*A bio-oldás és a kémiai (steril) oldási kísérlet eredményeinek összehasonlítása 5g/L-es szilárd /oldószer arány esetén*

Amennyiben megnöveltük a szilárd anyag mennyiségét az oldatban, a Li és a Co esetében is már hátráltatott volt az oldás. Érdekes azonban, hogy magasabb szilárd tartalom mellett már nincs jelentős különbség a két baktérium oldásra gyakorolt hatása között, sem a lítium esetében, sem a közönséges fémek vonatkozásában, közel azonos, 90% körüli értékek adódtak 10, és 75% körüli értékek 15g/L-es sz/o arány mellett.

Az ón és a titán kivételt képeznek, ezeknél a Pech baktériumos kísérletekben gyengébb eredmények születtek a szilárd tartalom növelésekor, mint a Karitas esetén, azonos körülmények között. Megjegyzendő, hogy ezek a fémek eleve nagyon kis mennyiségben vannak jelen a szilárd mintában.





4. ábra.

*Li és Co fémkihozatal értékek az oldatban a Karitas (K1-K3), a Pech (P1-P3) és a steril (S1) kísérletekben*

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A háromhetes bioszolubilizációs kísérlet során a fémkihozatali értékek az 5 g/L-es koncentráció mellett az *Acidithiobacillus ferridurans* esetén voltak jobbak, ahol teljes Li és Co kioldás valósult meg. Az *Acidithiobacillus ferrooxidans* esetén a Li kihozatal az oldatban alacsonyabb volt, 93,74%. A 10 g/L-es mintákban nem volt ennyire szignifikáns az eltérés a két mikroorganizmus között, valamelyest hátráltatott volt a kioldás mindkét esetben. A *ferrooxidans* esetén 93,51% Li és 92,42% Co, még a *ferridurans* esetén 92,18% Li és 90,81% Co kihozatal volt kinyerhető az oldatban. A 15 g/L-es mintákban a kihozatali értékek a *ferrooxidans* esetén 72,37% Li és 74,41% Co, még a *ferridurans* esetén 74,41% Li és 77,14% Co. A baktériumot nem tartalmazó tápoldat, mint oldószer egyes fémek esetén éppolyan hatékonynak bizonyult, mint a bio-oldat, az Al, Cu, Ni, Sn és Ti esetében azonban egyértelműen kisebb hatékonyságot mutattunk ki.

Összefoglalva az *Acidithiobacillus ferrooxidans* és *ferridurans* alkalmas a  $\text{LiCoO}_2$  alapú Li-ion akkumulátorokból való fémkinyerésre. Megállapítható azonban, hogy már a technológiai-gazdasági szempontból még nagyon kedvezőtlen 15 g/L-es szilárd/oldószer arány esetén is jelentősen romlott a kihozatali érték a kisebb szilárd/oldószer arányokhoz képest. Magasabb koncentrációban és ipari méretekben való alkalmazásnál tehát szükséges további kísérletek végzése, mint például a mikroorganizmusok szaporodásának vizsgálata az akkumulátor- apríték hozzáadása mellett on-line sejtmonitoring módszerével a toxikus határkoncentráció meghatározására, illetve adaptálási kísérletek lefolytatása. Az adaptált mikroorganizmusokkal végzett kísérletek esetén várhatóan nagyobb szilárd/oldószer arány mellett is sikeres kioldás valósulhat meg.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## HIVATKOZÁSOK

Aaltonen, M., Peng, C., Wilson, B. P., Lundström, M.: Leaching of metals from spent lithium-ion batteries, *Recycling* 2017, 2(4), 20

Chen, X., Luo, C., Zhang, J., Kong, J., Zhou, T: Sustainable recovery of metals from spent Lithium-ion batteries: A green process, *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2015, 3, 12, 3104-3113

Ghassa, S., Farzanegan, A., Gharabaghi, M., Abdollahi, H.: Novel bioleaching of waste lithium ion batteries by mixed moderate thermophilic microorganisms, using iron scrap as energy source and reducing agent, *Hydrometallurgy* 2020, 197, 105465

Hedrich, S., Johnson, D.B.: *Acidithiobacillus ferridurans* sp. nov., an acidophilic iron-, sulfur- and hydrogen-metabolizing chemolithotrophic gammaproteobacterium, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2013, 63, 4018–4025

Manis, K.J., Anjan, K., Amrita, K.J., Vinay, K., Jhumki, H., Banshi, D. P. : Recovery of lithium and cobalt from waste lithium ion batteries of mobile phone, *Elsevier, Waste Management* 2013, 33 1890-1898

Marcincáková, R., Kaduková, J., Mrazíková, A., Velgosová, O., Luptáková, A., Ubaldini, S.: Metal Bioleaching from spent lithium-ion batteries using acidophilic bacterial strains, *Inżynieria Mineralna, Styczen-Czerwiec*, 2016, January, *Journal of Polish Mineral Engineering Society*, 117-120

Mádainé, Ü. V., Bokányi, L.: Fémek kinyerése elektronikai hulladékokból bioszolubilizációval, *Bányászati és Kohászati Lapok, Kohászat* 153. évfolyam, 4. szám, 2020, 35-41

Orosz, K. A., Romenda, R.R., Mádainé, Ü. V. and Nagy, S.: Mobiltelefonokból származó lítium-ion akkumulátorok felépítésének és apríthatóságának vizsgálata, III. RING – Fenntartható nyersanyag-gazdálkodás - konferenciakötet, 2019, 203–209.

Beatrix, Varga – Kitti, Fodor

*Institute of Economic Theory and Methodology*

## **ECONOMIC STRENGTH – CRITICAL RAW MATERIAL STOCK**

### **ABSTRACT**

The history of mankind and the use of mineral resources are closely linked. We can associate with each historical period raw materials that are necessary for the development of that period. Ages go, raw materials come. Throughout the history of mankind, we have witnessed the rise and disappearance of raw materials. In this paper our aim is to discover which raw materials were of strategic importance in each historical period, in other words, which were the critical raw materials for the economic development of those periods.

### **STRATEGIC RAW MATERIALS OF PREHISTORIC TIMES**

Even the prehistoric age is divided according to the raw materials used. By the Stone Age, Homo sapiens was already using many types of stone tools. Obsidian and flint were strategically the most important raw materials during this period, because they were easy cracked and made into arrowheads, which were essential for getting food.

In the Iron Age metal production is associated with the use of ores that appear on the surface. The use of different metals became possible only when fire could be harnessed for forging. Within the Iron Age we distinguish between the copper, bronze and iron age.

5000 years ago, copper was the first raw material for the production of metal tools. The caveman came upon moldable "stone" while making stone tools. Copper was used not only for making tools, jewellery and ornaments, but also for payment after the development of trade.

With the development of alloying technology, around 4000 B.C., we reach the Bronze Age. Bronze is an alloy of copper and tin and is harder than copper.

The appearance of iron marks the end of prehistoric times, when iron was extracted from iron ore using melting furnaces. Iron tools and weapons were more durable than their copper or bronze counterparts. During this period, the use of gold and silver as jewellery appears.

## STRATEGIC RAW MATERIALS OF ANCIENT AND MEDIEVAL TIMES

Let's start the list of minerals from ancient times with halite. Salt was an essential raw material in ancient times for the preservation of food, and accordingly it was very expensive. Salt was a common currency in ancient times, but also in the Middle Ages. It retained its strong strategic role for centuries. At the end of the 8th century in the Chinese Empire, more than half of the government revenue came from the salt tax. One of France's most hated taxes was the gabelle, introduced in 1286, and only permanently removed from the tax list in 1945. In ancient and medieval times, many cities became rich from the salt trade. Salt played a huge role in the rise of medieval Venice. Because of the huge profits from salt mining and trading, it often had a royal or state monopoly.

In ancient times, seven metals enjoyed a key role: lead, gold, silver, iron, mercury, tin, and copper. In ancient states, precious metals were primarily used as money or made into jewellery.

From ancient times and for centuries after that lead was used to glaze clay pots. The floor of the Babylonian Hanging Garden was made from lead to retain moisture. The famous Roman aqueducts consisted of lead pipes. Lead was often used for making jewellery or sarcophagi. From ancient times to the late Middle Ages, lead acetate was used as a sweetener and as an ingredient in cosmetics. In other words, half of the empire was poisoned with lead, and the poisoning of the rich was more intensive. Symptoms of lead poisoning can be observed in several Roman emperors, including Claudius, Caligula and Nero.

The use of mercury has a history of several millennia and was used for various purposes without users being aware of its serious health effects. Mercury became really important in the Roman era, when it began to be used to extract gold. The metal, called liquid silver, was considered a kind of miracle in ancient times. People believed that it help maintain health, and it was used in the preparation of ointments, cosmetics, medicines and also in red paint.

By repeatedly heating and forging iron from the smelting of iron ore, high-quality iron was obtained to make the weapons and chariots of the distinguished warriors. Iron and iron-slag combinations were successfully used to improve Roman roads.

Already in ancient times the strategic raw materials of later days –coal and oil – were used. Coal mining began industrially in England in the 13th century. Coal was used for heating and for the production of high-quality steel, and oil was used as a medicine or insecticide. From the mixture of petroleum and burnt lime came the "Greek fire", one of the most formidable weapons until the invention of gunpowder in 1350.

## **STRATEGIC ELEMENTS OF INDUSTRIAL REVOLUTIONS**

The Classic Industrial Revolution (1750-1850) revolutionized the use of raw materials. In heavy industry, the appearance and spread of steam engines multiplied the required amount of iron and coal. Demand for coal and iron increased due to the rapid construction of railways. Iron and coal mining gaining in importance. Brick was increasingly used in the field of architecture.

During the Second Industrial Revolution (1850-1914) the appearance of new materials brought a qualitative change, for example the using of steel, which displaced the use of less resistant iron. In 1869 Mendeleev published his periodic table of elements. The advancement of the science of chemistry led to a boom in the chemical industry, and Pierre and Marie Curie separated radium and polonium.

During this period Ford's iconic product, the Model T, began production in Detroit, and thanks to József Galamb, it became the world's first "people's car" in a few years. The mass production of the automotive industry required many new materials, such as gasoline, rubber, plastics, batteries and glass.

The construction industry started to use new materials such as glass, iron and reinforced concrete. From the middle of the 19th century iron-frame architecture appeared. At the London World Exhibition in 1851, visitors could first admire the Crystal Palace in London, and then in the 1880s Eiffel built his famous tower in Paris.

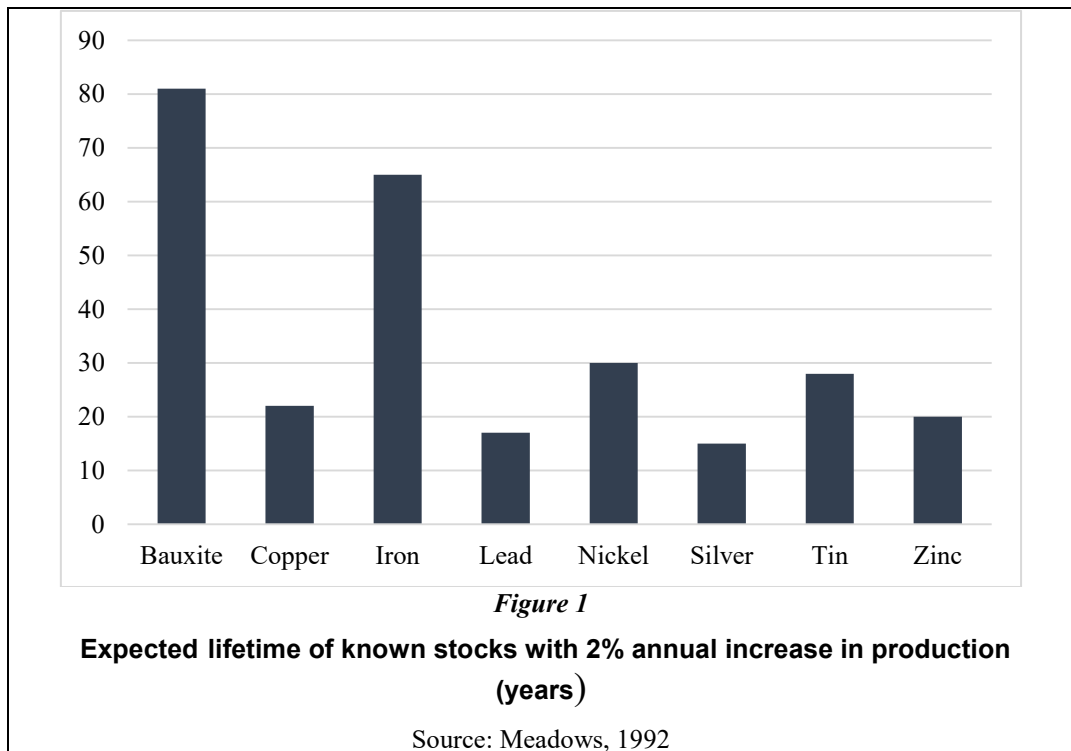
Even at this time, coal was the main source of energy, but by that time the use of crude oil had begun. At the end of 19th century most of the world's oil production was from Baku and from Pennsylvania. As a result, Baku's black gold made the area a strategic target in both world wars. Germans, Turks, Russians and the English competed for control of the area.

As a result of industrial development and colonialism, demand for raw materials which could be abundantly and cheaply produced in Africa, such as copper, tin, rubber and palm oil, increased significantly in Europe, and competing for new colonies in Africa began during this period.

## **CRITICAL RAW MATERIALS IN THE 20TH CENTURY**

The period between the two world wars is extremely important in the history of flight, as it is the period when regular air travel began. After World War II, space exploration began developing more dynamically and soon tourists are moving into space. However, during this period, further changes were made in the field of science and technology. Microelectronics was developing at an ever faster rate, which was necessary for the development and spread of mass communication and telecommunications. All these technical solutions required the use of newer raw materials.

In the 1970s, world models of earth threats emerged, in which separate chapters were devoted to extremely diminishing raw materials. Meadows et al. in their book *The Limits to Growth* (1972) considered the depletion of eight stocks of metal as critical in view of the known world reserves (Figure 1) (László, 1978; Korán, 1980; Meadows, 1992).



Fortunately, these predictions have not materialized up to this point, which may be due to changes in technology and the search for newer stocks.

## CRITICAL RAW MATERIALS IN THE 21ST CENTURY

Today, there is another industrial revolution that we are part of. The "steam engines" of this new revolution are cyber-physical systems and digitalization. Many new information and communication technologies have emerged and are spreading. We have smartphones in our pockets, flat-screen smart TVs in our homes, laptops and computers in our offices. In addition, the use of electric cars and drones is spreading. It is important to note that the history of the electric car began more than 100 years ago, but the real breakthrough was the launch of Tesla's serial production. Furthermore, the increasing use of weather-dependent renewable solar and wind energy generates a huge demand for the storage of the energy produced. New innovations not only change our daily lives, but rewrite

again and again the list of elements to which we attach strategic importance. Countries and organizations have responded to these changes and are monitoring the changes.

In an article by Hegedűs (2014), she addressed the topic of "natural security", describing that in the United States, the Centre for New American Security (CNAS) conducted a study in 2009 concluding that a security branch is needed which focuses primarily on the security of natural resources. These resources include energy sources, soil, drinking water and minerals. Not only CNAS was involved in this topic; the United Nations also produced a study. The UN Millennium Project identified 15 challenges that could generate problems in the future. At the top of the imaginary podium were sustainable development and climate change, followed by clean water and then sources of raw materials. The energy issue was not one of the 10 most important challenges, it was only the 13th (Hegedűs, 2014).

The European Commission has also recognized this change and since 2011 has been paying close attention to the evolution of critical raw materials. The European Commission categorizes raw materials as critical that are of high economic importance and have a high supply risk (Gombkötő & Magyar, 2013; European Commission, 2017).

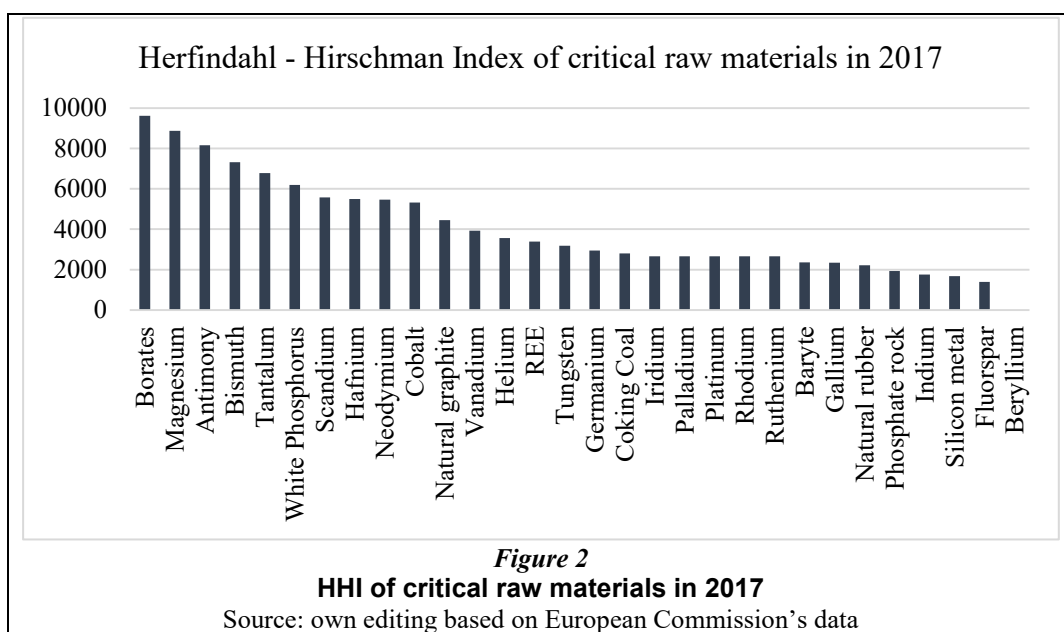
There is no generally accepted, "worldwide" method for identifying critical raw materials, which means that the same raw materials are not necessarily strategically important raw materials for each country. A comparison of the critical raw material list of the United States of America and of the European Commission shows that arsenic, cesium, rubidium, strontium and uranium were not included in the European Commission's survey at all, and that aluminium, chromium, lithium, manganese, potash, rhenium, tellurium, tin, titanium and zirconium are not considered critical by the European Commission, but have been identified by Americans as critical raw materials (European Commission, 2017; USGS, 2018; Gere, 2018).

These raw materials play a key role in today's technology, which is especially true for high-tech electronics and mechanical engineering, since it is difficult to find an element in the periodic table that would not be used in these production areas. For the production they are required only in small quantities, but they have unique properties and special application areas. These factors make their substitution difficult.

We have collected some examples of areas where critical raw materials are used in everyday life. Wind turbines and electric vehicles are becoming increasingly popular these days. Neodymium is a necessary element for these products. It is used in the generators of wind turbines and in the motors of electric vehicles. We use switch buttons several times a day, which would be unthinkable without copper right now. Lithium and cobalt are key components of rechargeable batteries. Tantalum is essential for battery-powered electronics

to keep charging. Tungsten allows the vibration of mobile phones (Major, 2019; Villanyautósok, 2019).

In many cases, these rare raw materials are mined in politically unstable countries, and often these countries have a monopoly or oligopoly in terms of production. For example, the Democratic Republic of the Congo is an important country for cobalt mining. This country was ranked by the Fund for Peace in 2017 as the seventh most stable country in the world. However there is a country, which has a key role in the mining of not only one critical raw material. China controls 90% of the rare earths market, and thanks to that power, it can dictate not only prices but also access to certain raw materials (Hobot, 2017; Horváth, 2017). The *Figure 2* shows the Herfindahl-Hirschman Index of critical raw materials in 2017. In the past years there have been example for this. There was a kind of panic on the world market when China stopped the transport of rare earth metals to Japan due to a diplomatic dispute, and threatened both the EU and America with an embargo (Index, 2011).



## CONCLUSION

The topic of critical raw materials through the ages is a good illustration of the changing world we live in, and it is changing even faster now than in the old days. As the years have passed, technology has evolved, demands have grown, and different raw materials have become strategically important.



To answer the question of what will come in the future is not easy. Countries dependent on importstry to do everything to reduce their import dependency, but they are not in an easy position, because this depends on the opportunities offered by nature. Current conditions indicate that China's power cannot be broken, but exploration of new raw material deposits and development of new technologies may reduce China's importance, so there are encouraging signs. Recent news reports reveal that Serbia has abundant lithium and gold deposits. However, the situation is overshadowed by the fact that there are Chinese mining companies investing in the exploitation of Serbian fields.

Not only new deposits can provide a solution, but also, as we mentioned, new or partially new technologies. For example the newest model of Lamborghini, the Lamborghini Sian, debuted in autumn 2019. This is a hybrid car whose special feature is that energy is stored with capacitors. The capacitors are recharged during braking, and the car is able to drive the electric motor immediately after use the accelerator pedal. But the Sian is not an affordable car for the general market; only 63 of them have been made, as shown by the numbers on the back wing, and its price is more than HUF 1 billion (Lövei, 2019).

We don't know that tomorrow's strategic raw material was used in the production of this car, but we can think.

## ACKNOWLEDGEMENT

The described work was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

1. **CriticEI – Kritikus Elemek project website.**  
<http://kritikuselemek.uni-miskolc.hu/>
2. **CRM Alliance website.**  
<http://criticalrawmaterials.org/>
3. **Elektromos autók: lesz-e elég akkumulátor? (2018)**  
<https://kizamolok.hu/elektromos-autok-lesz-e-eleg-akkumulator/>
4. **European Commission (a):** Methodology for establishing the EU list of critical raw materials (Publications Office of the EU, Luxembourg), 2017  
<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2d43b7e2-66ac-11e7-b2f2-01aa75ed71a1>

5. **European Commission (b):** Study on the review of the list of Critical Raw Materials – Criticality Assessment (Publications Office of the EU, Luxembourg), 2017  
<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08fdab5f-9766-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>
6. **European Commission (c):** Study on the review of the list of Critical Raw Materials – Critical Raw Materials Factsheets (Publications Office of the EU, Luxembourg), 2017  
<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>
7. **European Commission (d):** Study on the review of the list of Critical Raw Materials – Non-critical Raw Materials Factsheets (Publications Office of the EU, Luxembourg), 2017  
<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6f1e28a7-98fb-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>
8. **European Commission (d):** Critical raw materials for the EU – Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials  
<http://www.euromines.org/files/what-we-do/sustainable-development-issues/2010-report-critical-raw-materials-eu.pdf>
9. **European Commission:** Critical Raw Materials  
[https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en)
10. **European Commission:** Why CRMs are Economically important?  
[https://rmis.jrc.ec.europa.eu/?page=why-crms-are-economically-important-1a67ba#\\_ftnref1](https://rmis.jrc.ec.europa.eu/?page=why-crms-are-economically-important-1a67ba#_ftnref1)
11. **Gere, L.:** A Föld stratégiai fontosságú nyersanyagai (19. April 2018)  
[http://www.geopolitika.hu/hu/2018/04/19/a-fold-strategiai-fontossagu-nyersanyagai/#\\_edn8](http://www.geopolitika.hu/hu/2018/04/19/a-fold-strategiai-fontossagu-nyersanyagai/#_edn8)
12. **Gombkötő, I. – Magyar T.:** Mik azok a kritikus nyersanyagok, mi lenne velünk nélkülük?  
[https://matarka.hu/koz/ISSN\\_2062-204X/4\\_evf\\_2\\_sz\\_2013/ISSN\\_2062-204X\\_4\\_evf\\_2\\_sz\\_2013\\_058-078.pdf](https://matarka.hu/koz/ISSN_2062-204X/4_evf_2_sz_2013/ISSN_2062-204X_4_evf_2_sz_2013_058-078.pdf)
13. **Hegedűs, Zs.:** „Natural security” az Amerikai Egyesült Államokban (Nemzet és Biztonság, 2014/4. szám, 22-29. o.)
14. **Hobot P.:** Lassan vége az olajkorszaknak, mostantól a kobaltért, a volfrámért és a héliumért folyik a verseny, 2017  
<https://qubit.hu/2017/11/20/lassan-vege-az-olajkorszaknak-mostantol-a-kobaltert-a-volframert-es-a-heliumert-folyik-a-verseny> [25 Nov 2019]
15. **Horváth Á.:** Kongón múlhat az elektromos autógyártás jövője, 2017:  
[https://index.hu/gazdasag/penzbeszel/2017/08/14/femes\\_jovo/](https://index.hu/gazdasag/penzbeszel/2017/08/14/femes_jovo/) [26 Nov 2019]
16. **Index(2011):** Így tartja markában Kína a hitech ipart (2. August 2011)

[https://index.hu/tudomany/2011/08/02/igy\\_tartja\\_markaban\\_kina\\_a\\_hitech\\_ipart/](https://index.hu/tudomany/2011/08/02/igy_tartja_markaban_kina_a_hitech_ipart/) [05 July 2019]

17. **Imre, K.:** *Világmodellek - A Római Klub jelentéseitől az ENSZ kezdeményezéséig*. Budapest: Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó., 1980
18. **Interior Releases 2018's Final List of 35 Minerals Deemed Critical to U.S. National Security and the Economy** (18 May 2018)  
<https://www.usgs.gov/news/interior-releases-2018-s-final-list-35-minerals-deemed-critical-us-national-security-and> [30 Nov 2019]
19. **Laszlo, E. e. a.:** *Goals for Mankind*. Scarborough: The New American Library of Canada Limited., 1978
20. **Lövei, G.:** Lágý-hibrid rendszerrel jut el a csúcsra a Lamborghini Sián, 2019  
<http://www.automotor.hu/hirek/lagy-hibrid-rendszerrel-jut-el-a-csucs-a-lamborghini-sian/> [04 Jan, 2020]
21. **Major, A.:** Ezek lesznek a jövő legértékesebb nyersanyagai, de van velük egy kis gond (12 July 2019)  
<https://www.portfolio.hu/uzlet/20190712/ezek-lesznek-a-jovo-legertekesebb-nyersanyagai-de-van-veluk-egy-kis-gond-330833>
22. **Meadows, D. H., Meadows, D. L. & Randers, J.,:** *Beyond the Limits*. London: Earthscan publications Limited., 1992
23. **Meadows, D. H. et al.:** *The limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*, New American Library, New York, 1972
24. **Villanyautósok (2019):** 17+1 grafikon a villanyautózás eddigi legnagyobb áttöréséről – 2018-as számok képekben  
<https://villanyautosok.hu/2019/01/25/171-grafikon-a-villanyautozas-eddigi-legnagyo-bb-attoreserol-2018-as-szamok-kepekben/> [22 Nov 2019]

Péter Zs. - Orosz D.

*University of Miskolc, University of Miskolc*

**A JELENLEG PIACON LÉVŐ ILLETVE A JÖVŐBEN PIACI  
BEVEZETÉSRE KERÜLŐ LÍTIUM ALAPÚ AKKUMLÁTOROK  
(VÁRHATO) PIACI ÁRÁNAK VIZSGÁLATA – FŐBB TENDENCIÁK**

**EXAMINATION OF THE (EXPECTED) MARKET PRICE OF LITHIUM-  
BASED BATTERIES CURRENTLY OR IN THE FUTURE ON THE  
MARKET - MAIN TRENDS**

**ABSTRACT**

Current trends show, that lithium-ion batteries are expected to remain the dominant energy storage devices in the near future, but new, conceptually different batteries are expected to appear on the market in medium to long term period. Lithium technology has its own limitations with special regards to complex electrochemical processes, occasionally appear some safety issues, varying lifetimes and efficiencies and hard to recycling these kind of batteries due to diversity. Researchers are constantly looking for opportunities to further develop existing technologies, and also looking for other ways to introduce completely new technologies. Improvements are usually aimed at achieving higher capacities, faster charging and greater reliability, but there are also growing goals related to environmental protection, such as reduced material use compared to capacities, longer service life, or the need to dispose of used batteries.

Firstly, we will examine the lithium-based batteries market are which processes had on effect with regard to price developments, and we will make an attempt to gather expected trends in the battery market based on advanced lithium and other technologies.

**INTRODUCTION**

In the last few years, battery developments have been driven primarily by increased sales of hybrid and electric cars (EVs) and the widespread use of renewable energy sources (RESs), which require increasing energy storage due to as energy is not produced and used at the same time. Lithium-ion batteries often have to operate in fairly harsh conditions, therefore may occur overcharging, operating at extreme temperatures, charging too fast, and short-circuiting, which can lead to damage in more severe cases and even an explosion. Some of the improvements are aimed at eliminating the problems mentioned before and creating battery management systems (BMS) to extend cell life.

## PRICE OF LITHIUM - ION BATTERIES AND NEW TRENDS ON THE MARKET

Lithium-ion batteries are the most common and one of the most efficient energy storage devices worldwide. Over recent years, the large volume production and lots of capital investments into the battery production process made lithium-ion battery packs more cheaper and more efficient. Li-ion battery pack costs are expected to drop to some 135 U.S. dollars per kilowatt hour in 2020. (Figure 1.) By 2025, the global lithium-ion battery market is expected to double in size, reaching about 71 billion U.S. dollars [1].

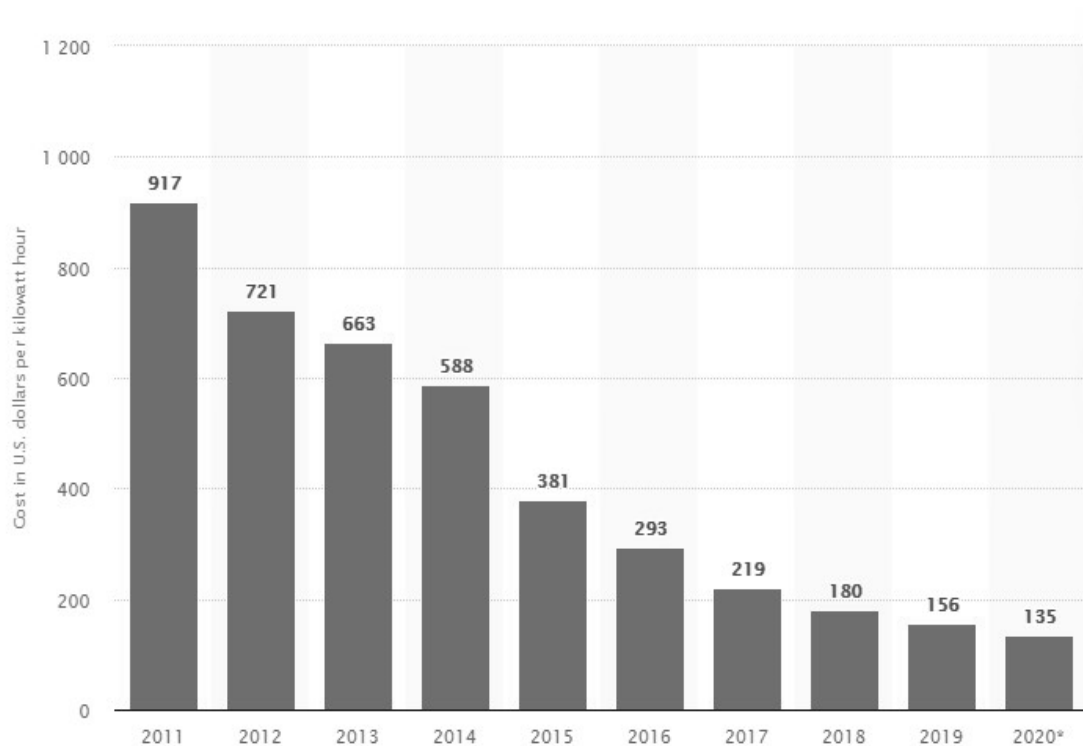


Figure 1: Lithium-ion battery pack costs worldwide between 2011 and 2020(in U.S. dollars per kilowatt hour)

Source: [1]

This demonstrates a big demand for energy storage worldwide and could be attributed to the fact that the world is moving towards a renewable energy-based economy where electric vehicles play an increasingly large role [1].

On Figure 2. we can see the evolution of Li-ion battery price from 1995 to 2019 and the vertical lines show how much time was needed to double the cumulative capacity. The first lithium-ion batteries on the market were released by Sony in 1991. In the early stages of the technology, the capacity of the batteries was doubled in every year, and as the technology will became more advanced, it takes more and more time to double the capacity [2].

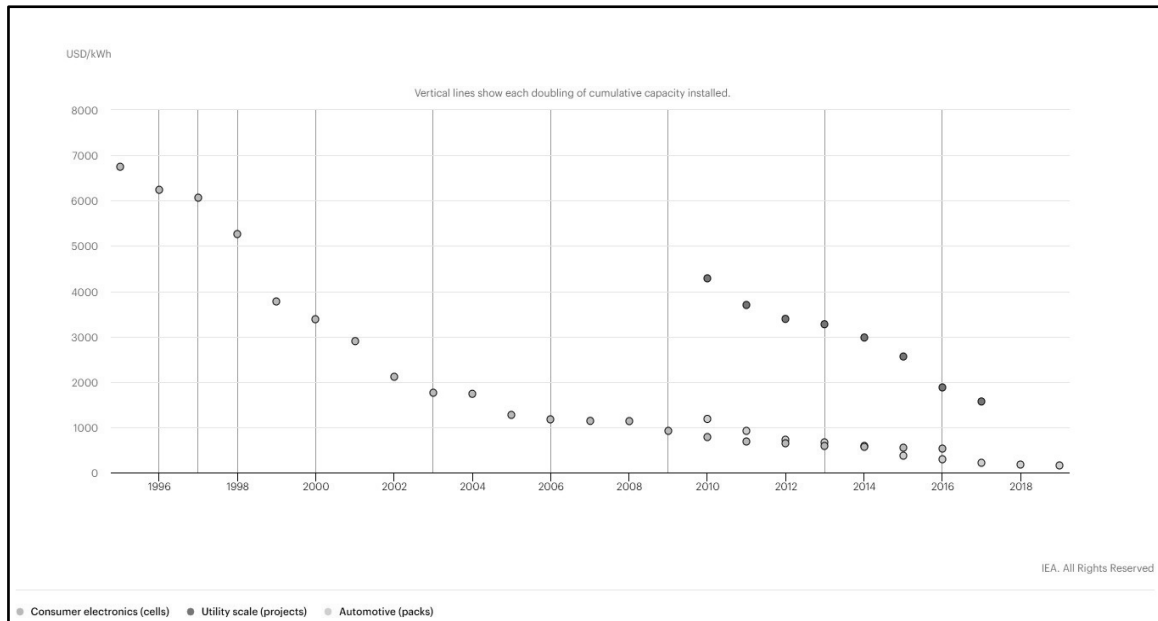


Figure 2.: Evolution of Li-ion battery price, 1995-2019  
Source: [2].

Major changes are expected in the battery market trends, with more and more people supporting the production of **cobalt-free** batteries. Recently cobalt has become an in-demand mineral today thanks to its importance in rechargeable batteries used in electronics and electric vehicle market, but the battery industry developed a big cobalt dependency. Cobalt is a rare raw material that is found in the negatively charged electrode—or cathode—of almost all lithium-ion batteries used today. It's expensive (Figure 3.), heavy, and it has some social problems too. Nearly two-thirds of the world's cobalt is mined in the Democratic Republic of Congo as a secondary product of large-scale nickel and copper mining. But the DRC also has a large contingent of independent or artisan miners that effectively operate without any oversight. This has led to a multitude of human rights abuses in Congolese cobalt mines, including the use of child labor [3].

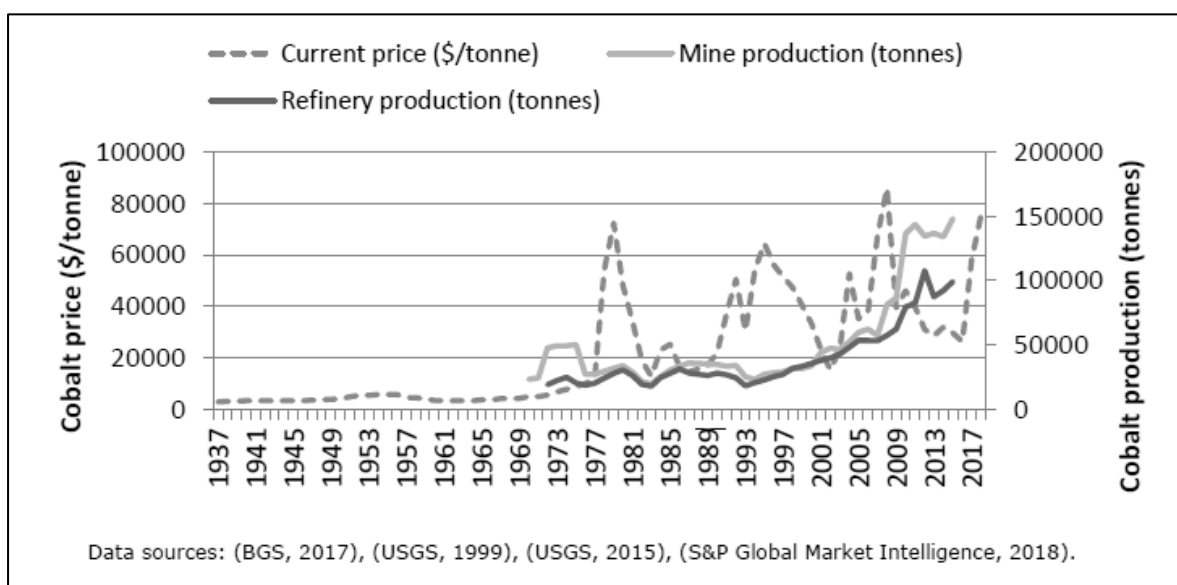


Figure 3.: Cobalt prices mine and refinery production in the past  
Source: [4].

Several large companies have recently announced that they want to remove cobalt from their batteries (Tesla, LG, CATL). For now, it seems they not to be able to completely replace cobalt yet, but Tesla, for example, is on a very good way, and already uses very good quality low-cobalt batteries in their electric cars. The NCA (Lithium) -nickel-cobalt-aluminum battery cell still contains a little cobalt, specifically in Tesla version 8-1-1 the ratio between the three components [5].

In a new study, researchers at the University of Texas announced that they had found a solution for completely cobalt-free high-energy lithium-ion batteries. The team reported a new class of cathodes -- the electrode in a battery where all the cobalt typically resides anchored by high nickel content. The cathode in their study is 89% nickel. Manganese and aluminum make up the other key elements. Most cathodes for lithium-ion batteries use combinations of metal ions, such as nickel-manganese-cobalt (NMC) or nickel-cobalt-aluminum (NCA). Cathodes can make up roughly half of the materials costs for the entire battery, with cobalt being the priciest element. At a price of approximately \$28,500 per ton, it is more expensive than nickel, manganese and aluminium combined, and it makes up 10% to 30% of most lithium-ion battery cathodes, so they found a solution, which decreasing the prices of the battery production, and the dependency on imports for key battery materials for the United States [5].

Graphene-based batteries could be the batteries of the future in the market. It has several advantages over conventional li-ion batteries. Nanotechnology graphene-lithium batteries primarily provide much more energy (two and a half times more than Li-ion batteries), much faster charging (about 50% faster, than Li-ion batteries), lighter weight, and stable operation even at higher temperatures. At present, the cost of production is still very high, it is not yet worth mass production. Despite these, several large phone companies have already indicated that they are experimenting with the introduction of the technology (Samsung, Huawei). On the electric car market, WV wants to apply this technology in its cars in the near future [6].

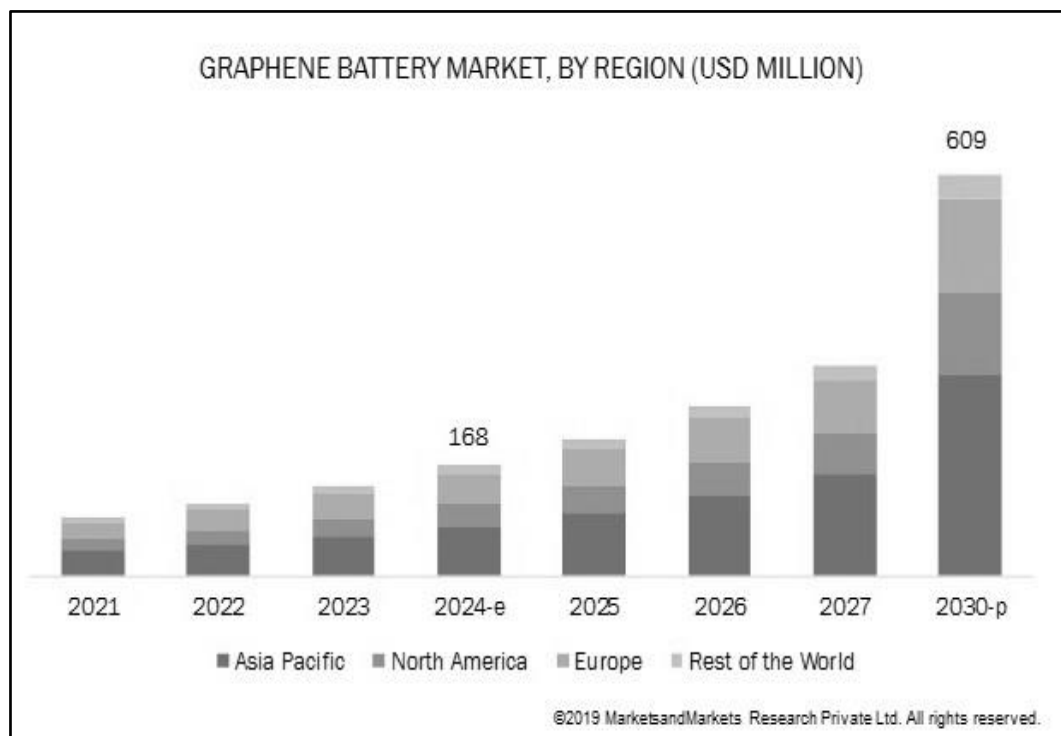


Figure 4.: Graphene battery market, by region (USD million)

Source: [7]

There are lots of attractive opportunities in the graphene battery market according to experts:

- the graphene batter market is projected to grow from USD 168 million in 2024 to USD 609 million by 2030 (Figure 4.),
- the growing demand for graphene batteries from industries such as automotive and consumer electronics is expected to drive the market,
- increasing research in graphene battery technology to fulfil the never ending demand for advanced consumer electronic products is expected to boost the demand for graphene batteries [7].

## RESULTS AND DISCUSSION

One of the main developments in lithium ion-based batteries in recent years has been the deployment of battery management systems. The technology is already in its third generation. While in the beginning such ‘battery management systems’ did not exist at all, later developments can be called ‘simple’ and then ‘advanced’ systems. [8]

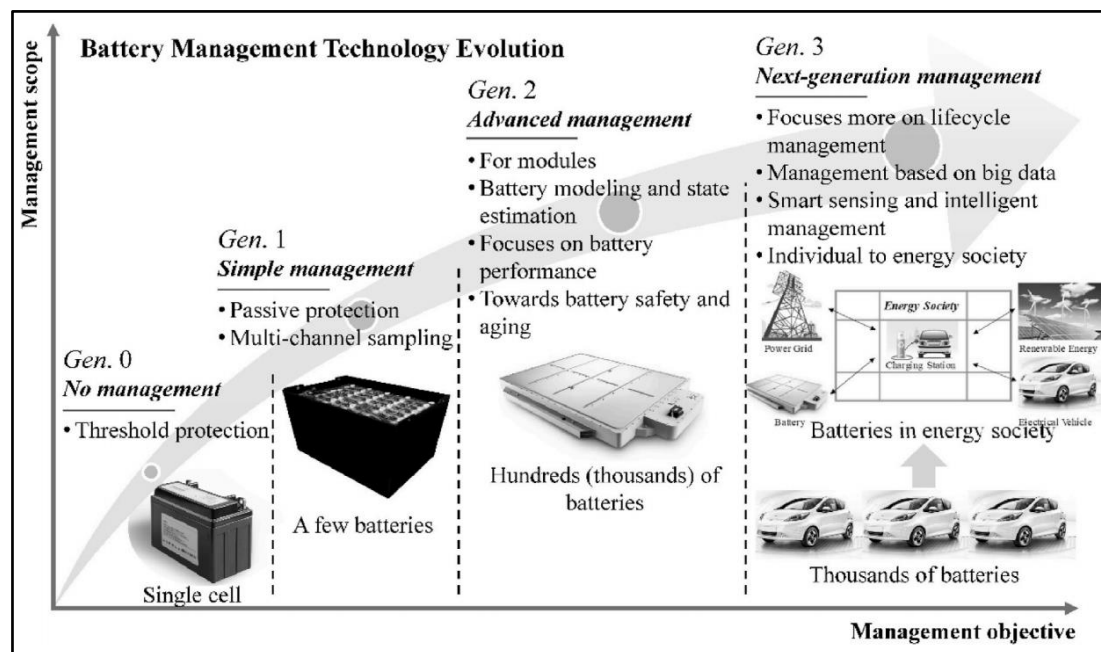


Figure 5.: Battery Management Systems (BMS)

Source: [8]

The lack of battery management was only conceivable for lead-acid batteries. First-generation systems are primarily focused on protection and reliability and are capable of measuring certain external parameters for safety and consistent performance, as well as monitoring internal parameters online.

With the increasing number of onboard batteries, advanced management is needed for battery modules. Advanced management systems take different forms, including centralized systems and distributed

The advanced management system focuses on improving the battery performance and the user’s driving experience, and enables the monitoring of battery system dynamics. Battery modeling and state estimation, thermal management, battery equalization, charging control, and fault diagnosis are all possible with the appropriate optimization algorithms and control



strategies. In the later development of advanced management systems, battery safety and aging are also considered. Advanced management represents the leading technologies in current battery management; however, there is still much room for further development. In addition to the thousands of batteries already installed in vehicles, the batteries in the entire energy society are also the management objects of “next-generation management” systems. Next-generation management will serve as the vital link between EVs and the energy society, which consists of numerous EVs, charging stations, and power plants, and the features of this generation are data and intelligence. This generation of battery management focuses more on battery lifecycle management, from manufacturing to recycling. With smart sensing and intelligent management, more accurate models and advanced algorithms can be applied in battery management [8].

## RECONFIGURABLE BATTERY SYSTEMS

Reconfigurable Battery Systems are Next-Generation Battery Management Systems. RBSs, conceptually, are capable of changing the battery interconnection pattern in response to the battery behaviour, state of controllable hardware components, and user demands (Figure 6.).

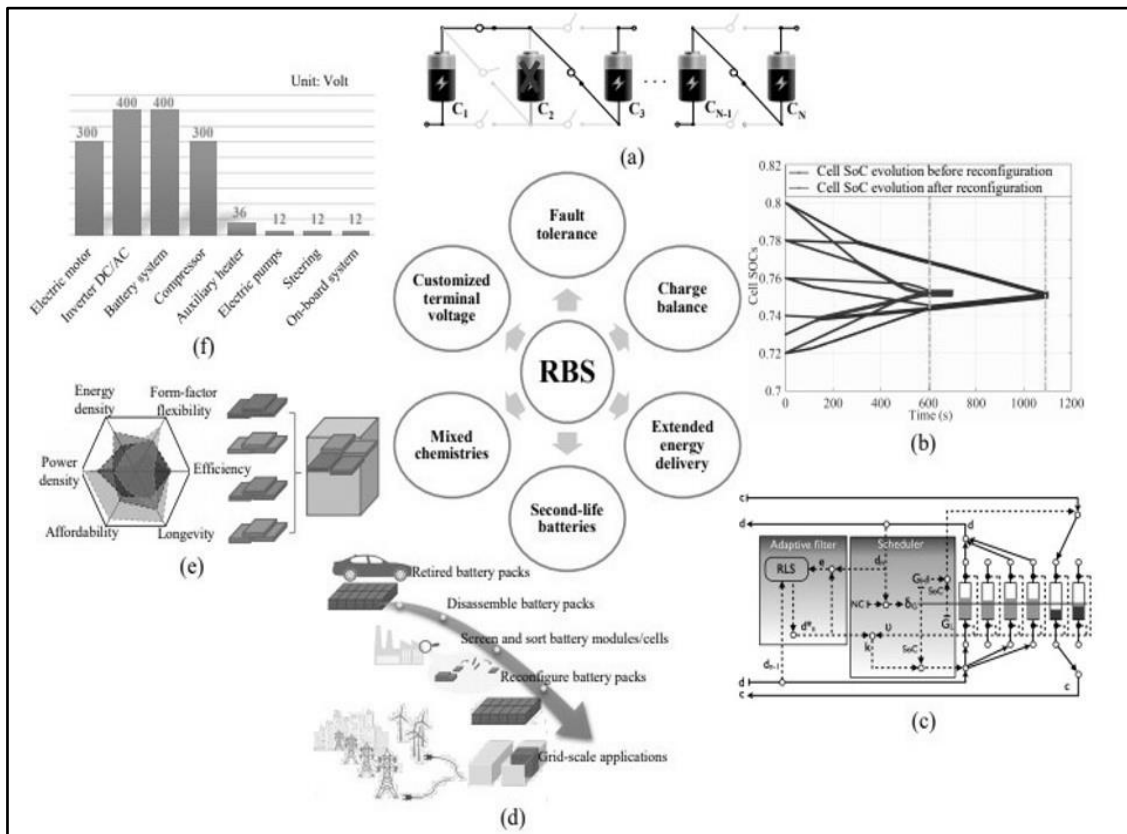


Figure 6.: Typical functionalities and benefits of reconfigurable battery systems (RBSs).

(a) Faulty cell isolation, (b) Expedited charge equalization for battery cells (c) A scheduling framework proposed for extended energy delivery and operation time. (d) Coordination of second-life batteries (e) Mixed battery chemistry (f) Component voltage levels in electric vehicles

Source: [9]

Potential benefits of reconfigurable battery systems (RBSs):

1. Enhanced Fault Tolerance:

If one cell fails it can be immediately disconnected by the system from the others thus saving them.

#### 2. Charge and Temperature Balancing:

The thermal imbalance will cause different cell aging rates and reduce the longevity of the battery system, as well as potentially trigger overheating and threat battery safety.

#### 3. Extended Energy Delivery:

“Motivated by the idea of battery balancing without auxiliary balancing modules, the dynamic reconfiguration can also be used to schedule the operation of batteries for faster and enhanced energy conversion during both charging and discharging.” Thanks to this technology, batteries can be charged much faster without damaging them. A design of such a scheduling framework is illustrated in Fig. 6 (c) for extended energy delivery and operation time, where the arrowed solid lines c and d represent the charging and discharging currents, respectively [9].

#### 4. Coordinating Batteries of Different Age or Chemistry:

With the intrinsic merit to balance batteries, RBSs cannot only prolong the first-life usage but also become imperatively important for second-life applications as shown in Fig. 6 (d).

An RBS is capable of customizing the terminal voltage, current, and power in a wide range [9].

#### 5. Other Benefits:

Share battery modules and packs among different applications, enabling a new battery business model not otherwise economically justifiable, and further enhancing the economy- and resource-efficiency [9].

## CONCLUSION

Demand for lithium-based batteries has grown exponentially in recent years, somewhat contradicted by the fact that demand for lithium has different characteristics. After all, more and more large companies or countries are rejecting the production and purchase of li-ion based batteries that contain large amounts of cobalt. There are two reasons for this, one is that it is a very expensive raw material, and the other is that it is produced in an unethical way (use of child labor). More and more so-called next-generation batteries are appearing on the market, such as the nano-graphene li-ion battery, which, if successfully introduced into the mass production process, can quickly replace the traditional batteries on the market.

The development of battery management systems has also been key factor in recent years. With the development of battery management technology, batteries have a longer lifespan and are equipped with smart sensors. As a result, they are already based on big data and have made batteries much safer.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The research was supported by the EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project "Sustainable Raw Materials Management Thematic Network - RING 2017". The project is co-financed by the European Union's European Social Fund and Hungary.

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 azonosító számú, „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodás Tematikus Hálózat – RING 2017” című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap és Magyarország költségvetése társfinanszírozásában valósul meg.

## REFERENCES

1. Statista.com (2020): <https://www.statista.com/statistics/883118/global-lithium-ion-battery-pack-costs/> (2020.11.06.)
2. Kittner, N. et al. (2020), “Grid-scale energy storage”, Chapter 8 in: Technological Learning in the Transition to a Low-Carbon Energy System, Academix Press, pp. 119-143, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818762-3.00008-X>.
3. Zs. Péter – D. Orosz, 2019: Investigating raw materials for modern batteries from the economist's perspective – cobalt, Szeged, pp.228-234
4. [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en) (2020.11.02.)
5. W. Li -S. Lee – A. Manthiram, 2020: High-Nickel NMA: A Cobalt-Free Alternative to NMC and NCA Cathodes for Lithium-Ion Batteries. Advanced Materials, Vol. 32, Issue 33., DOI: 10.1002/adma.202002718
6. J. Zhu et al. (2014): The application of graphene in lithium ion battery electrode materials, SpringerPlus,3/1/585
7. <https://www.marketsandmarkets.com/>
8. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/technology\\_analysis\\_ongoing\\_projects\\_on\\_battery\\_based\\_energy\\_storage.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/technology_analysis_ongoing_projects_on_battery_based_energy_storage.pdf)
9. W. Han et al. (2020): Next-Generation Battery Management Systems: Dynamic Reconfiguration, IEEE Industrial Electronics Magazine, In Press <http://dx.doi.org/10.1109/MIE.2020.3002486>

Nurbanu Yanar

*Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing,  
University of Miskolc, Hungary*

## **LIMITATIONS IN PLASTIC RECYCLING, A REVIEW**

### **ABSTRACT**

Recycling of plastic wastes has improved significantly lately, although there are still lots of challenges. A literature survey has been carried out to investigate the limitation in the plastic recycling sector. It was found that limiting factors were the ineffective collection of recyclables, poorly trained employees, diversity of multi-layered packaging, variety of additives, other contaminations and degradation.

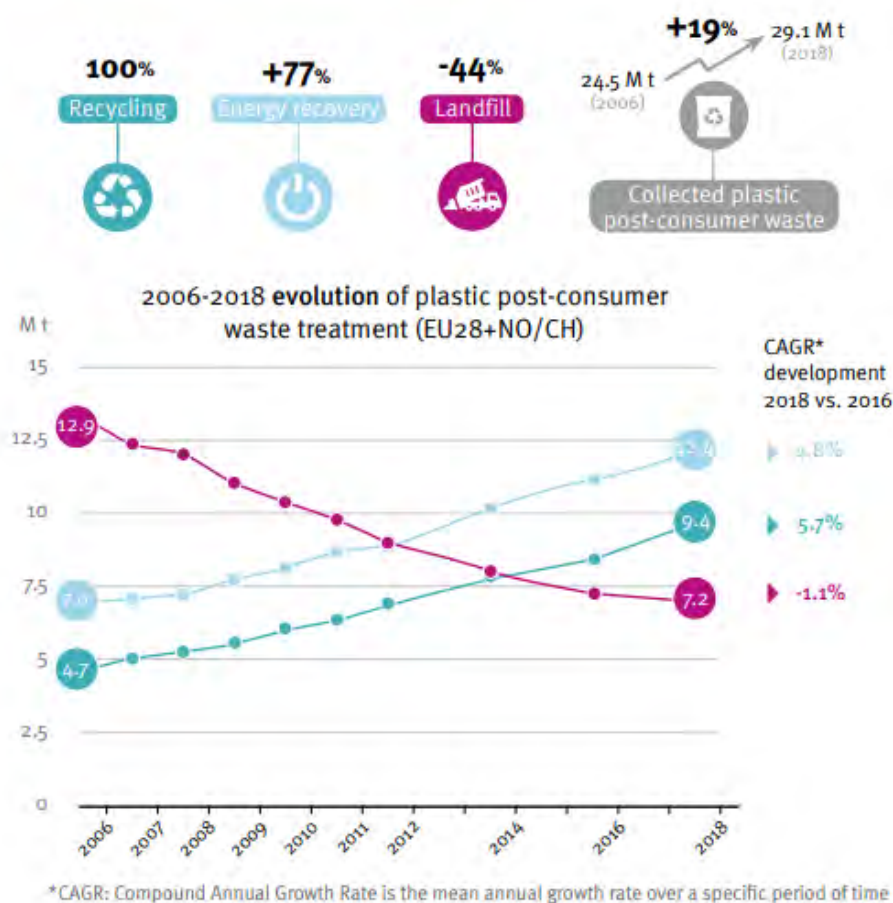
### **LITERATURE REVIEW**

Plastics are crucial for our lives in the 21st century. The word “plastic” is derived from the Greek word "plastikos", meaning fit for moulding. This refers to the material's elasticity during manufacture, which allows it to be pressed into a variety of shapes - such as films, fibres, plates, tubes, bottles, boxes, and much more (Ahlhaus, 1997).

Nowadays, we use the term “plastic” for a spacious range of different materials such as PETE, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS, and others. They are used in vast fields of our lives, for instance packaging of goods, clothes, construction, insulation, toys, electronic devices, medical equipment, automotive, machinery, agriculture, etc. Plastics used in packaging tend to have shorter lifetime than other sectors such as electronics, construction, and automotive.

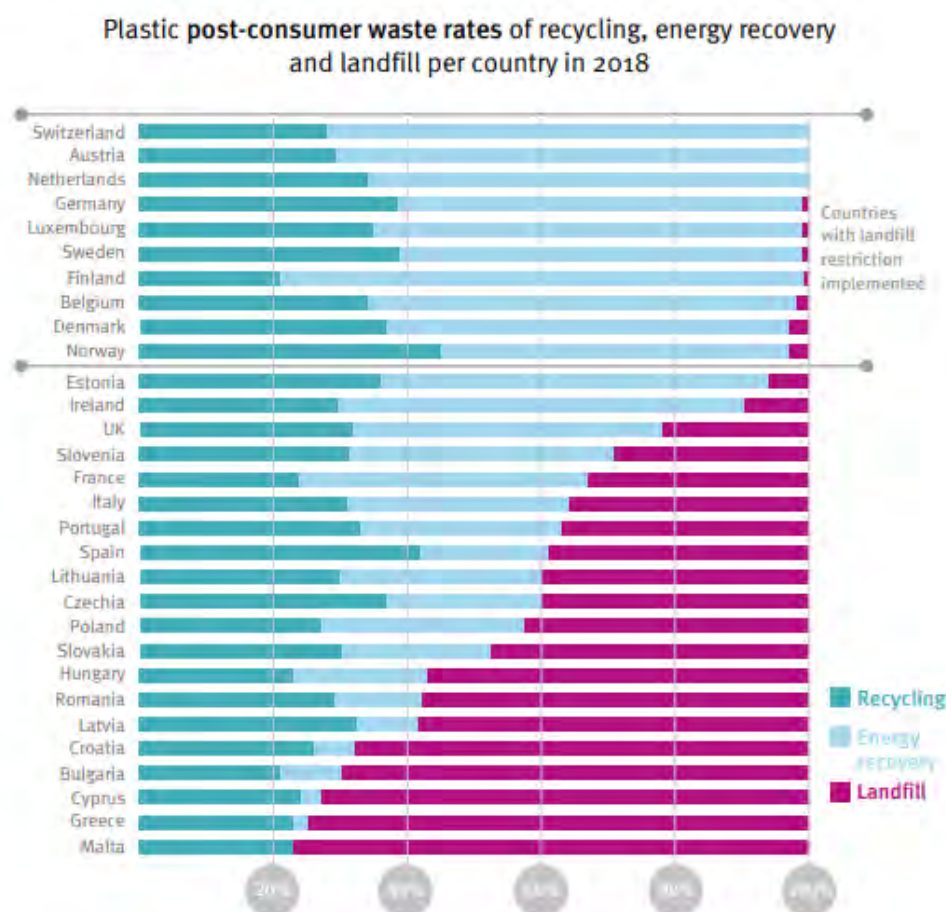
In 2018, the production of plastics reached 360 million tonnes globally and 62 million tonnes only in Europe. 29.1 million tonnes of plastic waste out of 62 million tonnes of produced plastics were collected in the EU in order to be treated (PlasticsEurope, 2019). Top plastics demand by resin types were PE and PP, which is used mostly in the production of food packaging, sweet and snack wrappers, hinged caps, microwave containers, pipes, automotive parts, bank notes, reusable bags, trays and containers, agricultural film, food packaging film, etc. Plastic packaging provides prevention of the goods from contamination and extends its shelf life. In addition to these, transportability and storage capability are also primary functions of packaging. Since the demand is growing, the complexity of packaging is increasing as well (PlasticsEurope, 2012). In order to reduce plastic waste generation, source reduction, reuse, and landfilling have been utilized. However, increasing usage of plastics and its waste existence in the environment have led to continuous discussions of better management of plastic wastes. These plastic wastes are accumulated directly or indirectly to the environment. Therefore, finding more effective ways to increase the recycling proportion is necessary. Recycling plastic wastes will prevent contamination of the environment (Awoyera, Adesina, 2020).

It can be seen in Fig. 1 that since 2006, the amount of plastic waste sent to recycling has doubled and energy recovery has increased by 77% in EU. However, 25% of plastic post-consumer waste was still sent to landfilling in 2018 (PlasticsEurope, 2019). It can be observed from Fig. 2 that Hungary landfills most of its plastic post-consumer wastes.



**Figure 1. 2006-2018 evolution of plastic post-consumer waste treatment (PlasticsEurope, 2019).**

Plastic wastes can be recycled either mechanically, chemically, or thermally. Mechanical sorting can be done in 2 different ways including manual sorting and automatic sorting. The manual sorting method is considered inefficient as a result of the complex nature of plastics. Although it is still the most used technique in the plastic recycling industry as it is more affordable to pay for employees than to buy an automatic sorting machine. Chemical recycling of plastic wastes is very promising for the production of secondary raw materials and fuel. Thermal recycling of plastic wastes involves heating plastic waste at high temperatures to melt them followed by pouring into a mould to form new products (Awoyera, Adesina, 2020).



**Figure 2. Plastic post-consumer waste rates of recycling (PlasticsEurope, 2019).**

Although quantitative targets are set on both regional and EU levels, they often do not take into account the quality of the recycled material. Recycled plastics are substituting products produced from virgin materials, and the quality of the recyclates affects the substitution ratio. The lower the quality of the recycled plastics is, the lower will be the substitution ratio, and the smaller will be the benefits from their recycling (Lazarevic et al., 2010). The main aspects influencing the quality of recycled plastics were identified to be the following four: polymer cross-contamination, additives, non-polymer impurities, and degradation. (Pivnenko et. al, 2015). Consumer plastics consist of a variety of different polymers (e.g. PP, PET, PS, etc.). Their recycling potential as well as the additives and degradation may vary significantly (Jakobsen, 2015). The addition of additives (kinds and amounts) will depend on the type of polymer and intended applications, while degradation will be different depending on the chemical structure of a polymer. (Pivnenko et. al, 2015).

Earlier, packaging was made of a single material. Recycling of single-layer films such as PE, PP, PVC, PS, or PET is technically solved and currently, there are many companies that are processing these films. Regranulates that are made of single-layer plastic wastes are used in the manufacturing of various products (Brandrup et al., 1996; Nikiel, 1996; Praca zbiorowa, 1997). However, single-layered packaging materials have a limitation ensuring the

quality of packed goods. By combining different materials, ideal packaging for most requirements can be met easily as a multilayer structure allows the package to perform a combination of functions that is not possible with a single layer (Ebnesajjad, 2013; Morris, 2016). In addition to this, costs can be reduced by adding a number of layers and thus decreasing the amount of material, in comparison to what would be needed to make a single layer perform the same function. As a consequence of its advantages, the usage of multilayer packaging increased significantly (Ahlhaus, 1997; Finlayson, 1989). The inner layer of multilayer packaging provides sealability for low-temperatures, and the outer layer provides resistance against abrasion, printability, or barrier. Because those sealants often lack stiffness, structural integrity, and abrasion resistance, an outer layer is used for additional functionality. This layer may provide a moisture barrier and is often used in the packaging of dry foods (Morris, 2016).

## CONCLUSION

Plastics play a significant role in our society, and wastes generated at the end of the usage of these plastics are unavoidable. Therefore, in order to properly manage these plastic wastes while improving the sustainability of the environment, limitations should be well-studied. Based on this review, the following conclusions can be said;

Proper collection of recyclable plastics is crucial to an efficient recycling process. Therefore, citizens should be well trained starting from childhood to gain awareness. Not helping this system should have consequences such as penalty.

Most of the time manual sorting is applied to the waste materials. Proper identification of the material and its classification as a group depends only on the employees' experience (Soler, 1992; Hisazumi et al., 2003). Employees should be trained in order to understand the requirements of the recycled products. Thus, recycling operation and the recycling efficiency won't be affected since well-trained employees are aware of the contamination coming along with the recyclable waste. Even though, manual recycling is not sufficient enough due to plastics complex nature. These layers need special care to be separated from each other to be able to identify each material so it doesn't end up in another plastic resin storage which decreases its quality as recycled product. There is also a lack of identification system for these materials if automated sorting method is not being used.

Multilayer packaging causes problems in terms of waste management. Difference in the properties of each layer causes difficulties, thus detailed characteristics should be studied because of its effect on their recycling potential. Multilayer foils have similar visible characteristics compared to single-layer films, which may result in processing them with other films because of inappropriate segregation and false characterization of properties.

Most of the contamination of a polymer occurs in the manufacturing step (including the plastics product design and labelling. Chemicals in polymers can be the result of their direct addition (additives) or indirect addition through contamination (non-polymer

impurities) indicates an additional knowledge gap, as quite often the sources of potential contamination are not known and might be difficult to predict.

Recycling of plastics brings the losses of secondary materials along. Therefore, regulations applied to the quality of recycled plastics is necessary.

## ACKNOWLEDGEMENT

The described article was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network - RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 program. The realisation of these projects is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

- [1.] Ahlhaus OE. Verpackung mit Kunststoffen. Munich: Hanser; 1997
- [2.] Awoyera, P. and Adesina, A. (2020) "Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective", Case Studies in Construction Materials, 12, p. e00330
- [3.] Brandrup J, Bittner M, Menges G. Recycling and recovery of plastics. Hanser Publishers; 1996.
- [4.] Challenges In Plastics Recycling, K. Pivnenko, L.G. Jakobsen, M.K. Eriksen, A. Damgaard And T.F. Astrup Ebnesajjad, S. Plastic Films in Food Packaging—Materials, Technology and Applications, 1st ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2013
- [5.] Faitli, J.; Romenda, R.: Detailed Sampling Protocol for the Analysis of Residual Municipal Solid Wastes. In: K., Moustakas; M., Loizidou (eds.) Proceedings of the 7th International Conference on Sustainable Solid Waste Management Herakleion, Görögország: Hellenic Mediterranean University, Paper: Session XXIII. paper 10., 10 p. 2019
- [6.] Finlayson KM. Plastic film technology. Lancaster: Technocom Publishing Company; 1989
- [7.] Hisazumi T, Gotoh T, Irie S, Method and apparatus for identifying plastic, European Patent EP1286153; 2003
- [8.] Jakobsen, L.G., Limitations and quality in plastic recycling. Technical University of Denmark. 2015
- [9.] Lazarevic, D., Aoustin, E., Buclet, N., Brandt, N., Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. Resour. Conserv. Recycl. 55, 246–259. 2010
- [10.] Morris, B.A. The Science and Technology of Flexible Packaging. Multilayer Films from Resin and Process to End Use; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016
- [11.] Morris, B.A. The Science and Technology of Flexible Packaging. Multilayer Films from Resin and Process to End Use; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016
- [12.] Nikiel W. Recycling Handbuch. Duesseldorf: VDI Verlag; 1996
- [13.] Pivnenko, K., Jakobsen, L.G., Eriksen, M.K., Damgaard, A. and Astrup, T.F., Challenges in plastics recycling. In Sardinia 2015-15th International Waste Management and Landfill Symposium. CISA Publisher. 2015
- [14.] Plastic Zero, Comparative assessment of five tested sorting technologies. 2014



- [15.] PlasticsEurope, Plastics – the Facts 2012 An analysis of European plastics production , demand and waste data for 2011. 2012
- [16.] PlasticsEurope, Plastics - the facts 2014/2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data. 2015
- [17.] PlasticsEurope, An analysis of European plastics production, demand and waste data. 2019
- [18.] PlasticsEurope. Plastic Packaging: Born to Protect; PlasticsEurope—Association of Plastics Manufacturers: Brussels, Belgium, 2012
- [19.] Praca zbiorowa. Recykling materiałów polimerowych. Warszawa: WNT; (red. Błędzki A.K.). 1997
- [20.] Soler TQ. Identification and segregation of materials in mixed waste. Makromol Chem Makromol Symp 1992; 57:123–31. 1992
- [21.] Thompson, R.C., Swan, S.H., Moore, C.J., vom Saal, F.S., Our plastic age. Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 364, 1973–6. 2009
- [22.] (1) PlasticsEurope 2020, What are plastics, PlasticsEurope, viewed 28 December 2020, [https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics#:~:text=The%20term%20\"plastic\",%2C%20boxes%2C%20and%20much%20more.](https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics#:~:text=The%20term%20\)

Somfai, D. - Czakó-Vér, K. - Suhajda, E. - Dolgos-Kovács, A. - Dittrich, E.

*Department of Environmental Engineering,, University of Pécs, H-7624 Pécs, Boszorkány út  
2., Hungary*

## **EXPERIMENTS OF ANAEROB CO-FERMENTATION OF THE BIODEGRADABLE FRACTION OF THE MUNICIPAL SOLID WASTES (BIFMSW) AND SEWAGE SLUDGE(S)**

### **ABSTRACT**

Municipal solid waste collected at Pécs-Kökény Regional Waste Management Center possesses a significant portion of biologically degradable materials (26% in a 4-year average). Therefore, biological stabilization is required. Currently waste material is only treated in aerobic conditions, no energetic utilization is available yet. Measurements were performed using the organic fraction of municipal solid waste derived from mechanical separation (BiFMSW) as our primary substrate. BiFMSW was further disintegrated on a 10 mm sieve and stored in air-tight containers in refrigerator. Laboratory measurements were performed on BiFMSW to assess its potential as biogas substrate on 37 °C. The co-fermentation of BiFMSW and activated sludge in different proportions were also assessed. Biodegradation kinetics and biogas yield of different compositions (monosubstrate undergoing anaerobic degradation with BiFMSW's own microflora and with activated sludge) were compared. Average solid content of sewage sludge was 6% with a C/N ratio of 11. According to literature data, complementing it with organic substrates results in better biogas and methane yield. Average solid content of BiFMSW samples was 24 % with a C/N ratio of 36. According to our measurements, sewage sludge as a monosubstrate produced 0.34 Nm<sup>3</sup>/kg volatile organic compound in 28 days. The co-fermentation of the 1:1 mixture of BiFMSW and sewage sludge resulted in 0.29 Nm<sup>3</sup>/kg volatile organic compound.

### **INTRODUCTION AND AIM**

In 2010 Mata Alvarez, J. et al composed a thorough summary titled „Codigestion of solid wastes: A review of its uses and perspectives including modeling”. The review analyzes data from articles regarding co-fermentation of sewage sludges, OFMSW, industrial wastes and different agricultural products and by-products. The summary includes results from laboratory, semi-industrial and industrial circumstances. The most essential aspect is the distinct C/N ratio of substrates. The proper mixture of substrates ensures optimal C/N ratio for biogas production (optimal range: 10:1 – 25:1). [1]

Esposito et al (2008) established a model for the co-fermentation of sewage sludge and OFMSW. [2] Derbál et al (2009) tested this mathematical model by measuring the biogas production of fermenters with different substrate ratios. [3]

Li et al (2011) described that anaerobic digestion (AD) is an adequate method to treat substrates with a total solid content (TS) of 0.5% to 15%, for instance manure, sewage sludge and food industry waste. If the substrate has a TS higher than 15%, it is desirable to apply solid state anaerobic digestion (SS-AD). SS-AD is gaining popularity in treating substrates with high cellulose and lignocellulose content, for example energy crops and OFMSW. When

treating these substrates, applying pretreatment is desirable to achieve adequate hydrolysis and a proper amount of cellulase produced by cellulose degrading bacteria. [4]

Ponsa et al (2011) examined the co-fermentation of OFMSW in laboratory conditions with several co-substrates, like fat, oil, cellulose and protein. They found that the fermentation of the examined OFMSW as monosubstrate resulted in the following methane potential values: 80 liters/kg VS in 3 days; 382 liters/kg VS in 28 days. Continuing the fermentation for 138 days resulted in no further methane production. [5] In the co-fermentational experiments, the most prominent growth in methane yield was achieved by fat and oil co-substrates. [5] AbDullah J.J. et al (2019) summarized their results from laboratory experiments investigating OFMSW as a monosubstrate and in co-fermentation with kitchen waste. [6] Under mesophilic conditions, fermenting OFMSW as a monosubstrate resulted in a biogas of 0.661 m<sup>3</sup>/kg VS. The produced biogas had a methane content of 70%. [6]

## MATERIALS AND METHODS

The basis for all the calculations in the thesis is the ideal gas law [7]:

Ideal Gas Law:

$$n = p \times V / R \times T \quad 1$$

n = number of moles of gases formed (mol)

p = gas pressure in Pascal (N/m<sup>2</sup>)

V = gas volume (m<sup>3</sup>)

R = gas constant (8,314 J/(mol\*K))

T = incubation temperature (K)

Carbon (methane) content of the gaseous phase can be calculated with the following formula [7]:

$$n = (p \times V_g) / (R \times T) * 10^{-4} \quad 2$$

n = number of moles of gas formed, CH<sub>4</sub> (mol)

Dp = the difference of the gas pressure in the sample bottle at the end of the experiment (plateau)

minus the pressure in the beginning of the experiment minus the difference of the blank values

(hPa)

V<sub>g</sub> = gas volume of the headspace (ml)

10<sup>-4</sup> = conversion factor Pa in hPa and m<sup>3</sup> into ml

## RESULTS AND DISCUSSION

We used the results of the following tables (Table 1-3) to calculate the biomethane potential of the BiFMSW. Table 4 contains the calculated biomethane potential.

*Table 1*

**Dry matter content of all substrates**

| Sample | Dry matter content (g/kg) |
|--------|---------------------------|
|--------|---------------------------|

| Notation | Content                 | Date       | 1.     | 2.     | 3.     | Mean   |
|----------|-------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| 1. Dss   | Densified sewage sludge | 2019.02.25 | 27,65  | 29,15  | 26,58  | 27,79  |
| 2. Dss   | Densified sewage sludge | 2019.02.25 | 27,85  | 28,68  | 28,89  | 28,47  |
| 3. Dss   | Densified sewage sludge | 2019.02.25 | 27,35  | 27,65  | 29,95  | 28,32  |
| BiFMSW   | Organic fraction of MSW | 2019.05.31 | 595,15 | 523,54 | 518,14 | 520,84 |
| Inoculum | Inoculum                | 2018.09.13 | 23,71  | 29,01  | 31,72  | 28,15  |

*Table 2*

**Organic content of the whole sample**

| Sample   |                         |            | Organic content of the whole sample (g/kg) |        |        |        |
|----------|-------------------------|------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Notation | Content                 | Date       | 1.                                         | 2.     | 3.     | Mean   |
| 1. Dss   | Densified sewage sludge | 2019.02.25 | 20,70                                      | 21,91  | 21,11  | 21,24  |
| 2. Dss   | Densified sewage sludge | 2019.02.25 | 21,00                                      | 21,72  | 21,72  | 21,48  |
| 3. Dss   | Densified sewage sludge | 2019.02.25 | 20,50                                      | 20,80  | 22,63  | 21,31  |
| BiFMSW   | Organic fraction of MSW | 2019.05.31 | 451,16                                     | 391,89 | 375,84 | 383,87 |
| Inoculum | Inoculum                | 2018.09.13 | 19,89                                      | 17,31  | 18,87  | 18,69  |

*Table 3*

**Organic matter content of the dry content**

| Sample   |                         |            | Organic matter content of the dry content (g/kg) |        |        |        |
|----------|-------------------------|------------|--------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Notation | Content                 | Date       | 1.                                               | 2.     | 3.     | Mean   |
| 1. Dss   | Densified sewage sludge | 2019.02.25 | 748,64                                           | 751,63 | 752,48 | 750,92 |
| 2. Dss   | Densified sewage sludge | 2019.02.25 | 754,04                                           | 757,53 | 751,92 | 754,50 |
| 3. Dss   | Densified sewage sludge | 2019.02.25 | 749,54                                           | 752,26 | 742,03 | 747,94 |
| BiFMSW   | Organic fraction of MSW | 2019.05.31 | 751,30                                           | 748,55 | 725,36 | 736,96 |
| Inoculum | Inoculum                | 2018.09.13 | 838,94                                           | 596,92 | 594,79 | 676,88 |

Table 4

## Actual Biomethane potential

| Measurement number | Ratio of the substrate                        | Duration of the measurement | (hPA) | Amount of gas (mol) | dm <sup>3</sup> /kg TOS |
|--------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|-------|---------------------|-------------------------|
| 17101302           | 50 g BiFMSW + 50 ml Densified sewage sludge   | 3 day                       | 143   | 0,0055              | 7                       |
| 17101601           | 50 g BiFMSW+ 50 ml Densified sewage sludge    | 3 day                       |       |                     |                         |
| 17101603           | 50 g BiFMSW+ 100 ml i Densified sewage sludge | 3 day                       | 163   | 0,0063              | 7,9                     |
| 17101604           | 50 g BiFMSW+ 100 ml i Densified sewage sludge | 3 day                       |       |                     |                         |

## CONCLUSION

For biogas recovery a lot of potencial new substrates were analyzed. Organic fraction of the municipal solid waste may be a good substrate for anaerob fermentation. The C/N ratio of OFNSW was 35,8. The C/N ratio of the sewage sludge changes between 8,6 and 12.

In 2008 Esposito et al. worked the model for OFMSW and sewage sludge co-fermentation. [2]. Ponsa et al (2011) examined the co-fermentation of OFMSW in laboratory conditions with several co-substrates, like fat, oil, cellulose and protein. They found that the fermentation of the examined OFMSW as monosubstrate resulted in the following methane potential values: 80 liters/kg VS in 3 days; 382 liters/kg VS in 28 days. Continuing the fermentation for 138 days resulted in no further methane production. [5].

In our experiment, the specific biomethane yield was 0,00550 mol 1:1 BiFNSW : SS and 0,0063 mol 1:2 BiFNSW : SS ratio. From this the calculated specific Biomethane Potential 7,0 dm<sup>3</sup>/ kg TOS and 7,9 dm<sup>3</sup>/ kg TOS.

Biomethane Potential for 28 days can calculated from this data. Alrabashdeh et al. (2017) summarized the indicators of biogas production on a laboratory, semi-industrial and industrial scale, and they found that even scale up the co-fermentation results were good enough. [8]

As a result, anaerobic digestion has become one of the best alternative technology to treat the organic fraction of municipal solid wastes and can be an important source of bioenergy.

## ACKNOWLEDGEMENT

The support of European Union and Hungarian State (grant agreement no. EFOP-3.6.2-16-2017-00010) is gratefully appreciated.



## REFERENCES

1. **Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Macé, S., Astals, S.:** “Codigestion of solid wastes: A review of its uses and perspectives including modeling.” *Critical Reviews in Biotechnology*, 2010, pp. 1–13.
2. **Esposito, G., Frunzo, L., Panico Ad' Antonio, G.:** “Mathematical modelling of disintegration-limited co-digestion of OFMSW and sewage sludge.” *Water Science Technology*, 58, 2008, 1513-1519
3. **Derbal, K., Bencheikh-Lehocine, M., Cecchi, F., Meniai, AH., Pavan, P.:** “Application of the IWA ADM1 model to simulate anaerobic co-digestion of organic waste with waste activated sludge in mesophilic condition.” *Bioresour Technol* 100, 2009, 1539-1543.
4. **Li, Y., Park, S. Y., Zhu, J.:** “Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2011, pp. 821-826.
5. **Ponsá, S., Gea, T., Sánchez, A.:** “Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste with several pure organic co-substrates.” *Biosystems Engineering* 108, 2011, pp.352-360.
6. **Abdullah, J. J., Tucker, G. A., Du, C.:** “Anaerobic Digestion of Food Processing and Municipal Solid Waste (MSW).” *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology Section A*, Vol.9, No.1, 2019, pp.30-55.
7. **Pentilla, A.:** “Initialization of the Oxitop system for biogas production tests. “ *TAMK University of Applied Sciences. Tampore*, 2009. pp.52.
8. **Alrawashdeh, K. A., Pugliese, A., Słopiecka, K., Pistolesi, V., Massoli, S., Bartocci, P., Bidini, G., Fantozzi, F.:** “Codigestion of untreated and treated Sewage Sludge with the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes.” *Fermentation* 3 (3), 2017, pp. 35.

Somfai, D.<sup>1</sup> - Kósa D.<sup>1</sup> - Bicsák L.<sup>2</sup> - Suhajda E.<sup>1</sup> - Czakó-Vér K.<sup>1</sup> -  
Dolgosné Kovács A.<sup>1</sup> - Dittrich E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Environmental Engineering,, University of Pécs, H-7624 Pécs, Boszorkány út  
2., Hungary*

<sup>2</sup>*Tettye Forrásház Zrt. Pellérdi Biogáz Üzem, H-7634 Pécs, Nyugati Ipari út 8.*

## **MONITORING OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF A BIOGAS PLANT WITH ENZYME ACTIVITY MEASUREMENTS**

### **ABSTRACT**

The biochemical processes of biogas production in a perfectly homogenized reactor take place paralelly and simultaneously. Therefore, there is not any sole parameter capable of characterizing the entire process on its own. Together with the Biogas Plant of Pellérd, Tettye Forrásház Ltd. we searched for new ways to complement quality assurance. Due to the variability of parameters in a biogas plant, occasionally the equilibrium of biochemical processes unravels and fermentational acid production or methane production becomes predominant. Enzyme activity measurements can be utilized to characterize degradation processes. Dehydrogenase enzyme activity (DHA) was examined. Samples from anaerobic biogas fermentors were measured using the unique photometric method developed by L. Karaffa et al. 2,3,5-triphenyl-tetrazolium chloride was used as electron acceptor. During the examined period dehydrogenase enzyme activity of the biogas plant (operating mainly on sewage sludge) varied between 5,44-16,66 mg triphenyl formazan / cm<sup>3</sup> sludge \* 24 h mg formazan/g sludge/ 24 hours.

Comparing our results with the usual quality assurance parameters a tight correlation was revealed between the measured DHA results and the amount of volatile organic acids (VOA). In co-fermentational conditions, the intensity of hydrolytic processes could be characterized by DHA results.

### **INTRODUCTION AND AIM**

The biochemical processes of biogas production in a perfectly homogenized reactor take place paralelly and simultaneously. Therefore, no sole parameter is capable of characterizing the entire process on its own. Monitoring the changes in the fermenter is indispensable for sustaining a functioning system. Monitoring usually involves continuous sampling. Classical quality assurance parameters of anaerobic degradation involve temperature, pH, alkalinity, volatile organic acid content, organic feeding rate, biogas yield and gas quality. These physical and chemical parameters determine whether the system works in optimal conditions. In case of diverging from the optimum, intervention might be necessary to ensure ideal circumstances.

Classical quality assurance parameters only inform us about the living conditions of bacteria and whether the prerequisites for an ideal environment are met. Among these

parameters, only biogas yield and gas quality provide information about the biological processes taking place inside the fermenter.

The aim of our research was to find and apply a new method capable of describing the different aspects of biological processes, including speed. Enzyme activity measurements were the focus of our research. Enzyme activity values characterize the fermentation by reflecting the metabolism of microorganisms responsible for degradation.

The examined biogas plant's quality assurance and laboratory measurements were analyzed to draw conclusions and find correlations. In the next step, information obtained from the plant was compared to the measured enzyme activities. Our aims were to find correlations between classical quality assurance parameters and the measured enzyme activity values and gain more insight into the biological processes of fermentation, the overall activity of microorganisms and the speed of degradation.

Continuous monitoring is essential to control the complex processes taking place inside the fermenters. Monitoring usually involves measuring chemical and physical parameters that inform us about the possible divergences from the microorganisms' ideal parameters and the quantity and quality of the produced end-product, biogas.

The classical monitoring parameters of biogas plant operation are temperature, pH, alkalinity, volatile organic acid content, dry matter content, organic matter content, hydraulic retention time, occurrence of toxic matters, produced gas quantity and gas quality.[1]

Another critical aspect is specific gas production. Specific gas production is calculated from the feeding rate and the quantity of gas produced. It represents the quantity of biogas produced from 1 m<sup>3</sup> substrate. The goal of biogas plant operation is to achieve higher specific gas production rates. [2]

Analyzing operational parameters aid us in creating an ideal environment for fermentation. Intervention is possible by inspecting the quantity and quality of the end-product. However, these parameters do not enable the monitoring of biological and biochemical processes taking place inside the fermenter.[3]

## **Soil enzymes**

Soil has an easily measurable enzymatic activity. Soil enzymes are characterized by different origins. The most common soil enzymes are oxidoreductases (dehydrogenases, catalases, monooxidases, peroxidases), transferases, hydrolases (for example phosphatase, amylase, cellulase, invertase, urease, proteinase, peptidase, carboxylesterase, lipase, phytase, etc). [3]

Various methods can be utilized to characterize enzyme activity. We can measure the decrease of the enzyme substrate, the formation of the product or the formation of the product from a substrate analog. Substrate analogs are compounds with a similar configuration to the substrate, however with differing function. Often the measurement is aimed to represent the activity of an enzyme system instead of a single enzyme.

The first step of anaerobic degradation is hydrolysis, that determines the speed of the whole degradation process. Different enzyme activity measurements are applicable to investigate hydrolysis. Dehydrogenase enzyme activity characterizes the total activity of cells. Depending on the substrate used, protease, lipase and cellulase enzyme activities are also worth measuring. Analyzing these enzyme activities can provide useful information about the fermentational processes during quality assurance of operation.[3]

Dehydrogenase enzymes catalyze hydrogen transfer in biological oxidation from the reduced hydrogen donor to the hydrogen acceptor substrate. Dehydrogenase belongs to the group of oxidoreductases and it is reversible and substrate specific. [3]

## **MATERIALS AND METHODS**



## Measuring dehydrogenase enzyme activity

Dehydrogenases belong to the group of oxidoreductases and they reflect the whole oxidative activity of the microbiota of soil. The measurement of current dehydrogenase activity of soil is based on using an artificial hydrogen acceptor, 2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride. As a result of the process catalyzed by the dehydrogenase enzyme, the hydrogen acceptor reduces to 1,3,5-triphenyl formazan, that is a red chemical not soluble in water. The intensity of its color can be measured after extraction by methyl or ethyl alcohol by a spectrophotometer. Current enzyme activity is given in mg formazan/1g soil/24 hours. Dehydrogenase enzyme activity is representative of soil types, it is responsive to soil pollution and it also characterizes the fertility of soil.

Microorganisms produce oxidoreductases that play an essential role in degrading macromolecules. In sewage treatment, the DHA value of sewage sludge is often tested. The determination of sludge DHA differs from the method applied for soils. Incubation time is distinct, and the results are given in the volume of sludge.

The first biochemical step of biogas production is hydrolysis. Therefore, among the new quality assurance parameters DHA measurement successfully represents the efficiency of degradation. [4]

## RESULTS AND DISCUSSION

First, we analyzed the daily operational and laboratory parameters of the biogas plant. In the next step we compared these data with the measured enzyme activity values and drew conclusions about the two.

### Operational parameters of the biogas plant of Pécs

Tables 1 and 2 contain the mean values of the operational and laboratory parameters from November of 2019. These parameters characterize the average operation of the plant. The values represented are from the Eastern Tower, since the samples for our measurements were also obtained there.

Table 1

Operational values from November of 2019

| 2019. november                                   |                                    |                       |                        |                                         |                                          |                |
|--------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|----------------|
| Dry matter content of dehumidified sewage sludge | Amount of sludge sent to the tower | Fermenter temperature | Amount of gas produced | Methane content of the gas produced (%) | Specific gas production                  | Retention time |
| %                                                | m <sup>3</sup> /day                | °C                    | m <sup>3</sup> /day    | %                                       | m <sup>3</sup> gas/m <sup>3</sup> sludge | day            |
| 5,72                                             | 185                                | 37,59                 | 3173,26                | 60,20                                   | 18,65                                    | 24,4           |

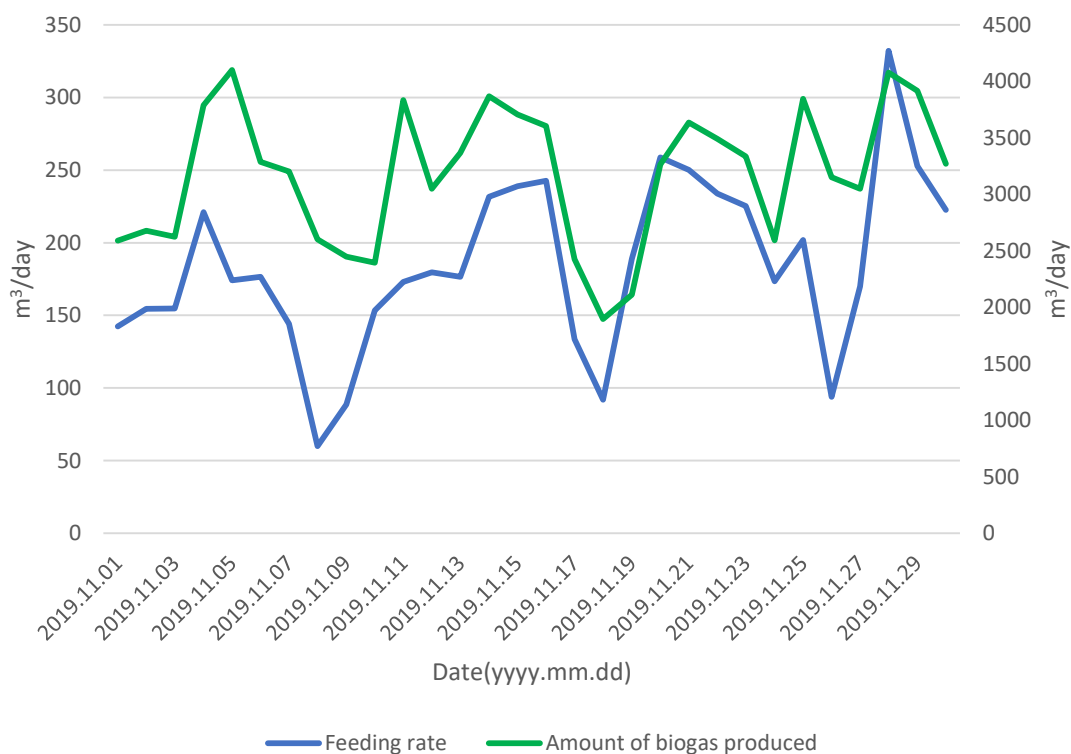
Table 2

Laboratory data from November 2019

| 2019. november                        |                                                   |                                |                                 |                                           |                                               |                                                           |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Alkalinity of the recirculated sludge | Volatile acid of recirculated sludge<br>DEGREMONT | Volatile acid/alkalinity ratio | pH value of recirculated sludge | Dry matter content of recirculated sludge | Organic matter content of recirculated sludge | Organic matter content of the dry content of recirculated |

|                         |               |             |             |              |              |           |
|-------------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------|
|                         |               |             |             |              |              | sludge    |
| <b>CaCO<sub>3</sub></b> | <b>mg/l</b>   | <b>-</b>    | <b>pH</b>   | <b>g/l</b>   | <b>g/l</b>   | <b>%</b>  |
| <b>3433,45</b>          | <b>181,82</b> | <b>0,05</b> | <b>7,37</b> | <b>24,86</b> | <b>16,11</b> | <b>65</b> |

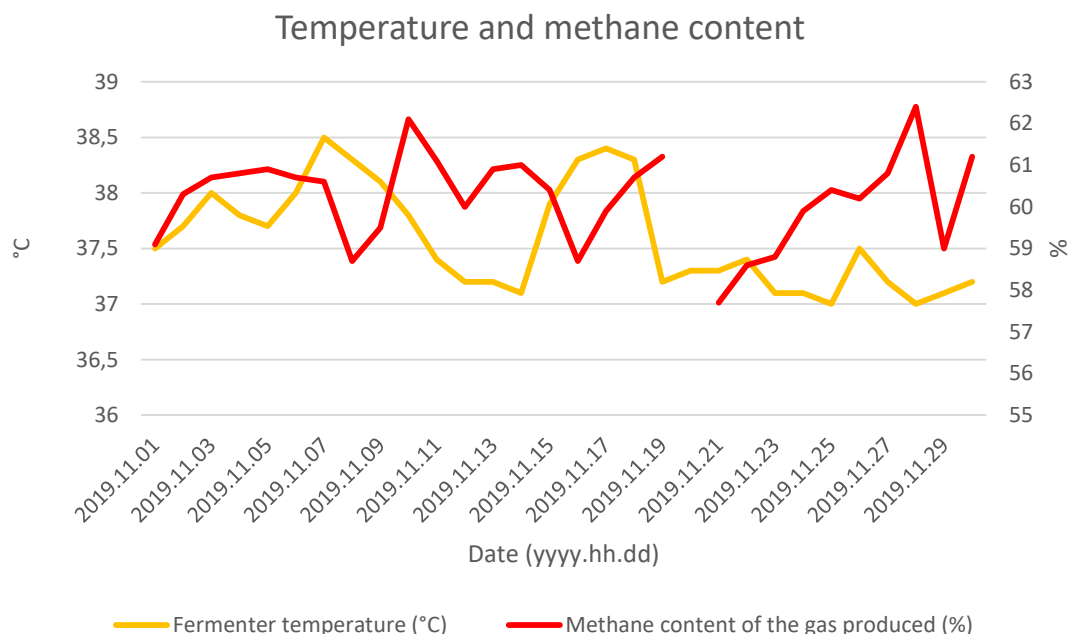
Figure 1 represents the close relation between feeding rate and biogas yield. Biogas yield primarily depends on the feeding rate. Changes in produced biogas quantity follow the changes in feeding rate closely, in only one day.



**Figure 1**

#### **Relation between substrate feeding rate and produced biogas quantity**

Figure 2 displays the temperature of the fermenter and the methane content of the produced biogas during our examined time frame. No significant correlation can be observed between these two parameters. However, as it is illustrated in Figure 2, biomethane content of the produced biogas highly depends on the substrate feeding rate. Currently there are too many variable circumstances to establish a link between methane content and the temperature of the fermenter. The connection between temperature and methane yield could be examined if the fermenters were fed with the same substrates at a fixed rate.



**Figure 2**

**Relation between the temperature of the fermenter and methane content of the produced biogas**

The correlation between substrate feeding rate and the methane content of produced biogas is not due to producing higher quality gas from more substrates. The main substrate, sewage sludge from the sewage treatment facility of Pécs, is produced at an approximately constant rate. It is complemented with other external substrates with a varying daily quantity. To counteract this variability, a buffer tank system is operated. Thus, the more external substrates received in any given day, the higher the daily substrate feeding rate is. Meanwhile, with more substrates fed into the fermenter, the proportion of substrates other than sewage sludge also increases. Therefore, the rise in methane content is thanks to the higher co-substrate rate.

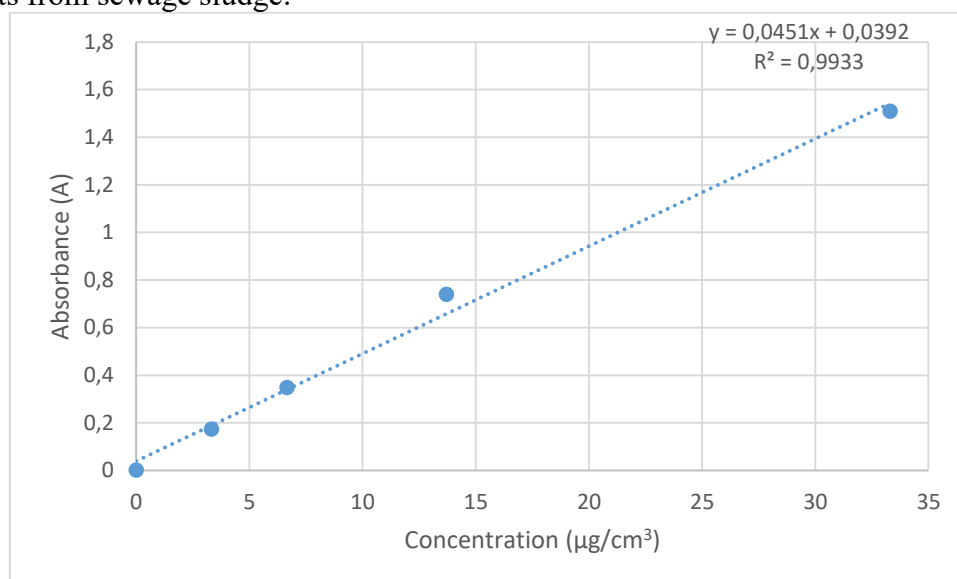
We calculated the concentrations of triphenyl formazan in our solutions and measured the absorbances with a spectrophotometer at 485 nm. Ethanol was used as reference. Results are showed in Table 3.

**Table 3**

**Calibration solution series of the 1,3,5 Triphenyl formazan**

| Calibration solution series           |                                                |                        |
|---------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|
| Composition:<br>solution +<br>ethanol | Concentration<br>( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) | Absorbance<br>(485 nm) |
| $0 \text{ cm}^3 + 30 \text{ cm}^3$    | 0                                              | 0                      |
| $1 \text{ cm}^3 + 29 \text{ cm}^3$    | 3,33                                           | 0,173                  |
| $2 \text{ cm}^3 + 28 \text{ cm}^3$    | 6,67                                           | 0,348                  |
| $5 \text{ cm}^3 + 25 \text{ cm}^3$    | 13,7                                           | 0,739                  |
| $10 \text{ cm}^3 + 20 \text{ cm}^3$   | 33,3                                           | 1,509                  |

From the measured absorbance values and the calculated triphenyl formazan concentrations, we determined the calibration curve (Figure 3). The curve was used to assess our results from sewage sludge:



**Figure 3**

#### 1,3,5 Triphenyl formazan calibration curve

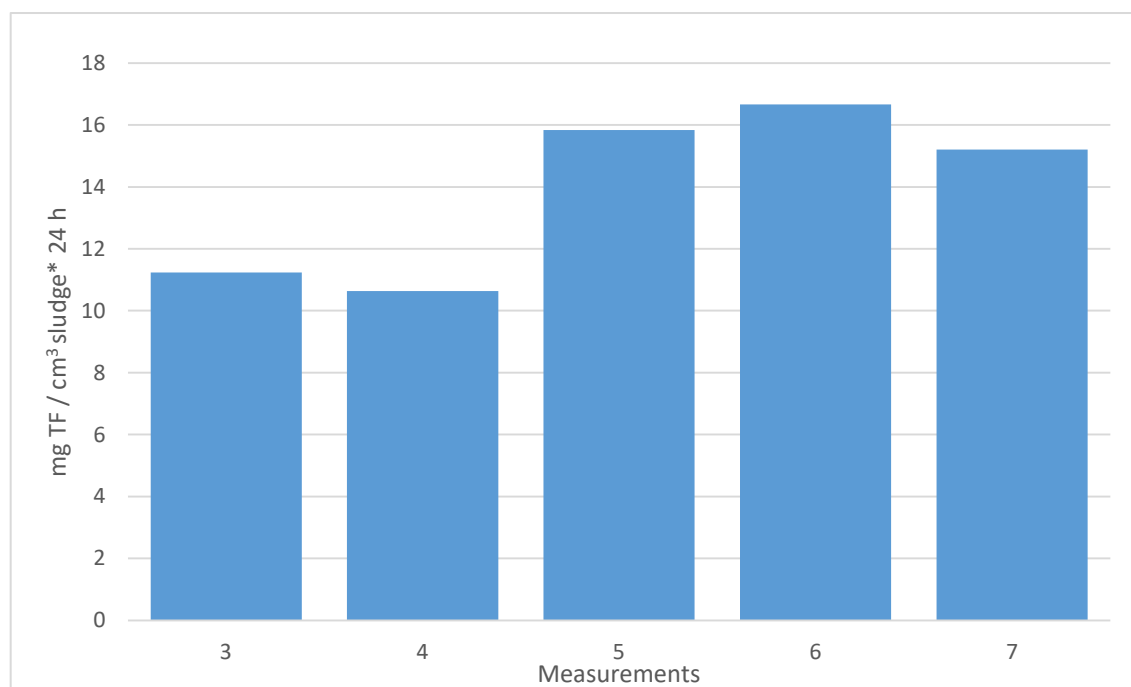
According to the calibration curve, the equation of line is  $y=0,045x$ . This equation was used to calculate the triphenyl formazan concentrations of our samples from their absorbances. Table **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** shows our measured absorbances and the calculated triphenyl formazan concentrations.

**Table 4**

#### Measured absorbances and calculated triphenyl formazan concentrations

| Measurement number | Absorbance      |       |       |       |       |                | Triphenyl formazan                    |
|--------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|---------------------------------------|
|                    |                 | 1     | 2     | 3     | Mean  | Corrected mean | mg TF / cm <sup>3</sup> sludge * 24 h |
|                    | 0ml (1ml water) | 1ml   | 1ml   | 1ml   |       |                |                                       |
| 1                  | 0,036           | 0,201 | 0,294 | 0,364 | 0,286 | 0,250          | 5,44                                  |
| 2                  | 0,036           | 0,403 | 0,390 | 0,437 | 0,410 | 0,374          | 8,13                                  |
| 3                  | 0,036           | 0,515 | 0,591 | 0,552 | 0,553 | 0,517          | 11,23                                 |
| 4                  | 0,036           | 0,489 | 0,595 | 0,492 | 0,525 | 0,489          | 10,64                                 |
| 5                  | 0,034           | 0,716 | 0,841 | 0,731 | 0,763 | 0,729          | 15,84                                 |
| 6                  | 0,035           | 0,824 | 0,770 | 0,810 | 0,801 | 0,766          | 16,66                                 |
| 7                  | 0,047           | 0,708 | 0,791 | 0,741 | 0,747 | 0,700          | 15,21                                 |

During our enzyme activity measurements, we had the opportunity to examine a unique period in the operation of the biogas plant. The delivery of external substrates stopped for 6 days due to the maintenance of the receiving unit. The fermenters were only fed with sewage sludge produced in the sewage treatment facility during these 6 days. Results from our measurements during this period are represented in Figure 4.



**Figure 4**

#### **Changes in dehydrogenase enzyme activity due to the suspense of external substrate feeding**

Measurement no. 3 was conducted before the suspense of receiving external substrates. After that, only sewage sludge was added to the fermenters. 5 days later, the dehydrogenase enzyme activity decreased by 8.5%, as seen in measurement no. 4. After maintenance, feeding of external substrates continued at a higher rate than usual, since companies tried to dispose of all of the waste materials produced during the suspense at once.

Measurement no. 5 was performed 1 day after the reintroduction of co-substrates at a higher rate than usual. Enzyme activity showed an increase of 41% in 1 day. The escalation of enzyme activity continued for days after. Finally, the microorganisms adapted to the changed circumstances and the enzyme activity decreased to the usual value.

## **CONCLUSION**

We determined that the proper analysis of the relation of methane content and the temperature of fermenter would require feeding the fermenters with the same substrates at a fixed rate, since there are too much variables at the moment to draw proper conclusions.

Dehydrogenase enzyme activity measurements enabled the monitoring of cellular activity of degrading microorganisms inside the fermenters. The cellular activity characterizes the speed of degradation. In the sewage treatment facility of Pécs, the dehydrogenase enzyme activity of the biogas plant (operating mainly on sewage sludge) varied between 5,44-16,66 mg triphenyl formazan / cm<sup>3</sup> sludge \* 24 h. Variation occurred mainly due to changes in substrate composition.

Our measurements revealed that the absence of co-substrates causes a decrease in enzyme activity. Upon reintroducing co-substrates into the system, enzyme activity peaked. Changes in biological activity were successfully monitored using enzyme activity measurements, therefore we conclude that enzyme activity measurements can be valuable assets in characterizing microbiological processes during fermentation.

## **ACKNOWLEDGEMENT**

The support of European Union and Hungarian State (grant agreement no. EFOP-3.6.2-16-2017-00010) is gratefully appreciated.



## REFERENCES

1. **Öllös, G., Oláh, J., Palkó, G.:** “Rothasztás” Magyar Víziközmű Szövetség, Budapest, 2010, pp. 32-97. 822-826. 895-933.
2. **Kovács, K., Bagi, Z. in Bai, A. et al:** “A biogáz előállítása” (szerkesztő), Szakkönyv, Szaktudás Kiadó Ház, ISBN 963 9553 39 5. Budapest, 2005. pp. 1-250
3. **Kardos, L.:** “A szennyvíztelepi biogáz termelő fermentációs folyamatok nyomon követése kémiai és biokémiai módszerekkel” 2012
4. **Somfai, D., Bicsák, L., Czakó-Vér, K., Suhajda, E., Kósa, D., Lemmer, B., Dolgosné, Kovács A., Dittrich, E.:** “Szennyvíziszap szubsztráttal üzemelő biogáz üzem fermentációs folyamatainak jellemzése dehidrogenáz enzim aktivitás aláján” III. RING – FENNTARTHATÓ NYERSANYAG-GAZDÁLKODÁS - III. SUSTAINABLE RAW MATERIALS KONFERENCIAKÖTET – PROCEEDINGS Sopron, Magyarország : Soproni Egyetem Kiadó, (2019) ISBN 978-963-334-353-1, pp. 242-246.

Zoltán Kalcsú, Zoltán Pásztory

*University of Sopron, Simonyi Károly Faculty of Engineering, Wood Sciences, Natural Resources Research Centre*

## **THE CIRCULAR ECONOMY AND RECYCLING OF SECONDARY RAW MATERIALS**

### **ABSTRACT**

The circular economy is playing an increasingly important role in everyday economic life. The impact of the related methodology processes is growing more and more in everyday practice. The European Union also considers this theme important and the support of the related initiatives and the regulations in individuals countries. A number of directives, studies and international cooperation projects help to promote the realization of the circular economy. A significant part of the process is the recycling of secondary raw materials and the waste-free utilization of raw materials. The emergence of the concept of industrial symbiosis also greatly facilitates the processes. The methodologies of recycling secondary raw materials can also be observed in Western Transdanubia, such as biogas utilization from sewage sludge, wastewater treatment, wood waste reutilizations, recycling of rubber in rubber asphalt composites, energy and thermal utilization of wood waste, bark, and heating with sawdust in buildings.

*Keywords: circular economy, industrial symbiosis, climate protection, recycling of secondary raw materials*

### **INTRODUCTION**

The circular economy is increasingly important as a key factor in the European Union today. In order to assess progress towards a more circular economy and the effectiveness of utilization in Hungary, it is important to have a set of reliable actions and research topics. The transition to a more circular economy, where the value of products, materials and resources is maintained in the economy for as long as possible, and the generation of waste is minimized, is an essential contribution to the EU's efforts to develop a sustainable, low carbon, resource efficient and competitive economy. The opportunity to transform our economy and generate new and sustainable competitive advantages for Europe is relevant these days. The circular economy will boost the EU's competitiveness by protecting businesses against scarcity of

resources and volatile prices, helping to create new business opportunities and innovative, more efficient ways of producing and consuming. Recycling of secondary raw materials and the waste-free utilization of raw materials is a significant part of the process.

## **CIRCULAR ECONOMY AND RECYCLING OF SECONDARY RAW MATERIALS**

Hungary does not yet have a specific plan for the promotion and support of industrial symbiosis and circular economy projects. Despite the fact that sustainable lifestyle and consumption was promoted in the 2007-2013 period, through the allocation of significant amounts of funding to local, regional and national campaigns and sample projects, sustainable development has been pursued systematically basically through the implementation of the EU 2020 Strategy aiming at intelligent, sustainable and inclusive growth in the form set out in the Partnership Agreement. The European Union Strategy aims to advance economic growth built on sustainable, high value added production and an extension of employment, and is based on the 2005 UN General Assembly resolution, confirming the 2000 Millennium Declaration, which identified three closely interrelated and interdependent dimensions of sustainable development: economic, social and environmental.

Hungary, the EU2020 Strategy is implemented through the interventions of Environment and Energy Efficiency Operational Program (EEEOP) that primarily aims to strengthen the environmental dimension of sustainability, yet, indirectly, to contribute to advancing economic growth as well. EEEOP includes policies and priorities that are very close to the goal of advancing industrial symbiosis, secondary raw material regulations and circular economy, especially with regards to the improvement of waste management and resource and energy efficiency policies in Hungary.

The development of a circular economy in Hungary is hindered by the lack of awareness of society. This is the reason why the awareness raising strategy of the EEEOP aims at large groups of society, and mostly the most receptive category, children, where the results can be actually measured in behavioral change.

Finally, in Hungary, the most important policies used to reduce the impact of constraining factors and to facilitate the development of industrial symbiosis, secondary raw material regulations and circular economy are the following:

EEEOP 3. Priority AXIS - 1. Measure: The development of separate collection and transport systems and EEEOP 3. Priority Axis - 2. Measure: The development of sub-systems in pre-treatment, recycling and disposal in terms of municipal waste.

The main target of the measure is to develop the existing separate waste collection system, increase its efficiency and reach in urban areas. More specifically, it aims to facilitate the utilization of municipal waste (paper, glass, plastic, biodegradable organic hazardous waste), to increase the separation of housing waste, and to establish appropriate collection points and recycling. It is also important to extract useful substances from municipal waste. The measure



supports the continued management of separately collected waste, the development of the necessary selection plants, as well as the establishment of complex waste management centers combining selection and biological and mechanical treatment.

Hungary needs to do the follow: establishment of waste collecting areas, increase the preparation prior to recycling, improve the sorting of collected waste, and use more of bio-waste. In the West-transdanubian Region there are many good examples of how the innovative companies have implemented the circular economy. For example, MOL and Pannon University developed a chemically stabilized rubber product with several years of research and development work, which in 2008 received a Technical Building License. With an annual capacity of 5,000 tonnes in Zalaegerszeg city, 150,000 tire crumbs have been reused, and 100-150 kilometres of pavement can be made with the finished rubber bitumen.

Also in this city, a biogas plant is located at the waste water treatment. The wastewater treatment plant treats approximately 50,000 – 60,000 m<sup>3</sup> of surplus activated sludge generated on site and sewage sludge imported from other local wastewater treatment plants within a 30 km radius. Sewage sludge is available and biogas is also produced as by-product. Biogas is used primarily for electricity and heating but produces vehicle fuel as well, which has almost the same quality and energy content as natural gas, which is used by CNG (compressed natural gas) vehicles.

At the University of Sopron, Simonyi Károly Faculty of Engineering, Wood Sciences, Natural Resources Research Centre there are many research studies in connection biowaste reutilization. Natural raw materials have been used for centuries. Of raw materials, wood and its bark have outstanding significance because of their special chemical components and unusual structure. Annual bark production is estimated to be between 300 and 400 million m<sup>3</sup>. The bark of different tree species has been used extensively in or in conjunction with modern technologies. The diversity of bark utilization derives from the variety of the bark of different species and from the possibilities encoded in the material.

Due to its low strength and inhomogeneous appearance after it is separated from wood, bark cannot or only to a very limited extent can be utilized. In the course of bark research, we aimed to broaden the utilization possibilities of the bark. One new method of recovery is to use bark as a thermal insulation material. The basic idea came from nature, as the bark protects the trunk of the tree from minor forest or bush fires. The bark not only provides mechanical and thermal protection for the wood, but also protects it against biological pests. To this end, it contains nanoparticles of compounds that inhibit the establishment and spread of biological pests.

This bark potential depends on processing biomass and bio-waste for different end-uses, The pine bark is suitable for thermal insulation boards, which have relatively low coefficients of thermal conductivity (0.064-0.074 W/mK). Moreover, the boards can be glued with tannin resin, free from formaldehydes and artificial resins, so it is more environmentally friendly. Sopron University is still in investigating thermal insulation panels made of black locust tree bark. The utilization of large amounts of bark coming from the timber harvesting process.

In another type of research, the Natural Resources Research Centre wanted to utilize the very large amount of sawdust waste as a raw material. During wood processing, wood particles are separated during almost all machining but their use is very limited. It is sometimes used as part of composition boards, as a filler in brick production and a trivial amount is burned for heating.

## CONCLUSIONS

The transition to a circular economy is a systemic change. In addition to targeted actions affecting each phase of the value chain and key sectors, it is necessary to create the conditions under which a circular economy can flourish and resources can be mobilized. Innovation will play a key part in this systemic change. In order to rethink our ways of producing and consuming, and to transform waste into high value-added products, we will need new technologies, processes, services and business models which will shape the future of our economy and society. Hence, support of research and innovation will be a major factor in encouraging the transition; it will also contribute to the competitiveness and modernization of industry in the EU.

Bio-based materials, biological resources, such as wood, bark, crops or fibers can be used for a wide range of products, construction, furniture, paper, food, textile, chemicals, etc. and energy production. The bioeconomy provides alternatives to fossil-based products and energy, and can contribute to the circular economy. Bio-based materials also has advantages linked to their renewability and biodegradability. On the other hand, using biological resources requires attention to their life cycle environmental impacts and sustainable sourcing. The multiple possibilities for their use can also generate competition for them.

National measures such as extended producer responsibility schemes for separate collection of wood can have a positive impact. The European Commission will work on identifying and sharing best practices in this sector and promote innovation; the revised legislative proposals on waste also include a mandatory target on recycling wood packaging waste and will promote synergies with the circular economy when examining the sustainability of bioenergy. The bio-based sector has also shown its potential for innovation in bio-waste reutilization, and new processes, which can be an integral part of the circular economy.

Bark utilization research has economic results, some of which are of international significance. These include a thermal insulation board made from bark, which produces an environmentally friendly product from current waste that can replace other non-environmentally friendly products (polystyrene, mineral wool). The other product is a thermal insulation board made from sawdust by a hydro fiber methodology. In this case, no chemicals are required to produce it and it does not contain an adhesive, although it has significant strength. Hydrogen bridges on cellulose chains are utilized as a binder “material”. Due to their environmental availability, the above products may also be of social significance.

## REFERENCES

European Comission (2015): Closing the loop – An EU action plan for the circular economy, Brussels

Pásztory Zoltán, Mohácsiné Ronyec Ildikó, Galina Gorbacseva, Börösök Zoltán (2016): The utilization of tree bark, *BioRes.* 11 (3), 7859-7888,

Region of Malopolska (2017): Comparative analysis study of regional and national policies on industrial symbiosis and circular economy, Krakow, SYMBI project

Pannon Novum Nonprofit Kft. (2017): Successful examples and public privet partnerships for the exchange of experience process, in particular the development of the regional action plan, Szombathely, SYMBI project

Pásztory Zoltán, Börösök Zoltán, Dimitros Tsalagkas (2019): Density optimization for the manufacturing of bark-based thermal insulation panels, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science

Börösök Zoltán, Adamik Péter és Pásztory Zoltán (2019): Fakéreg hasznosítási lehetőségek áttekintése, Sopron, Erdészettudományi Közlemények, 113-138. oldal,

Pásztory Zoltán, Dimitrios Tsalagkas, Horváth Norbert, Börösök Zoltán (2019): Insulation Panels Made from Thermally Modified Bark, *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 15 (1):23-34

Pásztory Zoltán, Halász Katalin, Börösök Zoltán (2019): Formaldehyde Adsorption-Desorption of Poplar Bark, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* volume 103, pages745–749 (2019)

## THE ROLE OF LIGNIN PLASTICIZATION IN SOME WOODWORKING PROCESSES

### ABSTRACT

Wood is a mixture of polymers, composed of cellulose microfibrils and amorphous hemicellulose and lignin molecules. The lignin phenyl propane units create chains, which are crosslinked in an amorphous, highly branched three-dimensional structure, linked to the cellulose fibrils through the hemicelluloses. The components of the wood can behave similarly to the artificial polymers: the state of it can be glassy, elastic and melted.

The moist lignin softens at about 100°C and allows the molecules to move in the cell walls. The moist hemicellulose and amorphous cellulose are in elastic state in these conditions, so during the described industrial processes, when the wood softens, the lignin plays the main role, but of course other physical and chemical reactions take place too. All of these reactions contribute to the end result of the process, but this review did not aim to map these reactions in detail, but rather to provide a summary of the industrial processes where lignin softening may play a role. These processes are pellet manufacturing, binderless panel manufacturing, wood welding, wood bonding, wood surface compacting, and veneer manufacturing by peeling.

**Keywords:** glass transition temperature, lignin, melting, plasticization, wood

### INTRODUCTION

Wood composed of partially crystalline cellulose microfibrils, hemicellulose and amorphous lignin molecules. Lignin is built up from phenyl propane units, the chains of it are crosslinked in a three-dimensional structure. Lignin linked to the cellulose fibrils through the hemicelluloses (Rowell et al. 2005). The amount of lignin varies between species, tissues, cell types, and cell wall layers. The greatest concentrations of lignin were found in the compound middle lamella and the cell corners; lower concentrations were found in the secondary cell walls (Fergus et al. 1969; Westermarck et al. 1988; Fromm et al. 2003; Gierlinger and Schwanninger 2006). Although the lignin concentration in the middle lamella and in the cell corners is high, the volume of the secondary cell wall layers is much higher, so most of the lignin was located in the secondary walls (Fergus and Goring 1970a, 1970b; Adler 1977, Saka and Goring 1985). The lignin concentration of the vessel wall is higher than that of the fiber, while ray parenchyma cells have a lower lignin concentration than that of the fibers (Saka and Goring 1985).

The state of a polymer can be glassy, elastic and melted. In the glassy state, the parts of the polymer macromolecule can only oscillate. If the temperature is increasing, the internal energy of the molecule is increasing too and the parts and segments of the molecules can move, but the relative position of the center of mass of the molecular does not change. This is the flexible state, where the polymer has a high degree of reversible deformation. The further internal energy

growth melt the polymers, where the molecules move relative to one another and the polymers flow (Miskolczi 2012). Many amorphous polymers change from a glassy state to a rubbery, elastic state above a certain temperature, called the glass transition temperature ( $T_g$ ), as they plasticize (Hatakeyama and Hatakeyama 2010; Miskolczi 2012).

The temperature required for lignin to transition to glass ( $T_g$ ) is influenced by a number of factors, such as the presence of rigid phenolic side groups on the main chain, the presence of crosslinking, the number of bonds between chains, hydrogen bonds, its molecular weight, species, lignin conformation, and thermal pre-history, etc. (Chow and Pickles 1971; Gellerstedt 2015; Furuta et al. 2008; 2010; Hatakeyama and Hatakeyama 2010). When dry, the differences in the glass transition temperature of cellulose, hemicellulose and lignin is not big: 200 to 250°C for the amorphous region of cellulose, 150 to 220°C for hemicelluloses, and around 205°C for lignin (Goring 1963; Back and Salmén 1982). Many researchers have found that water molecules can break hydrogen bonds inside and between large molecules and segmental motion can occur easily, so the  $T_g$  of lignin decreases with increasing moisture content until the wood or the lignin reaches its water saturated point (Goring 1963; Back and Salmén 1982, Morsing and Hoffmeyer 1998; Hatakeyama and Hatakeyama 1998, 2010).

Other wood constituents in a native wood cannot be separated from lignin. The softening temperature of native hemicellulose under dry conditions is around 180°C (Back and Salmén 1982; Olsson and Salmén 2003). Water works like plasticizer and decreases the glass transition temperature of the hemicelluloses too: at 20% water content it is around 50°C, at 30% it is around room temperature (Back and Salmén 1982; Olsson and Salmén 2003; Navi and Sandberg 2012). The amorphous regions of cellulose behave similarly.

This type of wood softening – mainly the lignin – is used in several industrial processes, namely: pellet manufacturing, binderless panel manufacturing, wood welding, wood bonding, wood surface compacting, and veneer manufacturing by peeling. Of course, during these industrial processes, in addition to softening of other components, other physical and chemical reactions take place, all of which contribute to the end result of the process. We did not aim to map these reactions in detail, but rather to provide a summary of the industrial processes where lignin softening may play a role.

## WOOD WELDING

Frictional wood welding is a relatively new technology for creating wood joints but this technique is widely used in the plastics industry (Ganne-Chédeville et al. 2006). The welding processes can be classified as linear, orbital and rotational friction welding (Ruponen et al. 2015). During the welding process, no need to add other material to the system, the welded pieces of wood are friction together to provide the necessary energy. After a few seconds (3-10 s) of friction, at a temperature of about 320-350°C, the wood surfaces start to decompose at the increased temperature. The wood next to the rubbed surfaces starts to soften, forming a viscous film. After reaching the maximum temperature about 420-450°C the frictional movement is terminated, but the joined parts are held together. The final cooling down leads to solidification of the interfacial film forming the connection between the wood parts (Stamm et al. 2005b).

The mechanism of welding is, in addition to the chemical reactions that take place, due to the temperature-induced softening, flowing and solidification of the intercellular material, mainly amorphous polymers: lignin and hemicelluloses (Stamm et al. 2005a). This flow of material induces high densification of the bonded interface (Ganne-Chédeville et al. 2006; Pizzi 2017). The physical entanglement of the fibers interconnected as a result of friction can improve the

connection. In the brief pressure-holding phase immediately after welding, chemical reactions occur. The main reactions are the formation and self-condensation of furfural and the cross-linking reaction of lignin with carbohydrate-derived furfural (Pizzi 2017).

The chemical changes during the friction welding similar to fast pyrolysis at lower pyrolysis temperature: bonds broke, free radicals are formed, which are then participate in re-polymerization and side-chain conversions (Kawamoto 2017). In these temperature ranges, only the amorphous components of wood are affected, lignin, hemicelluloses, and the amorphous cellulose. The amount of typical bonds of phenylpropane units decreases, while furfural and furan derivatives from hemicelluloses react with the lignin (Belleville et al. 2013; Sun et al. 2010).

The welded bondline is a mass of entangled long wood cells immersed in a matrix of amorphous, fused intercellular material, mostly lignin but also including some hemicelluloses. The bonding line can separate to melting zone, where the wood polymers are melted, decomposed and partly charred; to fully plasticized and deformed zone, where the polymers are plasticized and the cells are deformed, and a partial deformed region, where the cells are distinguished, but some of them deformed (Ganne-Chédeville et al. 2006).

The quality of a friction welding joint correlates with several welding parameters, such as welding pressure, frequency, time, holding pressure and time, amplitude or displacement, wood species, orientation of the grains, EMC, and specimen dimensions, chemical composition etc. (Kanazawa et al. 2005; Ganne-Chédeville et al. 2006, 2008; Belleville et al. 2018).

## PELLET MANUFACTURING

Ligno-cellulosic materials can be densified by pelletizing, briquette or cube making. During this process, the particles are forced together by applying mechanical force and inter-particle bonding is created (Tumuluru et al. 2010; Kaliyan and Morey 2010). The name ‘pellet’ is usually used for product less than 15 mm in diameter, while ‘briquette’ is generally a larger densified material unit. Several studies examined the compression different raw materials such as wood, wood waste and bark, forest residues, straws, grasses (wheat, barley, corn etc.), olive cake (waste), palm fiber and shell. Since pellet production has been studied most frequently and in most detail, this is described in the next sections, although most statements are true for other densifying procedures (Tumuluru et al. 2010).

During the process, the size of the raw material is reduced by milling or grinding, and conditioned to an appropriate moisture content either by drying or moisturizing. In most cases the particles of raw material are forced through a channel. In a pellet mill the pressure is 100–150-200 MPa (Kaliyan and Morey 2009). The pelletizing process generates heat that maintains the temperature of the operating die at 110-130°C (Nielsen et al. 2009). During pelleting, the raw material with 8-15% moisture content the lignin softens around 110-135°C (Kuokkanen et al. 2011; Kaliyan and Morey 2009). As the pellets cool, lignin hards again and the pellet strength increases.

Macroscopically two binding mechanisms can be distinguished: solid bridges between particles (Stelte et al. 2011a; Serrano et al. 2011) and other bonding with , hydrogen bridges, van der Waals’ forces, electrostatic, and magnetic forces (Kaliyan and Morey 2010). Due to the application of high pressures and temperatures, solid bridges can develop by diffusion of molecules from one particle to another at the points of contact and are formed by a chemical reaction, hardening of the binders, and solidification of the melted components (Kaliyan and Morey 2010). Pressure, heat above glass transition temperature, and a solvent such as water are used to promote adhesion by increasing the molecular contact.

Several factors were found to influence the process and the result of the densification experiments (Kaliyan and Morey 2009). The increasing temperature and MC decreased the energy requirements for pellet manufacturing (Nielsen et al. 2009). The increasing temperature of die increases the pellet density, decreases the dimensional expansion, and increases the tensile strength of the pellets. (Kaliyan and Morey 2006). Decreasing the particle size increases the pellet density, decreases their expansion, and increases the tensile strength of the pellets (Lehtikangas 2001).

The biochemical characteristics of the raw material are also very important, higher lignin and extract content has a positive effect on the durability (Bradfield and Levi 1984; Lehtikangas 2001; Stelte et al. 2011a; Serrano et al. 2011).

Pretreatment of the raw material generally increases the pellet density and durability by activating lignin (Shaw 2008; Zandersons et al. 2004).

## **WOOD SURFACE DENSIFICATION**

The process of densifying wood by compression requires four steps (Kutnar and Šernek 2007; Rautkari et al. 2011): 1. plasticization of the cell wall, 2. compression perpendicular to the grain in the softened state, 3. cooling and drying in the deformed state, and 4. fixation of the deformed state to eliminate the shape memory effect. The density is increasing, the color of the wood become darker and the EMC is reduced (Arruda et al. (2015).

In the first the cell wall should soften. The temperature should be at least 25°C higher than  $T_g$  of lignin, between 80-140°C, the moisture content is near the saturation point. Under these conditions, lignin, hemicelluloses and the semi-crystalline cellulose are relatively mobile and can be deformed easily. (Kutnar and Šernek 2007; Kutnar et al. 2009; Rautkari et al. 2011).

Pressing changes the wood morphology, is buckling the cell walls and reducing the volume of void spaces, but a non-uniform density profile is created as the surface becomes denser (Kutnar et al. 2009).

When compressed wood meets with water, it approximates its original dimensions. This effect occurs because internal stresses are introduced into the cell walls during compression, which can be completely eliminated by heat and/or steam treatment (Morsing and Hoffmeyer 1998; Wolcott and Shutler 2003, Kutnar et al. 2009).

## **BINDERLESS BOARDS MANUFACTURING**

Due to its environmentally friendly properties, many researchers tried to produce fiber or particle boards without adhesive or using bio-based adhesives such as sugars or lignin. Binderless fibreboards have been produced for decades and several types of raw material were used: bark, rice and wheat straw, kenaf, banana stems, coconut husks, bagasse, oil, soybean straw and bamboo etc.

Several parameters influence the physical and mechanical properties of the panels: chemical composition (Widyorini et al. 2005; Lui et al. 2018), particle size and geometry (Widyorini et al. 2011; Kurokuchi and Sato 2015a; 2015b; Lui et al. 2018; Ahmad et al. 2019), pressing temperature (Boon et al. 2013; Milawarni et al. 2019; Song et al. 2020), pressing time (Boon et al. 2013), pressure (Boon et al. 2013); water content (Widyorini et al. 2005), pretreatment (Xu et al. 2006) etc. Trichomes and wart-like protuberances on the epidermis of herbaceous straw might inhibit the bonding between particles. Wax-like substances on the epidermis of rice straw might

contribute to the water resistance of the board but inhibited the adhesion of the particles (Kurokuchi and Sato 2015a; 2015b).

The chemical composition of the different biomasses is similar to wood, the main components are the same: cellulose, lignin, hemicelluloses. The bonds between the bio particles are based on chemical and physical interactions during the hot pressing between various components of the particles (Hubbe et al. 2018). In fiberboard production, during thermomechanical pulping, woodchips are converted to lignin-covered fibers by shearing wood fibers along the lignin-rich middle lamellae. Halvarsson et al. (2009), Wang et al. (2017) and Laine et al. (2019) suggested that lignin has an important role in binderless board production due to the softening of lignin at elevated temperatures and under pressure, fibers with lignin-rich surfaces fuse together as the softened lignin molecules flow from one fiber surface to another one, and possibly form covalent bonds too, the role of the softened lignin can't be separated from the chemical changes.

During hot pressing several chemical reactions have been observed: hydrolysis of the hemicelluloses occurs (Xu et al. 2006; Zhang et al. 2015), mainly furfural is formed. Linkages between the lignin and furfural monomers are formed or self-polymerization occurs during the pressing, which provided the main self-bonding strength of binderless fiberboards (Zhang et al. 2015).

The surfaces of the particles and fibers can be activated by different pretreatments, the amount of the chemical bonds can be increased. Fenton's reagent contains ferrous chloride and hydrogen peroxide, hydroxyl radicals are generated by decomposition of hydrogen peroxide with the assistance of ferrous ions. In the end reactive components formed in lignin, the properties of the boards is improved (Halvarsson et al. 2009; Zang et al. 2015). Enzymatic systems also can activate lignin on fiber surfaces by generating free radicals (Pereira et al. 2005; Nyanhongo et al. 2010). Steam explosion also can improve the panel properties (Anglès et al. 1999; 2001; Gao et al. 2011).

## **SOLID WOOD BENDING**

Wood bending is one of the oldest wood processing techniques. Long experience has evolved from the practice of bending techniques and skilled craftsmen can apply them. Plasticizing treatments can soften wood sufficiently to enable it to make a curve (Peck 1957). The plasticity of wood can be increased by increasing the moisture and/or temperature of the wood. Hot water and steam are commonly used treatments to prepare wood for bending. Some chemicals can also soften wood. The glass transition temperature ( $T_g$ ) of the lignin in moist wood is 80-100°C. Above  $T_g$  the lignin undergoes thermoplastic flow and resets in the modified configuration when cooling. This is the principle behind bending of wood (Nakajima et al. 2009; Ibach 2010). Heat and moisture make certain species of wood sufficiently plastic for bending operations. In general, hardwoods are more readily softened than softwoods, and certain hardwoods more so than others (Peck 1957).

The temperature of saturated steam at atmospheric pressure, about 100°C or boiling or nearly boiling water, is generally sufficient to plastify wood for bending. When chemicals are used for plasticization, the connections between the matrix (lignin) and cellulose and the ties between the cell walls loosen. The chemical plasticization commonly uses water solutions of ammonia, urea, dicyandiamide, ethylenediamine, and ammonia (Angelski 2014). The high-frequency microwave heating of wood is also used for plasticization (Ibach 2010; Gašparík and Gaff 2013).



## VENEER MANUFACTURING

Several factors have effect on veneer manufacturing and veneer quality (Olufemi 2012). Successful veneer production requires wood softening. The heating of green wood prior to peeling has traditionally been accomplished by immersing the whole logs in hot water basins or by steaming them in vats.

During soaking or steaming the wood softens, and the deformability of wood is increasing (Baldwin 1975, Bardet et al. 2003, Yamauchi et al. 2005). Under optimal conditions, shallower lathe checks formed (Rohumaa et al. 2016a, 2016b, 2016c). For this purpose, the temperature should exceed the glass transition temperature  $T_g$ , of lignin at the MC of green wood across the log. This softening reduces the required energy (Dupleix et al. 2012; 2013; Xu et al. 2017), because the shear strength of the wood decreases and less pressure needed on the knife during peeling. This reduces the power consumption and reduces wear of the tools and the quality of the veneer is improved as influencing the formation of lathe checks and other surface quality (Dupleix et al. 2012; Olufemi 2012; Rohumaa et al. 2016a, 2016b, 2016c).

## SUMMARY

Lignin softening plays a role in several woodworking processes, which are basically divided into two groups. The first group includes processes where lignin softens or possibly liquefies, and the soft lignin penetrates into the adjacent particles and cell walls, and acts as an adhesive. This includes wood welding, the manufacture of binderless boards or manufacturing pellets. The other group consists of processes where the wood has to undergo some deformation and therefore the cell walls and the materials that compose the cell wall must move relative to one another. This group includes veneer manufacturing, solid wood bending and surface densification. We hope that a better understanding of these processes can help improve the manufacturing processes.

## ACKNOWLEDGEMENT

The work was carried out as part of the "Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017", EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

- [1] **Adler, E.:** Lignin chemistry – past, present and future. Wood Science and Technology 1977, 11(3):169-218.
- [2] **Ahmad, Z., Tajuddin, M., Maleque, M. A., Halim, Z.:** Effects of particle sizes on the properties of binderless boards made from rattan furniture waste. Journal of Engineering Science 2019, 15:49-61.
- [3] **Angelski, D. H.:** Comparative analysis of methods for plastification of solid wood. Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies 2014, 8:346-354.

- [4] **Anglès, M.N., Ferrando, F., Farriol, X., Salvadó, J.:** Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels: Effect of the pre-treatment severity and lignin addition. *Biomass and Bioenergy* 2001, 21:211-224
- [5] **Anglès, M. N., Reguant, J., Montané, D., Ferrando, F., Farriol, X., Salvado, J.:** Binderless composites from pretreated residual softwood. *Journal of Applied Polymer Science* 1999, 73:2485-2491
- [6] **Arruda, L. M., Del Menezzi, C. H. S., de Andrade, A.:** Utilization of a thermomechanical process to enhance properties of hardwood used for flooring. *Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)* 2015, 6(3):223-231.
- [7] **Back, E. L., Salmén, L.:** Glass transitions of wood components hold implications for molding and pulping processes. *TAPPI Journal of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry* 1982, 65(7):107-10
- [8] **Belleville, B., Stevanovic, T., Cloutier, A., Pizzi, A., Prado, M., Erakovic, S., Diouf, P. N., Royer, M.:** An investigation of thermochemical changes in Canadian hardwood species during wood welding. *European Journal of Wood and Wood Products* 2013, 71:245-257.
- [9] **Boon, J. G., Hashim, R., Sulaiman, O., Hiziroglu, S., Sugimoto, T., Sato, M.:** Influence of processing parameters on some properties of oil palm trunk binderless particleboard. *European Journal of Wood and Wood Products* 2013, 71:583-9.
- [10] **Bradfield, J., Levi, M. P.:** Effect of species and wood to bark ratio on pelleting of southern woods. *Forest Products Journal* 1984, 34:61-3
- [11] **Chow, S.-Z., Pickles, K. J.:** Thermal softening and degradation of wood and bark. *Wood and Fiber Science* 1971, 3(3):166-178
- [12] **Dupleix, A.:** Feasibility of wood peeling assisted by infrared heating. Doctoral Dissertation 200/2013, Aalto University, Helsinki, Finland ISBN 978-952-60-5465-0 (pdf), 2013
- [13] **Dupleix, A., Denaud, L., Bléron, L., Marchal, R.:** The effect of log heating temperature on the peeling process and veneer quality: beech, birch, and spruce case studies. *European Journal of Wood and Wood Products* 2012, 71(2):163-171.
- [14] **Fergus, B. J., Procter, A. R., Scott, J. A. N., Goring, J. A. N.:** The distribution of lignin in sprucewood as determined by ultraviolet microscopy. *Wood Science and Technology* 1969, 3(2):117-138.
- [15] **Fergus, B. J., Goring, D. A. I.:** The location of guaiacyl and syringyl lignins in birch xylem tissue. *Holzforschung* 1970a, 24(4):113-7.
- [16] **Fergus, B.J., Goring, D. A. I.:** The distribution of lignin in birch wood as determined by ultraviolet microscopy. *Holzforschung* 1970b, 24(4):118-124.
- [17] **Fromm, J., Rockel, B., Lautner, S., Windeisen, E., Wanner, G.:** Lignin distribution in wood cell walls determined by TEM and backscattered SEM techniques. *Journal of Structural Biology* 2003, 143:77-84.
- [18] **Furuta, Y., Kojiro, K., Nakatani, T., Nakajima, M., Ishimaru, Y.:** The dynamic viscoelastic properties of wood in nonequilibrium states. *Journal of the Society of Materials Science, Japan* 2008, 57(4):338-43.
- [19] **Furuta, Y., Nakajima, M., Nakanii, E., Ohkoshi, M.:** The effect of lignin and hemicellulose on thermal-softening properties of water-swollen wood. *Mokuzai Gakkaishi* 2010, 56(3):132-8.
- [20] **Ganne-Chédeville, C., Properzi, M., Leban, J.-M., Pichelin, F.:** Parameters of wood welding: A study with infrared thermography. *Holzforschung* 2006, 60:434-8.

- [21] **Ganne-Chédeville, C., Properzi, M., Leban, J. M., Pizzi, A., Pichelin, F.:** Wood welding: Chemical and physical changes according to the welding time. *Journal of Adhesion Science and Technology* 2008, 22:761-73.
- [22] **Gao, Z., Wang, X.-M., Wan, H., Brunette, G.:** Binderless panels made with black spruce bark. *BioResources* 2011, 6(4): 3960-72.
- [23] **Gašparík, M., Gaff, M.:** Identification of factors influencing the maximum flexure of beech wood plasticized by microwave heating. *Cellulose Chemistry and Technology* 2013, 47(7-8):573-81.
- [24] **Gellerstedt, G.:** Softwood kraft lignin: Raw material for the future. *Industrial Crops and Products* 2015, 77: 845-54.
- [25] **Gierlinger, N., Schwanninger, M.:** Chemical imaging of poplar wood cell walls by Confocal Raman Microscopy. *Plant Physiology* 2006, 140:1246-54.
- [26] **Goring, D. A. I.:** Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose. *Pulp and Paper Research Institute of Canada* 1963, 64:517-27.
- [27] **Halvarsson, S., Edlund, H., Norgen, M.:** Manufacture of non-resin wheat straw fibreboards. *Industrial Crops and Products* 2009, 29:437-45.
- [28] **Hatakeyama, H., Hatakeyama, T.:** Interaction between water and hydrophilic polymers. *Thermochimica Acta* 1998, 308:3-22.
- [29] **Hatakeyama, H., Hatakeyama, T.:** Thermal properties of isolated and in situ lignin. In: Heitner, C., Dimmel, D., Schmidt, J. (eds.): *Lignin and Lignans: Advances in Chemistry*. CRC Press, New York, pp. 301-16. 2010
- [30] **Hubbe, M.A., Pizzi, A., Zhang, H., Halis, R.:** Critical links governing performance of self-binding and natural binders for hot-pressed reconstituted lignocellulosic boards without added formaldehyde: A review. *Bioresources* 2018, 13(1): 2049-115.
- [31] **Ibach, R.E.:** Specialty treatments. In: *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190. pp 19.1-19.16, 2010
- [32] **Kaliyan, N., Morey, R.V.:** Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy* 2009, 33:337-59.
- [33] **Kaliyan, N., Morey, R.V.:** Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource Technology* 2010, 101:1082-90.
- [34] **Kanazawa, F., Pizzi, A., Properzi, M., Delmotte, L., Pichelin, F.:** Parameters influencing wood-dowel welding by high-speed rotation. *Journal of Adhesion Science and Technology* 2005, 19(12):1025-38.
- [35] **Kawamoto, H.:** Lignin pyrolysis reactions. *Journal of Wood Sciences* 2017, 63:117-32.
- [36] **Kuokkanen, M., Vilppo, T., Kuokkanen, T., Stoor, T., Niinimäki, J.:** Additives in wood pellet production – A pilot-scale study of binding agent usage. *BioResources* 2011, 6(4):4331-55.
- [37] **Kurokochi, Y., Sato, M.:** Properties of binderless board made from rice straw: The morphological effect of particles. *Industrial Crops and Products* 2015a, 69:55-9.
- [38] **Kurokochi, Y., Sato, M.:** Effect of surface structure, wax and silica on the properties of binderless board made from rice straw. *Industrial Crops and Products* 2015b, 77:949–53.
- [39] **Kutnar, A., Kamke, F. A., Šernek, M.:** Density profile and morphology of viscoelastic thermal compressed wood. *Wood Science and Technology* 2009, 43:57-68.
- [40] **Kutnar, A., Šernek, M.:** Densification of wood. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 2007, 82:53-62

- [41] **Laine, C., Willberg-Keyriläinen, P., Ropponen, J., Liitiä, T.:** Lignin and lignin derivatives as components in biobased hot melt adhesives. *Journal of Applied Polymer Science* 2019, 136:47983.
- [42] **Lehtikangas, P.:** Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy* 2001, 20:351-60.
- [43] **Lui, F. H. Y., Kurokuchi, Y., Narita, H., Saito, Y., Sato, M.:** The effects of chemical components and particle size on the mechanical properties of binderless boards made from oak (*Quercus* spp.) logs degraded by shiitake fungi (*Lentinula edodes*). *Journal of Wood Science* 2018, 64:246-55.
- [44] **Milawarni, Nurlaili, Sariadi, Amra, S, Yassir:** Influence of press temperature on the properties of binderless particleboard. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 536: 012066. International Conference on Science and Innovated Engineering (I-COSINE), 2019
- [45] **Miskolczi, N.:** Műanyagok kémiaja és technológiája. Pannon Egyetem, 2012
- [46] **Morsing, N., Hoffmeyer, P.:** Densification of Wood: The influence of hygrothermal treatment on compression of beech perpendicular to grain. Kgs. Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark (DTU). (BYG-Rapport; No. R-79). 1998
- [47] **Nakajima, M., Furuta, Y., Ismiaru, Y., Ohkoshi, M.:** The effect of lignin on the bending properties and fixation by cooling of wood. *Journal of Wood Science* 2009, 55:258-63.
- [48] **Navi, P., Sandberg, D.:** Thermo-hydro-mechanical processing of wood. EPFL Press, Lausanne, Switzerland. 2012
- [49] **Nielsen, N. P. K., Gardner, D. J., Poulsen, T., Felby, C.:** Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into pellets. *Wood and Fiber Science* 2009, 41(4):414-25.
- [50] **Nyanhongo, G. O., Kudanga, T., Prasetyo, E. N., Guebitz, G. M.:** Mechanistic insights into laccasemediated functionalisation of lignocellulose material. *Biotechnol Genet Eng* 2010, 27:305-29.
- [51] **Olsson, A. M., Salmén, L.:** Chapter 13 - The softening behavior of hemicelluloses related to moisture. In: Gatenholm P, Tenkanen M: *Hemicelluloses: Science and Technology*; ACS Symposium Series 864; American Chemical Society: Washington, DC, 2003
- [52] **Olufemi, B.:** Yield and mechanical properties of veneer from *Brachystegia nigerica*. *Journal of Forestry Research* 2012, 23: 295-8.
- [53] **Peck, E. C.:** Bending solid wood to form. *Agriculture Handbook No. 125*. USDA Forest Service, 1957
- [54] **Pereira, L., Bastos, C., Tzanov, T., Cavaco, P. A., Guebitz G. M.:** Environmentally friendly bleaching of cotton using laccases. *Environ Chem Lett* 2005, 3(2):66-9.
- [55] **Pizzi, A.:** Chapter 6: Wood welding without adhesives. In: Davim J.P., Aguilera A. (eds.): *Wood Composites: Materials, Manufacturing and Engineering Vol. 6. Advanced Composites*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG. ISBN 9783110416084. pp 133-46, 2017
- [56] **Rautkari, L., Laine, K., Laflin, N., Hughes, M.:** Surface modification of Scots pine: The effect of process parameters on the through thickness density profile. *J. Mater. Sci.* 2011, 40:4780-6.
- [57] **Rohumaa, A., Antikainen, T., Hunt, C. G., Frihart, C. R., Hughes, M.:** The influence of log soaking temperature on surface quality and integrity performance of birch (*Betula pendula* Roth) veneer. *Wood Science and Technology* 2016a, 50:463-74.

- [58] **Rohumaa, A., Hunt, C. G., Hughes, M., Frihart, C. R., Kers, J.:** Lathe check formation and their impact on evaluations of veneer-based panel bond quality. Proceedings of WCTE 2016 - World Conference on Timber Engineering, ISBN: 9783903039001 8 pp., 2016b
- [59] **Rohumaa, A., Yamamoto, A., Hunt, C. G., Frihart, C. R., Hughes, M., Kers, J.:** Effect of log soaking and the temperature of peeling on the properties of rotary-cut birch (*Betula pendula* Roth) veneer bonded with phenol-formaldehyde adhesive. BioResources 2016c, 11(3):5829-38.
- [60] **Rowell, R. M., Pettersen, R., Han, J. S., Rowel, J. S., Tshabalala, M. A.:** Chapter 3: Cell wall chemistry. In: Rowell R.M. (ed.): Handbook of wood chemistry and wood composites. CRC Press ISBN: 9780849315886, pp 35-74. 2005
- [61] **Ruponen, J., Čermá, P., Rhème, M., Miettinen, A., Rohumaa, A., Rautkari, L.:** Influence of welding time on tensile-shear strength of linear friction welded birch (*Betula pendula* L.) wood. BioResources 2015, 10(2):3481-61.
- [62] **Saka S., Goring D. A. I.:** Chapter 3: Localization of lignin in wood cell walls. In: Takayoshi Higuchi (ed.) Biosynthesis and biodegradation of wood components. Elsevier, ISBN: 978-0-12-347880-1, 1985:
- [63] **Serrano, C., Monedero, E., Lapuerta, M., Portero, H.:** Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. Fuel Processing Technology 2011, 92:699-706.
- [64] **Shaw, M.:** Feedstock and process variables influencing biomass densification. MsC Thesis, Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, 2008
- [65] **Song, X., Wang, X., Kito, K.:** Effects of heating temperature on the properties of bio-board manufactured by using soybean straw. Materials 2020, 13(3):662.
- [66] **Stamm, B., Windeisen, E., Natterer, J., Wegener, G.:** Thermal behaviour of polysaccharides in wood during friction welding. Holz als Roh- und Werkstoff 2005a, 63:388-9.
- [67] **Stamm, B., Natterer, J., Navi, P.:** Joining wood by friction welding. Holz als Roh- und Werkstoff 2005b, 63:313-20.
- [68] **Stelte, W., Holm, J. K., Sanadi, A. R., Barsberg, S., Ahrenfeldt, J., Henriksen, U. B.:** A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources. Biomass and Bioenergy 2011a, 35:910-8.
- [69] **Sun, Y., Royer, M., Diouf, P. N., Stevanovic, T.:** Chemical changes induced by high-speed rotation welding of wood – Application to two Canadian hardwood species. Journal of Adhesion Science and Technology 2010, 24(8-10):383-400.
- [70] **Tumuluru, J. S., Wright, C. T., Kenny, K. L., Hess, J. R.:** A review on biomass densification technologies for energy application. Idaho National Laboratory, INL/EXT-10-18420, 2010
- [71] **Wang, B., Li, D. L., Chen, T. Y., Qin, Z. Y., Peng, W. X., Wen, J. L.:** Understanding the mechanism of self-bonding of bamboo binderless boards: Investigating the structural changes of lignin macromolecules during molding pressing process. BioResources 2017, 12(1):514-32.
- [72] **Westermarck, U., Lidbrandt, O., Eriksson, I.:** Lignin distribution in spruce (*Picea abies*) determined by mercurization with SEM-EDXA technique. Wood Science and Technology 1988, 22:243-50.
- [73] **Widyorini, R., Yudha, A. P., Prayitno, T. A.:** Some of the properties of binderless particleboard manufactured from bamboo. Wood Research Journal 2011, 2(2):89-93.
- [74] **Widyorini, R., Xu, J. Y., Umemura, K., Kawai, S.:** Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I. Effects of raw material type, storage method, and manufacturing process. Journal of Wood Science 2005, 51(6):648-54.

- [75] **Wolcott, M. P., Shutler, E. L.:** Temperature and moisture influence on compression recovery behavior of wood. *Wood and Fiber Science* 2003, 35(4):540-51.
- [76] **Xu, Y., Wang, B., Shen, Y., Wu, J., Feng, L., Yu, H.:** Effect of softening treatment on cutting force during slicing the veneers of common fast-growing wood. *BioResources* 2017, 12(4):7205-17.
- [77] **Xu, J., Widyorini, R., Yamauchi, H., Kawai, S.:** Development of binderless fiberboard from kenaf core. *Journal of Wood Science* 2006, 52:236-43.
- [78] **Zandersons, J., Gravitis, J., Zhurinsh, A., Kokorevics, A., Kallavus, U., Suzuki, C. K.:** Carbon materials obtained from self-binding sugar cane bagasse and deciduous wood residues plastics. *Biomass and Bioenergy* 2004, 26:345-60.
- [79] **Zhang, D., Zhang, A., Xue, L.:** A review of preparation of binderless fiberboards and its self-bonding mechanism. *Wood Science and Technology* 2015, 49:661-79.

Suhajda, E. - Somfai, D. - Czakó-Vér, K. - Dolgos-Kovács, A. - Dittrich, E.,

<sup>1</sup>*Department of Environmental Engineering,, University of Pécs, H-7624 Pécs, Boszorkány út  
2., Hungary*

## **CO-FERMENTATION OF SEWAGE SLUDGE IN LABORATY EXPERIMENT**

### **ABSTRACT**

Co-fermentational biogas production is the anaerobic fermentation of a homogeneous mixture of two or more substrates. The main substrate (e.g. sewage sludge or densified sewage sludge) is complemented by a secondary substrate (e.g. dairy by-products, kitchen waste, organic fraction of municipal solid waste, agricultural by-products). Co-fermentational mixtures were modelled under laboratory circumstances to establish their potential for use in energetic utilization via biogas production. The experiments were conducted using standing liquid cultures in closed batch reactors with a total reactor volume of 1 liter. Pressure changes relative to atmospheric pressure were registered with Oxitop C/B measuring heads for 4-6 days. Anaerobic fermentations were conducted under thermostatic conditions of 37 °C.

### **INTRODUCTION AND AIM**

Growing population and increasing energy demand call for actions, like replacing depletable fossil fuels with sustainable, green approaches to energy.

Biogas generation is considered to be a renewable energy source and it has several benefits. Using by-products, residues and organic waste as biogas substrates, we can transform useless products to valuable energy carriers. [1] Biogas management also prevents methane from entering the atmosphere by its energetic utilization. Methane is a potent greenhouse gas produced during the decomposition of materials. [2] Another considerable benefit of biomethane is the fact that it can be used in every way fossil natural gas is used. [1]

In Hungary, the agricultural sector possesses an extensive biogas production potential, up to 30-77 PJ/year. Of the total calculated energy volume, agricultural byproducts compose 8-14 PJ/year. [3]

Measured parameters and the regulation of operation of biogas plants underwent a significant advancement. [4]. Main parameters that influence anaerobic degradation include the composition of substrates, biomass content, inoculum, substrate rate, temperature and the mode of operation. [5]

### **Literature review**

Co-fermentation is the simultaneous fermentation of different materials. Materials can be of different origin, quality and nature. A co-fermentational anaerobic digestion involves combining two or more materials, usually by using a primary substrate (such as manure or sewage sludge) and additional substrates (kitchen waste or agricultural byproducts). The homogenous mixture is subject to anaerobic digestion for biogas production, hopefully resulting in an elevated biogas production compared to mono-substrate installations. [6]

Behmel et al (1996) investigated the fundamentals and risks of co-fermentation of organic wastes degradable in a biogas plant. Substrates apt for digestion can be divided into two main

groups: easily degradable material (protein, fat) and less degradable substrates (lignin, cellulose, hemicellulose).

The ideal co-substrate is cheap and easily acquired (like by-products of agriculture and food production). Often times biogas plants are constructed in close vicinity of the agricultural or food production unit. The disadvantage of this set-up is the difficulty of forecasting the amount of waste material produced in the long run.

A wide variety of co-substrates can be applied to anaerobic fermentation. Agricultural waste materials (corn stalk, foliage, manure) and industrial by-products (from beer, dairy and alcoholic beverage production) are both suitable co-substrates in anaerobic degradation. [7] A high amount of easily degradable substrates can lead to the acidification of the reactor, especially when applied in a one step process. Waste materials rich in sugar and starch are easily degraded into lactic acid and propionic acid. Thus, pH value decreases and the decreased pH value along with the high propionic acid concentration can be toxic to certain microorganisms.

A typical example of co-fermentational degradation is mixing the organic fraction of municipal solid waste with sewage sludge or manure. Following necessary pretreatment, organic fraction of municipal solid waste can only be applied as a co-substrate to anaerobic fermentation, since it typically contains materials that are hard to degrade (paper, timber, cellulose). Organic fraction can be an ideal co-substrate to both sewage sludge and manure.

Co-fermenting different mixtures of materials (municipal sewage sludge, agricultural and food waste) result in increased biogas production, the total volume of the fermenter is better utilized. If the digester is simultaneously fed with easily and difficultly degradable material, the degradability of all substrates improve. [8] The main substrate provides primary nutrients (N, P) and micronutrients (Ca, Fe, Mg, Mn, Co etc.). Ideal macro- and micronutrient sustenance leads to an improved degradation of co-substrates compared to the degradation of mono-substrates.

The disposal of kitchen waste, food industry byproducts, waste materials and expired food is a significant problem due to their high organic matter content. The sewage treatment plant in Pellérd (owned by Tettye Forrásház Co.) has a biogas plant operated primarily with sewage sludge, however it is capable of digesting other substrates as well. Kitchen waste as a co-fermentational substrate is sometimes applied.

A crucial aspect when switching between mono-substrate and co-fermentational operation of sewage sludge-fed biogas plants is the need to conserve the balance of the microbial community. -It is essential to take into account the composition of the present bacteria culture when choosing substrates, especially when utilizing municipal solid waste and plant-based materials. [9]

## **MATERIALS AND METHODS**

### **Co-fermentational experiments**

For our co-fermentational experiments, corn silage, cellulose, densified sewage sludge and activated sludge were used.

Corn silage is produced using lactic fermentation process under anaerobic conditions. Cellulose is a linear structure polysaccharide, composing of hundreds or thousands of glucose molecules. Cellulose can be digested exclusively by cellulose digesting microorganisms. In our experiments, microcrystalline cellulose of high chemical purity was utilized.

Activated sludge and densified sewage sludge was provided by the local sewage treatment plant. Dry matter content and organic dry matter content of densified sewage sludge were



determined by drying the samples at 105 °C for 24 hours and then heating them to 600 °C. Average dry matter and organic dry matter of densified sewage sludge resulted in 3.3% and 72.6%, respectively.

Our measurements were conducted in glass reactors of 1-liter volume with measuring heads Oxitop B/C produced by WTW. After assembling the desired mixture of co-substrates and sludge, reactors were closed with airtight seals and placed in 37 °C thermostatic environment. Measuring heads register pressure changes relative to atmospheric pressure every 16-24 minutes. The pressure increase inside the fermenters is the result of biological processes. Measuring heads also store measurement data until the data is retrieved by Oxitop OC 110 controller. Data received from the controller was processed using Achat OC software. Illustrations were created using Microsoft Excel.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Co-fermentational experiments

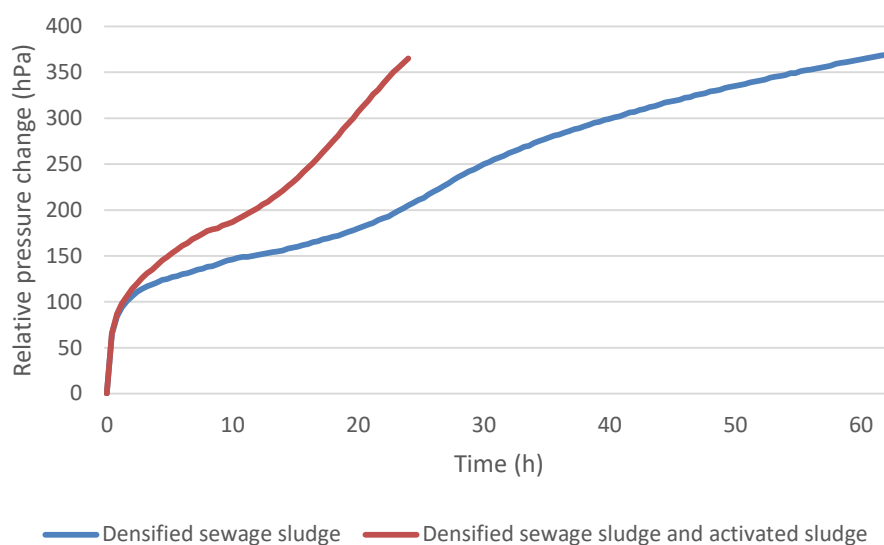
Densified sewage sludge was fermented on its own, without adding activated sludge. This experiment resulted in an average of 162 hPa pressure change in 4 days. Prior to conducting co-fermentational experiments, corn silage and cellulose were fermented on their own as mono-substrates. Table I shows the set-up of these preliminary experiments, along with the acquired maximal pressure increase and the necessary time to acquire it.

*Table I*

**Setup of our preliminary experiments measuring substrates as unique biogas substrates**

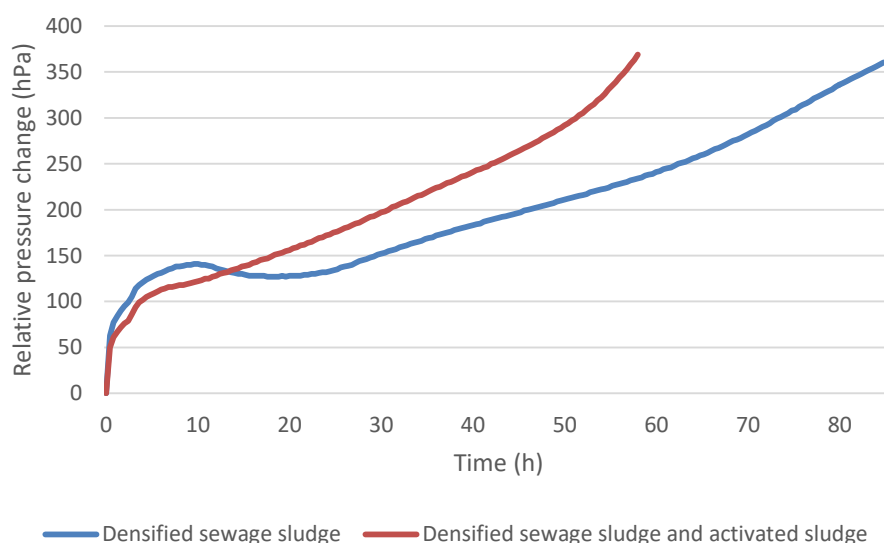
| Substrate                                        | 200 ml of densified sewage sludge | 10 g corn silage dissolved in 100 ml distilled water | 5 g microcrystalline cellulose dissolved in 100 ml distilled water |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Activated sludge                                 | -                                 | 100 ml                                               | 100 ml                                                             |
| Maximal pressure change                          | 162 hPa                           | 373 hPa                                              | 382 hPa                                                            |
| Time required to achieve maximal pressure change | 96 hours                          | 40 hours                                             | 72 hours                                                           |

In our co-fermentational experiments, densified sewage sludge was used as our primary substrate and was complemented with either corn silage or cellulose. Activated sludge was also added to some fermenters, so a comparison is possible between results obtained with solely densified sewage sludge and results in fermenters containing both densified sewage sludge and activated sludge as inoculants (see Figure 1 and 2).



*Figure 1*

**Biodegradation kinetics obtained from co-fermentation of densified sewage sludge and corn silage**



*Figure 2*

**Biodegradation kinetics obtained from co-fermentation of densified sewage sludge and cellulose**

## CONCLUSION

Co-fermentation of densified sewage sludge with corn silage and cellulose resulted in a greater pressure change (400 hPa vs 162 hPa) in a lower amount of time (1 and 2 days respectively vs 4 days) compared to the gasification of densified sewage sludge on its own. Pressure change was 267% greater in 25% or 60% less time. The difference between degradation times of cellulose and corn silage is probably due to the corn's broader

carbohydrate spectrum. Oligosaccharides in corn silage are more easily accessible, therefore the biodegradation could take place at an earlier stage.

Densified sewage sludge and agricultural byproducts can be valuable assets to biogas production as complementary substrates in co-fermentational installations.

## ACKNOWLEDGEMENT

The support of European Union and Hungarian State (grant agreement no. EFOP-3.6.2-16-2017-00010) is gratefully appreciated.



## REFERENCES

1. Ács, N., Ács, Z., Rákhely, G., Minárovics, J., Nagy, K., Kovács, K. I.: “Bioresource Technology”. 186 (2015) 286.
2. “Biogas Benefits” Canadian Biogas Association, Available: [https://biogasassociation.ca/about\\_biogas/biogas\\_benefits](https://biogasassociation.ca/about_biogas/biogas_benefits) (date accessed: 06.06.2019).
3. Kovács, A. et al: “PANNON LNG Projekt Action 1. Tanulmány 1.7. Fejezet LNG lehetséges hazai előállításának biogáz forrásai” 2016, Available: [http://www.panlng.eu/wp-content/uploads/2016/06/1\\_7\\_PAN-LNG\\_biogaz.pdf](http://www.panlng.eu/wp-content/uploads/2016/06/1_7_PAN-LNG_biogaz.pdf) (date accessed: 06.06.2019).
4. Rajameena, S. Rajameena, Velayutham, T.: “A critical review on biochemical process of anaerobic digestion” International Journal of Science Technology and Engineering. 4, 2018, 1-
5. Esteves, S., Miltner, M., Fletch, S.: “Promotion of bio-methane and its development through local and regional partnerships” Intelligent Energy-Europe programme, 2013
6. Oláh, J., Palkó, Gy., Szikora Tarjányiné, Sz., Rása, G.: “Vízmű Panoráma”. Vol.18. No.7. (2010) 2.
7. Öllös, G., Oláh, J., Palkó, G.: „Digestion” Magyar Víziközmű Szövetség, Budapest, 2010 pp. 799-838.
8. Appels, L., Lauwers, J., Degre, J., Helsen, L., Lievens, L. B., Willems, K., Dewil, R.: “Anaerobic digestion in global bio-energy production: potential and research challenges” Renew. Sustain. Energy Rev. 15, 2011, 4295–4301.
9. Korres, N.E., and Nizami, S.: “Variation in anaerobic digestion” In: Bioenergy production by anaerobic digestion. (Szerk.: Korres-O’Kiely-Benzie-West) Routledge Taylor and Francis Group, London, 2013

Kornfeld Zsuzsanna

*Soproni Egyetem, Faipari Géptani Intézet*

## **AZ ÖKOMARKETING LEHETŐSÉGEI, ELVÁRÁSAI ÉS AKADÁLYAI, AZAZ A FELMERÜLŐ KONTRA PROBLÉMÁK**

**Absztrakt:** Elhanyagolható azon vállalatok aránya, akik tevékenységük során nem foglalkoznak marketinggel. A marketing a figyelemfelkeltése által erősen befolyásoló tényező az emberek választásánál és értékteremtésénél. A marketing hatására megváltozhatnak vásárlási szokásaink, de egyben befolyásolhatják életmódunkat is. Azonban a szakma nehezen indul meg az ökomarketing irányába, mert akadálnak és inkább költségnövelő tényezőnek vélik. Az ökomarketing szélesebb körű elterjedésének okai között említendők a beszerzési problémák, a rendelkezésre álló korlátozott készletek, a befektetési, fedezeti hiányosságok, a küllem és a csomagolási vonzóság megváltozása.

**Kulcsszavak:** ökomarketing, környezetvédelem

### **1. Bevezetés**

A jelentősen felgyorsult világban jellemző a globalizáció, az iparosodás és ezáltal nagymértékben emelkedett az országok gazdasági fejlődése. Ebből következően nőtt a termelés, az árukibocsátás, ami párhuzamosan emelte a melléktermékek kibocsátását, és ami így automatikusan hozta magával, hogy megnőtt a szemétermelés is. A termelés során felgyülemlett melléktermékek, a fel nem használt felesleges anyagok sajnos valamilyen módon átalakult formában újra visszakerültek a természetbe, a környezetbe, így mint a földekbe, a folyókba, a levegőbe, ezáltal nagymértékben terhelve és károsítva. Állati fajok tűnnek el, növények halnak ki, veszélybe kerülnek a természeti környezeteik, túlélésük. Sokasodnak a természeti katasztrófák, egyre több árvíz, tornádó, földcsuszamlás, hurrikán, erdőkihalások, olajkatasztrófák, savas eső alakul ki, megmagyarázhatatlan természeti katasztrófák sora sújtja az élővilágot. Az élővizekben úszik a felhalmozódott tömördek műanyag és annak valamilyen darabja. Ehhez a nagymértékű felhalmozódáshoz sajnos a lakosság és a termelő üzemek óriási mértékben hozzájárultak.

A globális felmelegedés, a klímaváltozás, a környezeti problémák és katasztrófák, az erőforrások szűkössége egyre inkább megkövetelik a felelősségteljesebb gondolkodást, amelyet a gyártóknak is szem előtt kellene tartaniuk, mert a környezeti károsítások már jó ideje olyan szintre léptek, hogy a vállalatoknak valamit ennek a megváltoztatására lépniük kellene. Természetesen a vállalatok sincsenek egyszerű helyzetben, hiszen ezekhez társul még, hogy a piac, az igények, és a vevői elvárások nőnek és változnak. Mégis szükséges lenne a vevői igények változása és növekedése mentén a vállalatoknak környezettudatos stratégiát képviselniük a fenntartható gazdálkodás és fenntartható fejlődés elérése érdekében a környezetet figyelembe véve vállalati stratégiát képviselni. A vállalati cél egyértelműen a profitorientáltan végzett tevékenység, ennek eléréséhez fontos lépés a tevékenységi költségek csökkentése környezettudatos szemlélettel. A vállalatok környezettudatos gondolkodásával, az anyag és energia felhasználásának csökkentésével versenyképesek tudnának lenni és egyben környezetkímélőek. Ez természetesen azt eredményezné, hogy a termékeiket magasabb áron tudnák előállítani, mint a versenytársak, de a marketinggel igyekeznek ellensúlyozni és kihasználni ezt a hátrányt. Különböző eszközökkel, szabványokkal,

előírásokkal, állami eszközökkel direktívákkal próbálják a vállalatokat egyre inkább a környezettudatosabb irány felé terelni.

Mivel nincs olyan nap, hogy ne kerülne szóba a klímaváltozás és a minket körülvevő folyamatos környezetkárosító hatások, az üvegházhatás, a vizek szennyezése, stb..., mégis valahogy az elvárt előírásokon kívül alig-alig történik előrelépés a vállalatok részéről, mivel hiányzik a támogatás, motiváció, nyomáskényszer az anyag, energia és hulladékprodukálási redukcióra, vagy az újrahasznosítható anyagok nagyobb mértékű bevezetésére és/vagy felhasználására, vagy a tipikus körforgásos gazdasági modell megvalósítására. Valamilyen formában mégis meg kellene oldani, be kellene vezetni, hogy a környezettel összehangoltan - akár lépésenként a termelési módokat, alapanyagokon változtatás következzen be – a közösen élhető világunkért, hiszen legfontosabb feladatunk lenne a környezetvédelem, az életminőség megőrzése.

## **2. Az öko, ökomarketing jelentőségéről**

A változtatás szükségességére már a 60-as évek során felmerültek elvek, megfogalmazások a különböző környezetszennyezést csökkentő intézkedések bevezetésével. Az ökológiai gondolkodás kezdete és világszemlélete Ernst F. Schumacher nevéhez köthető, aki hangsúlyozta a természeti erőforrások hasznosítását és az ökoszemléletet<sup>1</sup>. Az ökotérület általunk forrott ki szakterületté, hiszen emberi tevékenységek, környezetromboló életvitel, kedvezőtlen környezeti hatások vezettek oda, hogy egy új stratégiai gondolkodás, mint az öko-szemlélet megjelenjen, hiszen a környezetet sújtó ártalmakat, terheléseket mielőbb csökkenteni kell. Ez a terület kiterjed a kezdeti lépésektől a termék teljes életperiódusára, ahol szem előtt tartják az ökológiai korrelációt a beszerzési folyamatoktól a gyártáson át a végső felhasználóhoz való eljutásáig.

Az ökoszemlélet alapvető lépésének a feladata a legfőbb környezeti problémák meghatározása lenne, amely a gyártás, termelés, felhasználás alatt felmerül, terhelődik és kialakítja az ökológiai lábnyomot. Azonban sok vállalat a költségcsökkentésre koncentrálna ilyen plusz lépésekre, felmérésekre egyáltalán nem gondol, vagy nincsenek felkészülve, mivel nincsenek tartalékok képezve a plusz kapacitások kivitelezésére. Ember és szakértelmi hiány is okozhatja, hogy a változtatás kérdése nem merül fel a vállalkozásoknál. Pedig ennek a lépésnek a célja a társadalmi jólét, a harmónia teremtése, az egészség védelme, biztosítása, amely a termelés-gyártás során tekintettel lenne a dolgozók egészségére és védelmére is. Azonban a kialakult versenyhelyzetben a vállalkozások leginkább a költségcsökkentéssel foglalkoznak és kifejezetten ár- és költségérzékenyek. Különösképpen igaz ez a rövidtávon nyereséget, vagy nagy nyereséget tervező vállalatoknál, illetve szezonális termékek gyártói esetében. A vállalatok nagy része tehát költségnövelő tényezőként fogja fel az ökológiai szempontok előbbre vételezését.

A 20. században már elindult tendencia arra vonatkozóan, hogy csökkentsék a hátrahagyott ökológiai lábnyomokat, környezetkímélőbb technológiákat alkalmazzanak, redukálják a szemét- és melléktermék termelését, kevesebb anyagot használnak fel, vagy újrahasznosított anyagokból dolgozzanak, de az öko-vonulat mégis kevésbé jellemző a vállalatoknál. Az öko területben rejlő lehetőségek segítenék a környezetre gyakorolt káros hatások mérséklését, az erőforrás felhasználás csökkentését a termék teljes életciklusa alatt. Ennek legelső lépése lenne a termék-életciklus vizsgálata, amely képet szolgáltatna a termék beszerzésétől az előállításán, felhasználásán és megsemmisítésén keresztül mennyi és milyen nyers-segédanyagot, energiát használtak fel, illetőleg ezen folyamatok mennyire terhelték meg a környezetet az előállítás során. Feladatunk lenne tehát a környezetvédelem, a környezet

---

<sup>1</sup> Forrás: Schumacher F.E.: A kicsi szép, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Bp. 1991

tisztítása, bizonyos korlátozások bevezetése, újrahasznosítás, a körforgásos modell alkalmazása, vagyis a visszaáramoltatás, illetve a készletgazdálkodás területén a takarékoság és a helyettesítés, azaz a fenntartható fejlődésre kellene jobban koncentrálni.

Az ökomarketing kezdetben csak a környezetbarát termékeket jelentette, ma már nemcsak a termékek számítanak ide, hanem a beszerzési, gyártási, termelési, elosztási, csomagolási, újrafelhasználási folyamatok és az ezek során felmerült lépések, tevékenységek is, valamint az erőforrásfelhasználás csökkentés, stb.... A kérdés az, hogy vajon egyszerűen elérhető-e, kivitelezhető-e, rendelkezésre áll-e, hogy az ökoszemléletet mélyebben a társaságok mindennapjaiba beillesszék.

Az ökomarketing környezettudatos szemléletet és környezetkímélő vállalatirányítást prezentál. Egy vállalat számára a helyesen megválasztott marketing stratégia erősen befolyásoló, mert a jelenlegi környezeti problémák, hiányosságok kiküszöbölése és kiváltása, megszüntetése a vállalat jövőjére irányuló versenyhelyzetét eredményezheti. A fenntartható fejlődésben nagy szerepe van a fogyasztónak, vásárlónak, hogy mennyire tudatosan gondolkodik, hiszen a piacot ők is erősen befolyásolják, az alapján, hogy mennyire környezettudatosan hozzák meg döntéseiket, illetve mi befolyásolja őket a termékválasztásnál. Hosszú vagy rövidtávú döntéseket hoznak, érdekli-e őket a környezete, az utódainak a jövője, illetve anyagi lehetősége megengedi-e az ökológiailag elkészült termék vásárlását, szolgáltatások használatát. A fogyasztók gondolkodásaikkal, vásárlási szokásaikkal tudnák befolyásolni a környezetileg kímélőbb eljárások elterjedését, hiszen ösztönzően hatnának a vállalatokra, mint ahogy ez fordítva is igaz, hogy a reklámok és a vállalati marketing is kihat a fogyasztókra.

A fogyasztói kereslet emelkedése a környezetbarát termékek iránt egy húzóerő lehetne az ökoanyagok, és az ökomarketing szélesebb körű elterjedésénél, amelynek következményeként akár verseny is kialakulhatna, így a többi vállalat is ennek a ritmusnak a felvételére és ezen gondolkodás azonosulására kényszerülne, amely szintén előmozdítaná az öko lehetőségek bevezetését. A környezettudatos fogyasztói gondolkodás, amikor a fogyasztó azt is nézi, hogy ki gyártotta, milyen anyagokat használtak fel, értékeli a társadalmi megfelelőséget és ügyel a környezetre, tudatosan vásárol, hiszen a környezetbarát termékek előállítása kevésbé terhelik, szennyezik a környezetet, vagy kevesebb erőforrás felhasználást igényelnek.

Az ökomarketing lehetőséget adna a kevesebb és spórolásabb nyersanyagfelhasználásra, vagy az épp elegendő nyersanyagokat ki lehetne váltani azokra amelyekből sok áll rendelkezésre, csökkenteni lehetne a hulladékok és a melléktermékek képződését. A hulladékoknál nagy hangsúlyt lehetne fektetni a csomagolási hulladékok csökkentésére. Az erőforrások megfelelő felhasználásával csökkenthető lenne az erőforrások kizsákmányolása, ezáltal csökkenne a természeti terhelés is.

A vállalati marketing tehát az, amelyik a fogyasztókra jelentős hatással van, befolyással bír, meghatározó a döntési folyamataiknál. Tóth Gergely szerint a marketing felelős az ökológiai problémák sokasodásáért.<sup>2</sup> Véleménye szerint a marketing felelős a túlfogyasztásért, a fogyasztók kiadási versengéseiért. A befolyásolt társadalom képes a felhalmozásra is, mert a marketing általában keresletösztönzően hat a népességre. De a vállalatokat is említi, hiszen a marketing által befolyásolják a társadalmat és átlagosan rövidtávú céljaik vannak, amely azt jelenti, hogy rövid idő alatt nagy és gyors hasznot szeretnének elérni. Ez okozhat túlzott hulladéktermelést és erőforrás kimerültséget, hiszen a rövid idő alatt gyorsan megszerzett profit célnál a legolcsóbb anyagok beépítése és beszerzése sűrűn előfordul, mindegy milyen hulladéktermeléssel és környezetkárosítással jár. Ezt

---

<sup>2</sup> Tóth Gergely: Mindennapi gazdasági döntések és mindennapi környezetvédelem  
[http://www.kovet.hu/Tevekenys/Szakirod/SzakmaiCikk/Szakmaicikk/17\\_Mindennapi.htm](http://www.kovet.hu/Tevekenys/Szakirod/SzakmaiCikk/Szakmaicikk/17_Mindennapi.htm)  
<file:///C:/Users/User/Downloads/2493-Cikk%20sz%C3%B6veg-4589-1-10-20191221.pdf>

előidézi az is, hogy folyamatosan nő és változik a fogyasztói igény, így a termékek gyártási ciklusai felgyorsultak, és folyamatosan idő-költség versenyben vannak, ezért általában a gyorsan, olcsón elv áll a középpontban. A termékek tulajdonságai ezáltal sok esetben romlanak, gyengébbek a gyártási ciklus lerövidítése érdekében, mert nincs idő a termelés valódi idejét kivárni és betartani. Így a terméknek nincs idő, erőforrás és finanszírozási kapacitás az ökológiai lábnyomára tekintettel lenni, felmérni, elemezni, helyettesítő, kiváltó termékeket, alapanyagot rendelni, mert árban a vállalat a kitűzött céljai elérése érdekében nem tudja megengedni.

### **3. Az ökomarketing nehézségei és problémái**

Amennyiben vállalatokat elemeznénk biztos, hogy a termelésben valamilyen környezetvédelmi intézkedések fellelhetők, mivel vannak előírt szabályozások és minőségmenedzsment, de ugyanez a marketing részre nagy valószínűséggel kis aránnyal lenne elmondható.

Az ökomarketing szélesebb körű elterjedését gátolja az idő, erőforrás és kapacitáshiány. Emellett a marketing további problémát lát a csomagolás területén, a vonzóság megváltozását, és a befolyásolóképeség gyengédebb formáját jelentené a vállalatok számára eladási szempontból. A csomagolásnak ugyanis esztétikai célja van, információközlő, amelyet a marketing szakma befolyásol és képvisel. Az előnytelen külső, amely a fogyasztók számára nem vonzó, a kevés vagy a megszokottnál kevesebb információ, amely a marketing szerint alacsony hatékonyságot eredményezne. A kevesebb információ adódhat abból is, hogy a termék ökotermék, körforgásos folyamatból, vagy újrahasznosításból származik, ezért nincs róla olyan sok információ.

Az is a további probléma, hogy a fogyasztók nehezen változtatnak a vásárlási szokásaikon, amelyek szinte „csukott szemmel” beépült rutinként valósítanak meg. Marketing szempontból egy megváltozott csomagolás miatt a vevő valószínűleg nem vásárolná meg a terméket, mert ismeretlen lenne számára, bizonyára gyorsabban nyúlna egy helyettesítő termék után, így a vállalat feltehetően elveszítené bizonyos százaléku vásárlóközönseget.

A csomagolás megváltoztatásával és kevesebb reklámmal, nyomdai információval a felületén a marketing számára egy szerényes megjelenést képviselne, amely ismét a vásárlók elvesztésével járna. A fogyasztó nincs hozzászokva a szerényes megjelenéshez, és természetesen a magasabb árhoz sem, amelyet általában azonnal észrevesznek, így ez is sajnos megnehezíti az ökomarketing elterjedését.

Az öko anyagok a környezetkímélő megmunkálások és felhasználások természetesen magasabb árat követelnek, amelyet a marketing veszélynek értelmek, hiszen nem biztos benne, hogy a vásárlói köre magasabb áron igaz egy jobb minőségű, környezetkímélő gyártással készült terméket megvásárolna. Ebben viszont a marketingnek kellene rugalmasnak lennie, és úgy kellene beépíteniük a termék árba, hogy a fogyasztó számára „észrevétlenül jelenjen meg” és a hasznosság érzete magasabb legyen a kiadás költségénél.

A következő nagy probléma a hagyományos termékeknek a túlfolyó kínálata. Ez egyértelműen megnehezíti az öko terjedését, hiszen amíg a kereskedőknél és a boltokban ezen hagyományos termékek vannak többségben, addig az öko termékek hatékonysága nem tud érvényesülni.

Az öko szélesebb elterjedésének további gátló tényezője a kínálati gyengeség és szűkösség. Az erőforrások beszerzése a korlátozott készlet miatt nehézkes, hiszen nincsen rá igény, így kevesebbet állítanak elő belőle. Ez sajnos bizonytalanságot idéz elő a vállalatoknál, amely akár termelési kieséssel is járhat, így egyszerűbbnek és olcsóbb választásnak tartják

továbbra is a hagyományos termékek használatát. Így ebből kifolyólag még szervezési problémák is befolyásolják az ökológiai piacok kiszélesedését, nem hatékony a beszerzési területe, nagy az idősükséglete, a termékek specialitásából kifolyólag, mellette előfordulhat az is, hogy nagy távolságból szükséges a beszerzése, amely ismét növeli az idősükségletet, pluszban ugyanúgy megterheli a környezetet és mindkét eset a vállalat számára plusz költségeket termelne.

Probléma az is, hogy az ökológiai termékek piaci részesedése nagyon minimális és ez a piaci részesedés nagyon lassan fejlődik amelynek oka az ismertségének hiánya is, illetve a hagyományos termékek túlkínálata és emiatt inkább a hagyományos, megszokott termékek vásárlása részesül előnyben a vásárlóknál.

Az ökológiai termékek bevezetését természetesen a vállalati erősségek, gyengeségek (finanszírozási lehetőségek, rendelkezésre álló Know-How, eljárások) és egyéb faktorok is jelentősen befolyásolják. Egyéb faktorok lehetnek még akár politikai nyomások (törvényi változtatások, kényszer a kevesebb hulladéktermelésre), de meghatározó lehet egy konkurencia befutott sikeres terméke is, amely vevőket vesz el a vállalatoktól és versenyhelyzet alakul ki a vevők kegyeinek megnyeréséért, vagy egy új tudomány megjelenése a termékekben, egy kifejezetten új fejlesztés.

Az alábbi 1. táblázat a Swot elemzés által összefoglalja az ökomarketing legfontosabb jellemző tulajdonságait. Az ökomarketing erős oldalához tartozik, hogy amennyiben a vállalatok ezen termékekre jobban koncentrálnak és specializálódnak, akkor az öko termékek által növelik a fogyasztók értékeit, hiszen igényesebb, természetesebb termékhez jutnak, valamint más vállalatokkal szemben példamutató magatartást szemléltetnek, hiszen felelősséget vállalnak a környezetük, dolgozóik védelmében. Ezen termékek terjedésével egyértelműen csökkenthető az ökológiai lábnyom és a környezeti terhelés, és egyben a környezet védelme nagyobb hangsúlyt kapna a termeléseknél.

Az erősségekkel szemben a gyenge pontok között szerepel a vállalat anyagi helyzete, amely nem biztos, hogy lehetővé teszi az öko irányt a vállalaton belül és ehhez kapcsolódik még a változó környezet, az előforduló labilis politikai-gazdasági helyzetek. De gyengeségnek számít az is, hogy lenne megfelelő likviditás a vállalatnál, viszont hiányzik a vezetői vagy alkalmazotti hajlandóság a változásra, de egyszerűen előfordulhat az is, hogy a marketing érzi magát hátrányban a csomagolás előnytelensége, vonzatlansága miatt és ezért kerül elutasításra ezen irányzat. Az irányzat képviselőjénél szerepe van a vállalat minőségi standardjának is, hiszen egy kis volumenű vállalat, aki apróbb jelentéktlenebb termékeket gyárt, ahol a minőség nem számít, biztosan nem fog áttérni egy drágább technológiai, gondolkodásbeli irányzatra.

A veszélyek között említendő a hagyományos termékek túlkínálata, a fogyasztók informálatlansága, hiszen ez a fajta irányzat kevésbé elterjedt, a termelést nehezíti még az öko termékek kínálati gyengesége, amely egyfajta bizonytalanságot is teremt a beszerzés és a gyártás területén. A fogyasztók tájékoztatlansága, amely által nem merül fel az igény, így a vállalatok is maradnak a hagyományos termékeknél, amelyekből hasznuk van és a fogyasztók keresik.

A mai internetes világban nagy lehetőség lenne az öko irányzat terjesztésére, hiszen szinte alig van olyan ember, aki ne kerülne tv- és internet kapcsolatba a nap folyamán. Ez megalapozhatná és elősegíthetné a környezettudatosságot és a hulladékok csökkentését is.

| <b>Erősségek</b>                                                       | <b>Gyengeségek</b>                                                 |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| - Ökomarketinget képviselő vállalatok erősítik a fogyasztói értékeket, | - Befolyásoló a vállalat likviditási helyzete és a költségsökkentő |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>példamutatóak;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Imázs javulása, harmónia teremtése;</li> <li>- Környezet védelme, ökológiai lábnyom csökkentése;</li> <li>- Csapatmunka, közös célok, közös fejlesztések, rendelkezésre álló vállalati Know-How;</li> <li>- Nagyobb felelősségvállalás, igényes termékek.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>nyomás;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A vállalat részéről hiányzó kooperációs hajlam;</li> <li>- Idő, kapacitás, tájékozottsági hiányosságok;</li> <li>- Csomagolási vonzóság csökkenése, előnytelen külső, ezáltal a figyelem kevésbé célzottabb kihívása, ami vevőveszteséggel járhat;</li> <li>- Gazdasági lehetőségek;</li> <li>- A vállalat minőségi standardja.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p style="text-align: center;"><b>Lehetőségek</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tv, internet befolyása, hiszen az emberek nagyon kevés aránya nem használja nap, mint nap;</li> <li>- Új, tartós tudatos vásárlói kör megnyerése;</li> <li>- Megszerezhető versenyelőny a termék tulajdonságaiból kifolyólag;</li> <li>- Problémafelismerés, stratégia alkotás, költség megtakarítási lehetőség az anyag, energia redukció által;</li> <li>- Hulladéktermelés minimalizálása;</li> <li>- Egyensúly teremtése az ember és a természet között;</li> <li>- Ökotermékek bevezetése, beérése, növekedése, sokszínűsége – társadalmi környezettudatosabbá válás.</li> </ul> | <p style="text-align: center;"><b>Veszélyek</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vásárlók vásárlási szokásai, rutinelvei ezek változtatásának hajlama;</li> <li>- Magasabb ár;</li> <li>- Hagyományos termékek túlfolyó kínálata;</li> <li>- Kínálati gyengeség az ökotermékek területén;</li> <li>- Kínálati gyengeség, ebből kifolyólag termelési bizonytalanság;</li> <li>- Beszerzési, szállítási bizonytalanság, termelés kiesés, veszteség;</li> <li>- Kevésbé ismert, piaci részesedés minimális;</li> <li>- Bizalom hiánya a fogyasztók részéről a zöld termékek iránt, mert marketingfogásnak vélik;</li> <li>- Fogyasztói informálatlanság.</li> </ul> |

### 1. táblázat Swot elemzés<sup>3</sup>

A 2. táblázat információt szolgáltat az öko politikai, társadalmi és gazdasági környezet helyzetéről. A politikai részen sajnos nagyon kevés és minimális a motiváló tényező – léteznek különböző európai előírások, amelyet a kormányoknak teljesíteni kell, ezért szigorodnak a törvényi szabályozások és léteznek európai pályázatok is, de kimondott program és kényszerítő erő jelenleg nincs - a vállalatok hulladékainak nagyobb mértékű csökkentésére, a körforgásos folyamatok szélesebb körű felhasználásának bevezetésére, nincsenek támogatások, hogy előrelépések történhessenek ebben az irányba.

A gazdasági környezet is nehezíti az öko terület kiteljesedését, hiszen a vállalatok árérzékenyek, a piac változása folyamatosan variábilis és kihívásokkal teli helyzetbe sodorja a vállalkozásokat a fennmaradáshoz, amelyet még a vevői igények növekedése is megbélyegez. A túlélésért való küzdelem megnehezíti az innovációkat a beruházásokat és az új szemléletmód bevezetését.

<sup>3</sup> Forrás: saját készítés

A társadalmi környezet is rányomja a bélyegét az öko lehetőségeire, hiszen a fogyasztók gondolkodásához és igényeihez igazodnak a vállalatok, így amíg nincs intenzívebb igény, addig a vállalatok nem is igen fognak ezen irányú törekvéseket kivitelezni. Érdekes és nagyon befolyásoló, hogy a berögzült, rutinszerű fogyasztói szokások megváltoztathatóak-e, van-e rá kereslet, anyagi fedezet és igény a fogyasztók részéről, amelyek elősegítenék az öko bevezetését.

A változáshoz természetesen elengedhetetlen a vállalati szemlélet, a technológiai rendelkezésre állás, a minőségi színvonal, a folyamatos fejlesztésre való törekvés, amely elősegíti a vállalat hatékonyságát és hosszútávú fenntarthatóságát.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Politikai környezet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jelenleg nincs politikai nyomás a körforgásos folyamatok, illetve a hulladékok jelentősebb mértékű minimalizálására;</li> <li>- Hiányzó részletesebb, erősebb szabályok és törvényi előírások;</li> <li>- Támogatások, beruházási lehetőségek megteremtése.</li> </ul>                                                                                         | <p><b>Gazdasági környezet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Versenyképesség, nemzetközi lehetőségek;</li> <li>- Piaci bizonytalanság, növekvő vevői igények;</li> <li>- Változó piac, globalizáció, vállalati árérzékenység.</li> </ul>                  |
| <p><b>Társadalmi környezet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Társadalmi magatartási szokások megváltoztatása elérhető-e?</li> <li>- Az ökoszemlélet szélesebb körű terjedésével a fogyasztói társadalom támogatása;</li> <li>- Hatásosabb társadalmi kommunikáció;</li> <li>- Sok fogyasztó és vállalat a környezet védelme előtt kielégíti személyes igényeit;</li> <li>- Árérzékenység a fogyasztók részéről.</li> </ul> | <p><b>Technikai, technológiai környezet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Technológiai fejlődések, fejlesztések, innováció =&gt; hatékonyság;</li> <li>- Vállalati emberi erőforrások összetétele, minőségügy, minőségbiztosítás fejlettsége.</li> </ul> |

## 2. táblázat PEST elemzés<sup>4</sup>

### 3. Összegzés – Konklúzió

Az ökotermékek és öko felhasználások alacsony elterjedési rátájának okaként az informálatlanság egyértelműen szerepet játszik, mert a fogyasztó nem ismeri az öko termékek hatékonyságát, valamint nem olyan vonzó és figyelemfelkeltő a külseje, mint amelyet megszoktak, de sajnos döntő szerepe van a jóval magasabb árak is. Az információ

<sup>4</sup> Forrás: saját készítés

eljuttatására megoldás lehetne a marketing, ahol a vevő, fogyasztó közelebb kerülhetne a termékhez és különbséget tudnának tenni egy környezetkímélő és egy általános termék között. Kiemelve a termék előnyöket, másfajta kommunikációra fektetni a hangsúlyt, tudatos kommunikációt kellene folytatni. Az ökotermékek elterjedését segíthetné a kínálat élénkítése, hátha így a fogyasztók másképp vélekednének és változtatnának szokásaikon, emelkedne a környezetbarát termékek elfogadása és ismerete. Fontos lenne a fogyasztó értékrendjének megváltoztatása, környezettudatossága, amelyet ismét a marketing által lehetne közelebb juttatni a fogyasztóhoz. Lényeges lenne a jó hírnév is, amelyre megint az ökomarketing tudna lehetőséget teremteni, hiszen ösztönzően tudna hatni. A vállalaton belül a marketing ökoszemléletű erősítéséhez akár segítség lehet a belső adminisztrációs költségek csökkentése. A további költségek csökkentéséhez és a költség gazdaságossághoz szükséges a piac ismerete, a piacon lévő rések, az üres piac feltárása, amely lehetőséget adhatna ismét az öko terjedésének. Szükséges lenne az ökotermékek, az ökofeldolgozások piacszerkezeti hiányosságait pótolni, erősíteni és a marketingláncot pontosan elemezni és hatékonyabban, ösztönzően kezelni. A faipart az ökoriányhoz nagyban segítené a környezetvédelmi beruházásokhoz kapcsolódó támogatás, esetlegesen bizonyos termékdíj kedvezmények.

#### **4. Köszönet nyilvánítás**

A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### **5. IRODALOMJEGYZÉK**

1. **Schumacher F. E.:** A kicsi szép, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Bp. 1991
2. **Tóth Gergely:** Mindennapi gazdasági döntések és mindennapi környezetvédelem  
[http://www.kovet.hu/Tevekenys/Szakirod/SzakmaiCikk/Szakmaicikk/17\\_Mindennapi.htm](http://www.kovet.hu/Tevekenys/Szakirod/SzakmaiCikk/Szakmaicikk/17_Mindennapi.htm)  
<file:///C:/Users/User/Downloads/2493-Cikk%20sz%C3%B6veg-4589-1-10-20191221.pdf>

Szakálosné Mátyás K - Kovács K - Vityi A - Horváth A L

*Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet*

## LOGISZTIKA AZ AGROERDÉSZETBEN

### ABSTRAKT

Az agroerdészet olyan földhasználati rendszer, amelyben a folyamatosan fenntartandó fás kultúrákat tudatosan integrálják a mezőgazdasági növénytermesztés vagy állattartás tevékenységébe ugyanazon földterületen. Az agroerdészeti rendszerekre nem lehet az erdőgazdálkodással megegyező anyagi haszon reményében tekinteni, amennyiben csak a fahasználat eredményét vesszük számításba. A kitermelt faanyag minősége és mennyisége sem állandó, és az egyéb földhasznosítási lehetőségek is változatosak, így különösen nehéz tervezni, rendszerszemléletben gazdálkodni, amely viszont elengedhetetlen az eredményesség növelése szempontjából. A kutatás célja, hogy feltárjuk a logisztikai szemléletben történő gazdálkodásnak van-e helye az agroerdészetben.

**Kulcsszavak:** logisztika, agroerdészeti rendszerek, fahasználat, hatékonyság

### BEVEZETÉS

Az „agroerdészeti” vagy „agrár-erdészeti” rendszer dinamikus, ökológiai alapú, természeti erőforrás-gazdálkodási rendszer, amely a fákat integrálja gazdaságokba és a mezőgazdasági tájba, ez által diverzifikálja azokat és fenntartja a termelést a földhasználók számára, úgy hogy fokozott társadalmi, gazdasági és környezeti előnyökhöz juttatja őket (WAC). A kisparaszti földhasználatban a tanyafásítás, a legelőkön „deleltető” facsoportok telepítése, a mezővédő erdősávok tervszerű telepítése jelentette az integrált földhasznosítást. Ezek felszámolását mindenekelőtt a nagyüzemi gazdálkodásban terjedő légi növényvédelem tette szükségessé (Vityi - Marosvölgyi, 2014). Újabban a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás, természet- és tájvédelmi törekvések során újra előtérbe kerülnek egyes szinte elfeledett többfunkciós földhasznosítási módok, és a Magyarországon innovatívnak számító – de a Mediterráneumban komoly hagyományokkal rendelkező – rendszerek kialakítása is támogatott, ilyen például a fasorok közötti szántóföldi termesztés (1. ábra).

Az agroerdészeti rendszerek jelentőségét az adja, hogy nagyon sok szempontból tudnak kedvező hatást kifejteni a gazdálkodás minőségére. A fasorok, erdősávok védelmet nyújthatnak a szél-, a víz- és a talajerózió ellen, valamint különösen az utak mentén számottevő a por, zaj, szennyező anyagok elleni védelem. Méztermelési jelentőségük is lehet, ugyanis a természetben előforduló és az agroerdészetben is hasznosítható fák és cserjék számottevően megnyújthatják a méhek természetes táplálkozási ciklusát és védelmet is biztosítanak a rovarok számára az időjárási szélsőségek ellen (Somogyi, 2014). Másodlagos bevételi forrást jelenthet a kitermelt ipari faanyag, tűzifa, ritkábban gyógynövények is. Fasorokat sokszor használnak esztétikai célból. Utak szegélyezésénél közlekedésbiztonsági jelentősége is lehet, például egy éles kanyar kiemelésében vagy a hosszú egyenes útszakaszok monotonitásának megtörésében (Takács, 2008). Egyes növényekből (pl. fehér eper, bokrétafa) ültetett fasorok, allék vadgazdálkodási szempontból fontosak. Az erdősávoknak és fasoroknak természetvédelmi szempontból igen fontos a szerepük, mivel

sok élőlény – elsősorban rovar-, madár- és kisemlősfajok – számára életteret és ökológiai folyosót jelentenek.



1. ábra

1. Köztes termesztés, 2. Köztes legeltetés, 3. Mezővédő erdősáv 4. Part menti fás védősáv 5. Legeltetett erdő 6. Fás legelő (forrás: United States Department of Agriculture)

Az agroerdészeti rendszerekre jellemző, hogy erős emberi befolyás alatt állnak. Egy, illetve kevés (igénytelen, jól regenerálódó) fafajból létesülnek, cserjeszint telepítésére általában nem kerül sor, azok a környező területekről települnek be. A fás vegetáció célja lehet a köztes termény/állatállomány védelme, vagy (pl.: energetikai ültetvények esetében) faanyag termesztés.

Ahhoz, hogy a rendszer a védelmi funkcióit folyamatosan be tudja tölteni, biztosítani kell a folyamatos növényborítást. A felújítás vagy újratelepítés csak több lépcsőben és egyéb védelmi eszközök alkalmazása mellett történhet. Ennek módszerei a többlépcsős felújítás (pl.: út menti hófogó erdősáv déli, majd 5-10 év múlva északi oldalának letermelése és felújítása). Hasonló módszer lehet az egyes sorok időben és térbelileg eltolva történő regenerálása. A fenntartás során a legfontosabb feladat az idős, korhadt, kiszáradt fák eltávolítása, és (útmenti állományok esetén) az ürszelvénybe nyúló ágak eltávolítása is. Az egészségügyi beavatkozás olykor csak egy-egy egyedre érint, máskor egész fasorok cseréjéhez vezethet (Bondor, 2006).

## FAHASZNÁLATI LOGISZTIKA

A logisztika jelentése rendkívül összetett: végig kíséri a terméket a keletkezés helyétől a végső felhasználóig, beleértve az összes mozgatással és tárolással kapcsolatos tevékenységet, az információáramlással, koordinálással együtt. Feladata ebben a komplex rendszerben a folyamatok optimális összehangolása (Szakálosné Mátyás, 2012). A fahasználatra értelmezve a logisztika a fakitermelés, faanyag szállítás, feldolgozás és értékesítés rendszerének racionalizálását jelenti.

A faanyag **megtermelése** több okból is nehezebben tervezhető egy általános, ipari termelési folyamathoz képest. Erdőgazdasági munkavégzés idényjellegű: biológiai, műszaki, természetvédelmi megfontolások összehangolásával kivitelezhető. Ezek az igények időnként nehezen összeegyeztethetők, például elszórtan álló faegyedek esetében. Ráadásul a fakitermelés változó helyszínen, mindig újabb körülmények között zajlik (Rumpf, 2016).

A faanyag **szállítása** szintén speciális: viszonylag kis értékű, nagy mennyiségű terméket rendkívül különböző távolságokra kell mozgatni – a helyi felhasználástól (néhány km) akár száz kilométerekre. Az ingajarat jellegű szállításnál a visszafelé megtett úton rendszerint nincs hasznos teher (üresjárat), a kezdő útszakaszon pedig gyakran extrém kedvezőtlen

útviszonyok között kell közlekedni a rakománnyal. Ilyen módon a szállítás a teljes termelési költség 50-60%-át (Szakálosné Mátyás, 2012), de akár 70-80%-át (Rumpf, 2016) is kiteheti.

A **feldolgozás és értékesítés** szorosan összekapcsolódik. A fa a termesztő számára az értékesítéskor hasznosul, törzs (hosszúfa), választék (darabolva, esetleg kérgezve, hasítva), apríték vagy feldolgozott fűrészáru formájában. Általában jellemző, hogy minél nagyobb feldolgozottsági fokon értékesítjük a faanyagot, annál jobb a gazdasági eredmény. A kitermelhető erdei választékokat a faanyag méretei mellett a faanyag minősége is meghatározza. A fahibák formái:

- alaki hibák,
- évgyűrű hibák,
- rostlefutási hibák,
- külső hatások (pl.: időjárás, emberi, állati, gomba) okozta hibák (Rumpf, 2016).

A fenti, vállalaton belüli folyamatokhoz kapcsolódnak a külső, vállalatok vagy vállalat és felhasználók közötti folyamatok is. Az anyagi folyamatok a tér és idő szakaszosan folytonos függvényei. A szakadások alapvető oka a termelés szakosodása az adott régió gazdasági adottságainak megfelelően, ami helyben és időben különbséget eredményez a termelésben, ugyanakkor a kereslet nagyobb hányada sem ott jelentkezik, ahol az áru megtermelődik (Szakálosné Mátyás, 2012). Különösen igaz lehet ez az erdőgazdálkodásra, azon belül is a kis kiterjedésű vagy műszaki (biológiai, természetvédelmi) okokból egyszerre kevés faanyagot kitermelő területek, így az ültetvények, erdősávok esetében. Egy ipari termelő üzem környékén ugyanis megtelepülnek a szükséges erőforrások, infrastruktúra és a felvevő piac is. Az erdőgazdálkodás azonban mind térben, mind időben változó. Ráadásul a kitermelt faanyag minősége és mennyisége sem állandó, így különösen nehéz megfelelni a logisztika hét fő megfeleléségi célkitűzésének:

- a megfelelő vásárló, felhasználó számára
- a megfelelő anyag(ok), termék(ek), áru(k);
- a megfelelő időpontban;
- a megfelelő helyre;
- a megfelelő mennyiségben;
- a megfelelő minőségben;
- a megfelelő költséggel jussanak el (Szakálosné Mátyás, 2012).

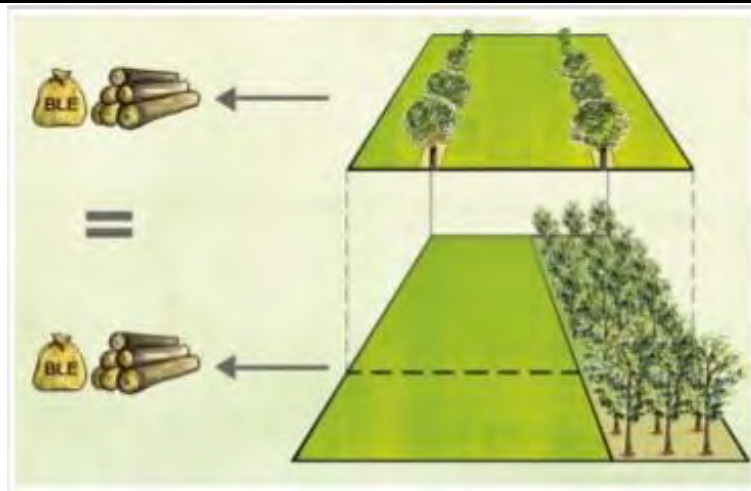
A megfelelő költségeket a szállítási eszközök, módok, szállítópályák megválasztása biztosítja.

## **AZ AGROERDÉSZETI FAHASZNÁLAT LOGISZTIKÁJA**

Az előző fejezetek alapján egyértelmű, hogy az agroerdészeti rendszerekre nem lehet az erdőgazdálkodással megegyező anyagi haszon reményében tekinteni, amennyiben csak a fahasználat eredményét vesszük számításba. Ezekben a rendszerekben szinte soha nem kerül sor egyszerre nagy mennyiségű méretes fa döntésére, a folyamatos borítás és színteztettség fenntartásának követelménye miatt. A logisztika feladatát itt tehát az adja, hogy a viszonylag kis mennyiségű, a szokásos erdei termékénél (rönk és egyéb választék) kisebb értékű faanyag a lehető legkisebb fajlagos költséggel jusson el a felhasználóhoz, a lehető legértékesebb formában.

Ha az agrár-erdészeti rendszerek rentabilitását vizsgáljuk fontos megjegyezni, hogy fásszáru biomassa tekintetében nem ad annyit, mint egy ugyanakkora alapterületű kizárólag fás rendszer (erdő, ültetvény stb.), de az agroerdészeti rendszer által megtermelt biomassa

hozama nagyobb lesz, mint bármilyen monokultúra biomassza hozama. Ennek mérésére hozták létre a föld egyenérték arányt (LER) (2. ábra).



2. ábra

Föld egyenérték arány szemléltetése LER (Dupraz et al. 2020)

### A megfelelő vásárló, felhasználó

Amennyiben a fasorokat, erdősávokat önmagában kezeli a tulajdonos, a kikerülő faanyag, választék biztosan nem elegendő nagyüzemi értékesítésre, erőművi vagy bútortipari felhasználásra. Ilyen esetben a legjobb megoldásnak a saját felhasználás tűnik, akár energetikai (tűzelés, fűtés), akár technológiai célokra a rendszerben hasznosítva. Amennyiben saját felhasználásra nincs lehetőség, a helyi értékesítés lehet viszonylag jövedelmező.

A helyi értékesítésben egy érdekes irány lehet a kisipari felhasználás. Ebben a körben ugyanis kisebb mennyiségekre van igény, ráadásul egyes (a tömegtermelésben hátránynak számító) anyaghibák az egyedi gyártásban értéknövelők is lehetnek.

Amennyiben az agroerdészeti rendszer tulajdonosa összefüggő erdőterülettel vagy ilyen irányú kapcsolattal is rendelkezik, az abból nyert faanyaggal együtt már a nagyobb felhasználók is szóba jöhetnek vásárlóként, akár viszonylag távolabbi erőművek, faipari, bútortipari feldolgozók, kereskedők.

### A megfelelő termék

Erdősávok, fasorok felhasználata esetén nem várható az erdőgazdálkodás során megszokott minden erdei termék, választék értékelhető mennyiségű kitermelése (1. táblázat). A fasorok és erdősávok esetében nem is várható el az erdőgazdálkodás során kikerülő választék mennyisége és minősége, de vannak speciális esetek amikor az agroerdészeti rendszer segítheti az erdőgazdasági célok elérését, ilyen például az erdei köztes termesztés, a mellékhaszonvétel, illetve az erdőterületek egy része. Az erdei köztes termesztés (vákáncsosok) és a mellékhaszonvétel erdő területeken történik, míg az erdőterületeket kialakíthatjuk más művelési ágban lévő területeken is. Az erdőterület szerkezeti felépítéséből adódóan csak minőségben tudhatja azt a választékot, amit egy erdő vagy egy ültetvény ad.

### A megfelelő időpont

A fakitermelési munkák végzésének ideje korlátozott. Agroerdészeti tevékenység esetében még a mezőgazdaság igényeivel is össze kell hangolni ezt a feladatot. Ebben az esetben tehát a termelés nem igazán tud alkalmazkodni az igényekhez. Megfelelő



kommunikációval elő lehet segíteni, hogy a termelési folyamat végére (amikor a faanyag, termék értékesítésre alkalmas állapotban van) a vásárlóerő rendelkezésre álljon. A logisztika célja az, hogy a lehető legrövidebb várakozási idővel kerüljön az áru a termelőtől a végső felhasználóig. Ezzel a tárolásból és a tárolás során fellépő állapotromlásból adódó költségeket lehet csökkenteni.

*1. táblázat*

**Erdei választékok az agroerdészetben**

| Választék                  | Felhasználás                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Szőlő-támfa                | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rendszeren belül is felhasználható, így költségmegtakarítást eredményezhet</li> <li>▪ helyi szőlősgazdáknak értékesíthető</li> </ul>                                                                            |
| Rúdafa                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rendszeren belül</li> <li>▪ közeli mezőgazdasági, erdészeti hasznosítása is elképzelhető</li> </ul>                                                                                                             |
| Papírfa, rostfa, forgácsfa | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kis szállítási távolságon belül olyan feldolgozó üzem, amely kis mennyiségben is átvesz alapanyagot</li> <li>▪ vagy aprítékként</li> </ul>                                                                      |
| Erdei apríték              | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ a saját energetikai célú hasznosítás mellett helyi értékesítésre is nyílnak lehetőségek, a viszonylag kis mennyiségből adódóan leginkább a lakossági vásárlás</li> <li>▪ brikett, vagy pellet termék</li> </ul> |

**A megfelelő hely**

A faanyag termelési költségének jelentős részét a szállítás teszi ki. Különösen érvényes lehet ez az agroerdészeti rendszerek esetében, ahol az erdei fahasználatához viszonyítva még kisebb értékű anyag még kevésbé koncentrált területről kerül ki. Az anyagmozgatás különböző módokon történhet, emberi, állati és gépi erővel.

**Emberi erővel:** bár élőmunka-igénye nagy, a viszonylag kis mennyiségek és méretek miatt az agroerdészetben előtérbe kerülhet. Előnye, hogy akár saját munkával kiváltható vagy a helyi lakosság számára időszakos jövedelemszerzési lehetőséget jelenthet.

**Állati erővel** (ló, öszvér, szamar, ökör, bivaly) történő anyagmozgatás hatékony megoldás lehet az agroerdészetben. Vidéki, tanyás tanyás térségekben, falvakban még gyakran előfordul ló használata mezőgazdasági munkák során, erdősávokban, fasorokban fa közelítésére is alkalmas lehet. Nemzeti parkoknál, hagyományos gazdálkodásokban még az ökör, bivaly is előfordulhat, talán inkább bemutató jelleggel, de akár turisztikai értéke is lehet.

**Gépi erővel:** nagyobb erdőállománnyal rendelkező tulajdonos esetén speciális erdészeti gépek rendelkezésre állhatnak, de univerzális traktorral is megoldható a faanyag mozgatása, csörlős vagy markolós vonszoló felszerelésével. Nem véletlenül az alföldi erdőgazdálkodásban elterjedt ez utóbbi módszer. Egyszerű körülmények között, soros ültetvényekben jól használható, költségkímélő egyszemélyes munkavégzési lehetőség. Alacsony máglyák kialakítására is használható. Vonalas kialakítású ültetvényekben vagy akár nagy területű köztes hasznosítású faültetvényekben a fenntartás során nyert faanyag kis mennyisége miatt nem valószínű, hogy ezeknél a gépeknél nagyobb kapacitású eszközökre lenne szükség a fahasználat során.



Szállítás tekintetében a közúti áruszállítástól eltérő megoldás, pl. vasúti, vízi, légi szállítás csak akkor jön számításba, ha a fasort, erdősávot más, nagyobb erdőállományból származó faanyaggal együtt mozgatják az agroerdészeti faterméket.

### **A megfelelő mennyiség**

Kis területű vagy kevés faegyedet számláló állományok esetén a kikerülő faanyag mennyisége is határt szab az értékesítési lehetőségeknek. Fokozza ezt a nehézséget a kitermelt választék sokfélesége és a legértékesebb áruk (pl. fűrészrönk, fagyártmányfa) hiánya is. Előnye lehet viszont a kis rendszernek, hogy gondos szervezéssel megvalósulhat az egyszakaszos anyagmozgatás. Ha az állomány infrastruktúrája megfelelő vagy a szállítási távolság nagyon kicsi, a kitermelés helyéről egyenesen a felhasználóhoz szállítható a termék.

Kis mennyiségű tűzifa esetleg szociális célokat is szolgálhat vagy ha turisztikai létesítmény (pl. vadászház) kapcsolódik a rendszerhez, annak fűtésére is felhasználható. A munkabiztonsági követelmények betartása mellett a helyi lakosság a saját munkája fejében is szert tehet tűzifára („szedd magad”).

A fent említett erdei köztes termesztéssel nem befolyásoljuk negatívan a kikerülő faanyag mennyiségét.

### **A megfelelő minőség**

Egyes választékot befolyásoló hibák kiemelt mértékben jelentkezhetnek fasorokban, erdősávokban, mint zárt állományokban, mivel az előbbieket az időjárási szélsőségeknek jobban kitett helyzetben állnak (görbeség, sudarlósság, villásodás, különböző évgyűrűhibák és egyéb időjárási körülmények okozta hibák).

### **A megfelelő költség**

A változó körülmények költségnövelő hatása még inkább felerősödik kis terület, kis volumenű termelés esetén. Az előző hat szempont gondos összehangolása, a kitermelést megelőző tervezés, a kommunikáció, és a lehetőségek mérlegelése vezethet együttesen a költséghatékonyság fokozásához.

Az agroerdészeti rendszerek kezelése során fokozottan érvényes, hogy „a fán nem csak fa terem” (Rumpf, 2016), az erdősávok esetében különösen igaz, hogy a kivett fa értékének többszörösét hozza a védelmi és jóléti szolgáltatások értéke. Az erdőhasználat kibővíti a fahasználatot a mellékhasználattal, például gombák, gyümölcsök, virág, anyagok (mészégetés), illetve a fa különleges hasznosítása például szén, gyanta formájában. Ezek a melléktermékek hozzáadva a fahasználatból szerzett jövedelemhez, kiegészítő bevételi forrást biztosíthatnak, amely erdősávok, fasorok esetében kulcsfontosságú lehet a gazdaságosság érdekében.

## **KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS**

A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## **FELHASZNÁLT IRODALOM**

1. **Bondor A.:** Fás biotóprendszer létesítésének és fenntartásának elemzése. Kutatási jelentés. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2006
2. **Czirok I. (szerk.):** A szálalásról és szálalóvágásról. Állami Erdészeti Szolgálat, 1999
3. **Koloszár J.:** Erdőismeret. Egyetemi jegyzet. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2010
4. **Musinszki Z.:** Mezőgazdasági számvitel. Oktatási segédlet. MISKOLC 2012
5. **Rumpf J. (szerk.), Horváth A. L., Major T., Szakálosné Mátyás K.:** Erdőhasználat, Mezőgazda Kiadó, Budapest, ISBN:9789632867199, 2016, 390 p.
6. **Somogyi N.:** Agroerdészeti Európában. Erdészeti Lapok CXLIX. Évf. 2. Szám, 2014
7. **Szakálosné Mátyás K.:** A logisztika eredményeinek alkalmazása a hazai fahasználatok hatékonyságának fokozására. Doktori Értekezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2012
8. **Takács V.:** Útfásítások közlekedésbiztonsági vizsgálata a Sopron-Fertőd kistérség területén. Doktori értekezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2008.
9. **Dupraz C., Tosi L., Paris P., Facciotto G., André J., Graves A., Lunny R., Morhart C., Nahm M.:** Alley Coppice: an innovative agroforestry system that combines timber and energy wood production, forrás: <https://www.slideshare.net/agroforestry/session-32-alley-coppice-innovative-agroforestry-system>, December 2020

## **A BESZERZÉS ÉRTELMEZÉSE A FAIPARI VÁLLALATOK KÖRÉBEN**

**Absract:** A XXI. századot a folytonos változás, a növekvő igények és a fokozódó komplexitás, a variábilis üzleti modellek megjelenése, valamint új kihívások és technológiák jellemzik. A kialakult és kiéleződött időverseny alapú piaci helyzetben az egyik legfontosabb szempont a vállalkozások részéről a gyors változásra való képesség és a rugalmasság, amely jelentősen kihat a versenyképességére és a fenntarthatóságára. A beszerzési terület a termelés zökkenőmentes biztosításán túl a minőségi és gazdaságos alapanyagok biztosítása miatt kulcsfontosságú a vállalatok hatékonyságában és az értéktérítő folyamataikban. A kutatás célja a hazai faipari vállalatok beszerzési stratégiáinak feltárása, annak kiértékelése és beszerzési céljaik fontosságának vizsgálata a faiparban az összvállalati siker szempontjából.

**Kulcsszavak:** Hatékonyság, Stratégia, Beszerzés

### **1. Bevezetés**

A beszerzés maga egy tevékenység, amely termékek és szolgáltatások beszerzésére irányul, és egy funkcionális csoportból áll. A csoport annak érdekében tevékenykedik, hogy a vállalat számára maximális értékeket teremtsen, biztosítsa az időszükségleteket a költségek csökkentésével (Monczka 2015).

Egy másik szemszögből a beszerzés a vállalat olyan jellegű menedzselését foglalja magában, amely a rendelkezésre álló tudás révén úgy szerzi be a külső erőforrásokat, hogy azok a vállalat fenntartására és támogató tevékenységeik elvégzésre szolgáljon a legkedvezőbb feltételek mellett (Arjan 2014).

A beszerzési logisztika a mai fejlett világunkban már túlmutat az egyszerű anyagbeszerzési feladatok ellátásán, szerepe és jelentősége megnövekedett, emellett paralel kibővült a fogyasztók számára teremtett, azaz a hozzáadott értékkel. A hozzáadott érték előállításához ez a területe a logisztikának már stratégiai tényezővé nőtte ki magát, hiszen köztudott, hogy egy átlagos feldolgozó vállalat teljes összköltségének 40, de akár 50%-át is kiteheti a beszerzési anyagköltség. Ezért a vállalaton belül a beszerzési alapelvek megfogalmazásakor szükséges egyben a beszerzési stratégia meghatározása is a megfelelő működéshez és a gyorsabb piacra jutáshoz. Manapság a vállalatoknál igénynek kellene felmerülni a hatékonyságuk és a vállalati tevékenységeik javítása érdekében arra, hogy felmérjék helyzetüket, erőforrásaikat, képességeiket, megítéljék a lehetőségeiket, kockázataikat, amelyek felmérése után jobban tudnak az alapvető képességeikre koncentrálni és így ezáltal az erőforrásaikat megfelelőbben felhasználni és átcsoportosítani. A beszerzési területnek feladata a beszerzés tervezése, beszerzési stratégia kialakítása, hiszen mint menedzsment rendszernek szükséges funkcionálnia a vállalatoknál, mivel kihatnak a végtermék minőségére és technikai színvonalára (Majoros 1998). A beszerzés kibővült feladatai szerint így már nemcsak a szolgáltatások, javak beszerzését jelenti, hanem beruházásokkal, fejlesztésekkel, piacismeretekkel is kiegészült, ráadásul rendeltetése van a minőségnek és a designnak is, így ez a terület kiszélesedett és sokkal komplexebb folyamattá vált.

A fenntarthatósághoz és a profit termelő képesség növekedése érdekében a vállalaton belül a logisztikai rendszernek indokolt az optimumhoz minél inkább közelíteni valamennyi üzletágot lefedő folyamatszemplélettel. Az átlátható és integrált értékteremtési lánc biztosításához a vállalatoknak az egyik legfontosabb feladata a rendszerben, az egységként való gondolkodás, mert ezáltal optimalizálható és egyben növelhető a hatékonyság, valamint összefüggéseket lehet alkotni a logisztikai részterületek között és szélesebb látókört birtokolhatunk, amelyek elősegítik a döntési folyamatokat. A rendszerszemléletű vállalatoknak nagyobb esélyük van a fenntartható és hatékony vállalati működésre, amely célt a logisztikai folyamatokon keresztül tudnak megvalósítani. A beszerzési logisztika felelős az anyagáramlási folyamatokért amely azokat a készleteket, anyagszükségleteket, szolgáltatásokat, javakat biztosítja amelyek a termelés kivitelezéséhez szükségesek. Ha a beszerzési területen az anyagok és az információk jól szervezettek, megfelelően, gyorsan, és pontosan áramolnak időt és költséget takarítunk meg, amivel egyértelműen fokozódik a vállalat rentábilis helyzete. Az idő és költségcsökkentésben a beszerzésnek mérvadó feladata van, ezért súlyponti kérdés, hogy a vállalatoknál a beszerzés valójában milyen gyakorlati szerepet kap. A költség kimagasló szerepet tölt be a versenyképesség meghatározásánál, hiszen alacsonyabb költségek mellett opciója van a vállalatnak a profit maximalizálására. Ceglarek (2004) szerint a magasabb minőségű termékkel vagy szolgáltatással és alacsonyabb költségekkel kell teljesíteni a piac elvárásait ebben az időalapú versenyben.

A piac konstans változása, a növekvő vevői igények, a környezeti hatások megkövetelik, hogy a vállalatok gyors, rugalmas választ adjanak a felmerült ingerenciákra plusz költség előidézése nélkül. A rugalmasságot Golden-Powell (2000) a vállalatok alkalmazkodási képességével deklarálta. Az alkalmazkodás képessége a felmerülő változásokra adott gyors, sikeres válaszreakció, azaz a vállalat által tanúsított rugalmasság. A vállalati rugalmassághoz a beszerzési területnek is nagy jelentősége van, hiszen biztosítja a kiadások feletti kontrollt, kezeli a kockázatokat, átláthatóságot nyújt, segíti a vállalati célok előre mozdítását.

A beszerzésre irányuló elemzés 2019-ben készült, online kérdőíves megkeresési formában, amely csak faipari vállalatokra és faiparral kapcsolatos cégekre terjedt ki. Egyaránt kis-, közép-, és nagyvállalkozások adtak választ a kérdőív kérdéseire, amely válaszok a cikkben részlegesen kerülnek elemzésre.

## **2. A magyar faipari vállalatokról**

A faipar területét is érinti a jelenleg uralkodó szakember hiány, amely természetesen plusz problémákat képez a vállalatoknál az eleve adott nehézségek mellett. A becslések szerint Magyarországon a 2018-as Napi.hu adatai szerint 4000 faipari vállalkozás tevékenykedik, amelyből körülbelül 60% a bútorgyártás területére szakosodott. A 2018-as évet megelőzően az Opten céginformációs adataiból kiderült, hogy 2012 és 2017 között több, mint 400 bútorkészítő vállalkozás fejezte be működését, ezzel párhuzamosan az adatokból az is kiderül, hogy az iparágban dolgozó munkások száma is lecsökkent. A 2019-es évet jellemző lakás és ingatlan piaci fejlődés természetesen a faipari vállalkozásokon is lendített. A jelenlegi kormány által kínált lehetőségek, támogatások és futó akciók révén a szakértők a bútoripar területén nem várnak jelenleg nagy visszaesést. Az exportálás lehetősége lehet még fellendítő a faipar számára, amennyiben Európában keresik a magasabb minőségű design bútorokat. A design bútorokra Magyarországon kevésbé van kereslet, a piac árérzékeny és a piaci szereplők jelenleg hamarabb vásárolnak ázsiai olcsóbb, minőségileg silányabb bútorokat, amely szintén egy veszélyforrása a faipari vállalkozások profit csökkenésének, megszűnésének. Ezzel

ellentétben a Hvg.hu közleménye szerint a „magyar faiparnak és bútorigarnak csakis a designtartalom és a nagyobb hozzáadott érték jelentheti a jövőt.”<sup>1</sup>

### **3. A beszerzéssel kapcsolatos kutatás eredményei és kiértékelése**

A kérdőívnl a faipari vállalatoknál a beszerzési terület fontosságára koncentrá, célom a magyar faipari vállalatok körében a beszerzés súlypontjának, stratégiájának felmérése és a vállalaton belüli szerepe az összvállalati siker szempontjából. A kérdőíves felmérésben adott válaszokból egyértelműen kiderül, hogy a vállalkozások hová sorolják be a vállalaton belül ezt a területet. Egyben megmutatja a magyar faipari vállalatok ítélőkéességét a beszerzési terület fontosságáról, mely tényezőket tartják fontosnak, befolyásolónak és kockázatosnak. A kérdések tudatosan egymásra építettek és valamelyest összefüggenek, így a válaszok alapján természetesen kiderül, hogy mit is tartanak fontosnak gondolati szinteken, de azt is megmutatja, hogy a valóságban hogyan működik a vállalat és milyen szemléleteket vallanak a gyakorlatban.

Minden egyes vállalat esetében fontos a beszerzés területe és ezen a területen a lehetőségek felmérése a költség csökkentésre, hiszen ezáltal már pár %-os költségcsökkentés (beszerzési árak, beszállítói kedvezmények, stb...) azonnali árbevétel növekedést eredményez a vállalatok számára. A beszerzés feladata és célja egy meghatározó faktor, mert ezek által teremt értéket és járul hozzá a vállalati eredményekhez.

A kutatás során vizsgált társaságok iparág szerinti megoszlása vegyes volt: bútorigari vállalatok, faipari kereskedelmi vállalatok, faipari gépkereskedő vállalatok, fafeldolgozó vállalatok és olyan faipari cégek vettek részt, akik az építőipar számára gyártanak faipari termékeket.

#### **1.Kérdés: Mennyire tartja fontosnak az alábbi súlypontokat a beszerzési stratégiában?**

**Hatékonyság**

**Költség**

**Minőség**

**Kockázat**

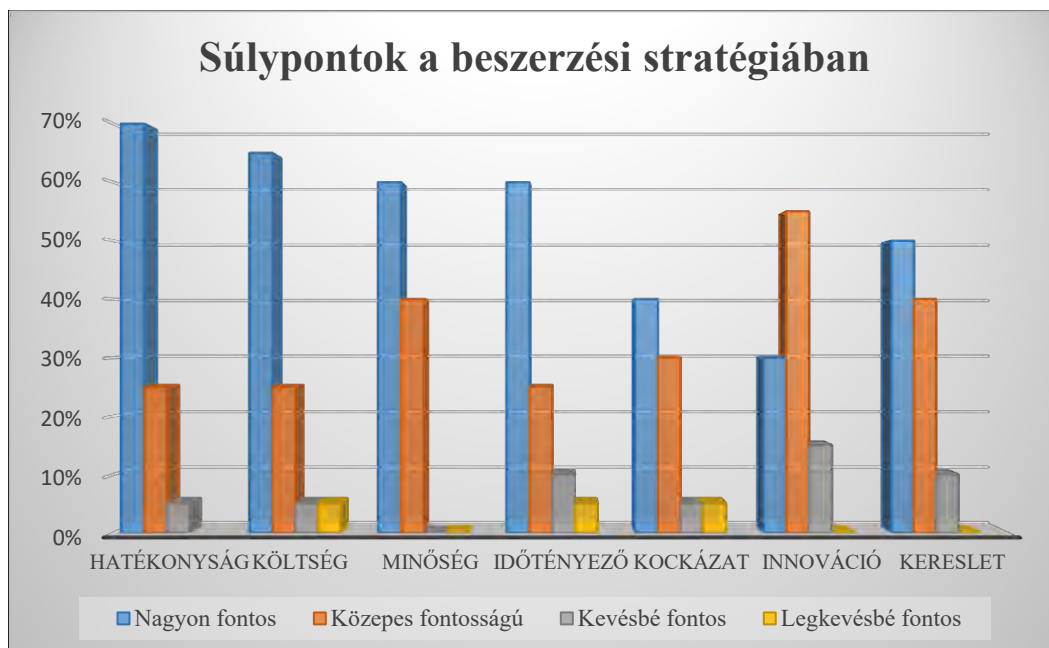
**Innováció**

**Kereslet**

**Időtényező, határidők**

---

<sup>1</sup>[https://hvg.hu/kkv/20191213\\_Egyuttmukodik\\_a\\_Magyar\\_Divat\\_es\\_Design\\_Ugynokseg\\_a\\_Magyar\\_Butor\\_es\\_Faipari\\_Szovetseggel](https://hvg.hu/kkv/20191213_Egyuttmukodik_a_Magyar_Divat_es_Design_Ugynokseg_a_Magyar_Butor_es_Faipari_Szovetseggel)



### 1. diagramm A vállalatok beszerzési stratégiájának súlyponti megítélése<sup>2</sup>

Az 1. diagrammban szemléltetett válaszok között látható, hogy a vállalatok beszerzési stratégiájában a válaszadók **70%-nál a hatékonyság** volt a legfontosabb súlypont a működésük területén. Ha egy vállalat a hatékonyságra törekszik, akkor az a valóságban hozzájárul, hogy minimalizálják az állásidőket, többlettermelést, felesleges (anyag)mozgatásokat, csökkentsék a hibás termékeket, megfelelő készlettartásra törekszik, amely által a tárolási és egyéb beszerzési, beruházási költségek is minimalizálódnak, hiszen egy jól összehangolt vállalati tevékenységgel időbeli pontosság, beszállítási hatékonyság könnyvelhető el. A hatékonyság egyszerűen kifejezve az elért eredmény arányát mutatja meg a felhasznált erőforrásokhoz képest, amelynek növelése csak a folyamatok javításával érhető el. A válaszokból látszik, hogy a vállalatok tisztában vannak a beszerzés hatékonyságának fontosságával, amelyet természetesen csak egy optimálisan funkcionáló beszerzési területtel lehet megvalósítani. A vállalatok által birtokolt Know-how és erőforrásaik alapján szükséges a termelés részére fenntarthatóan és hatékonyan a vállalat által kitűzött célokat és elvárt igényeit megvalósítani. A hatékonyság fogalma alatt remélhetőleg a társaságok és vállalatok is szélesebb látókörrrel rendelkeznek, ezáltal náluk is a hatékony működés alapjaiba beletartozik a *hatékony szakmai kommunikáció, szabványosítás, anyag-, energia és technológiai, beruházási hatékonyság*.

A következő a **költség** volt a nagyon fontos kategóriában, mert a válaszadók **65%-a** ezt emelte ki további súlyponti tényezőnek. Amelynél szintén a beszerzésnek van jelentős szerepe, hiszen számos eleme van, mint például az alapanyagok beszerzése, szállítás, raktározás, amelyek a vállalati költségek 50%-át is kitehetik. Ezért az egyik legfontosabb cél a vállalati működésben, hogy a költségeket minimalizálja, megtakarításokat érjen el, az ellátást biztosítsa megfelelő áron, így ezáltal hatékonyabb működés érhető el.

A közepesen fontos prioritású kategóriába esett a **minőség** és az **időtényező, határidők**, amelyek **60%-os** véleményezést kaptak. A szállítási határidőknek óriási szerepük van a termelési pontosságban. A megítélésem az, hogy az időszükségletek figyelembe vételével, annak csökkentésével költség megtakarításra is lehetne szert tenni, amely által javulna a beruházási gazdaságosság is. A minőség fogalma átértékelődött az idővel, hiszen ma

<sup>2</sup> Forrás: saját készítés

már nem csak a hibátlan terméket és szolgáltatást jelenti, hanem a vevőközponúságot és a szolgáltatási színvonalat is magába foglalja. A vállalatok is érzik a súlyát, hogy az anyagellátási rendszer kielégítése csak megfelelő minőségű termékekkel illetve megfelelő beszállítókkal hatékony, mert csak így biztosítható a felmerült igények potenciális ellátása, amely egyben hozzásegíti a vállalatokat a vevők eredményesebb kiszolgálásához és maximálisabb elégedettségéhez. A minőség tehát hozzájárul a vevői elvárások megfelelőbb teljesítéséhez, amely a vállalatok számára csak pozitívumként íródhat jóvá. A céltudatosan irányított minőségügyi gondolkodásmód a vállalat igényeinek megfelelően együttműködik a menedzsment részleggel és az üzleti célok megvalósításánál a hangsúlyt a finanszírozás, a vevői elégedettség-, kiszolgálási színvonal, biztonság fejében végzik. Így a minőség is a versenyelőny egyik legalapvetőbb pillére, hiszen a minőség minden egyes vállalati tevékenységre kihat, amely révén befolyásolja a vállalatok működését. A versenyképesség megőrzésének a minőségnek a vállalatok alap szemléletmódozata között kell, hogy szerepeljen a hosszútávú fennmaradás érdekében piaci részesedés realizálásával.

A **kockázat** szempontját mindössze a vállalatok **40%-a** tartotta fontosnak, vagyis a kevésbé fontos kategóriába sorolták. A kockázatok felmérése és kiértékelése pedig mérvadó a beszerzés determinálásában, mert az ellátási kockázat minimalizálása a legfontosabb cél, amelyek eredhetnek akár károkockázatokból, akár nyersanyagár kockázatokból, akár beszállítói kockázatokból, stb... Ebből arra lehet következtetni, hogy a kockázatelemzés és kockázatfelmérs nem valószínűsíthető a cégek többségénél, vagy a vállalatok nem foglalkoznak a kockázati tényezőkkel, de nem azért, mert nincsen kockázatelemzésük, hanem, mert pontosan tisztában vannak a veszélyekkel, de ezeket a veszélyeket be kell vállalniuk valamilyen vállalati „gyengeség” miatt. Pl. nincsen erőforrásuk kiküszöbölni, vagy a versenyhelyzet kikényszeríti, vagy túl drága lenne, és finanszírozási problémákat vetne fel, vagy nincsen idő és szakember kapacitásuk, hogy felmérjék. A kockázatelemzéssel tudatosan lehetne a felmerülő veszélyeket és a pénzügyi kockázatokat felmérni, majd minimálisra csökkenteni, vagy kiküszöbölni, pluszban meg lehetne határozni azokat a pontokat, amelyek a vállalati célok megvalósításában akadályokat jelentenek. Előfordulhat, hogy a vállalkozások nem érzik a súlyát a kockázatoknak, amelyet például az ellátási kockázat is jelenthet, hiszen az ellátási kockázatok minimalizálása a termelés zavartalan biztosításához elengedhetetlen, ugyanis ellátási kockázat esetén pénzügyi kockázatok is felmerülnek, a működés, termelés kapacitásának kihasználtsága romlik, amely plusz költségeket, állásidőket indukál, valamint egyértelműen minőségi és szolgáltatásbeli pontatlanságot von maga után. A vállalatok a hatékonyságot jelölték a legfontosabb tényezőnek, de nem biztos, hogy a válaszadás pillanatában mélyebben átgondolták, mely lehetőségek emelhetik, vagy csökkenthetik a hatékonysági mutatójukat, hiszen a kockázatok csökkentése, kezelése a kevésbé fontos kategóriába esett, amely nélkül a hatékonyságuk sem lesz megfelelőbb.

Mindössze **30%** tartotta az **innovációt** fontosnak, amely egy meglepő eredményt mutat, hiszen a kompetitív előny elérése és fenntartása innováció nélkül szinte lehetetlen. Az innováció elengedhetetlen, mivel a fejlesztések, a közös együttműködések a beszállítóval, mert ezáltal emeli a beszerzési folyamat hatékonyságát, eredményességét, hozzásegíti a vállalatot a hatékonyságnövelés lehetőségeinek keresésében, a közös munka a beszállítók bevonásával javítja az együttműködést. Az innováció hozzásegíti a vállalatokat az eredményesebb működéshez. Feltételezem, hogy az innováció és a fejlesztés ilyen mértékű alacsonyra becslésének az oka az idő és kapacitáshiánnyal mindenképpen magyarázható, de a likviditási probléma is erősen befolyásoló komponense. A kapacitáshiánynál a szakemberhiány egy súlyponti tényező, az adott részlegen dolgozók kisebb létszáma, mint ami valójában szükséges lenne, az ebből adódó túlterheltség, túlmunka is szerepet játszik az innováció ilyen mértékű alulértékelésében. De a vezetőség, illetve a dolgozók hajlandóságát sem szabad kizárni, hiszen ezen is sok múlhat. Az innováció hatása számottevő és erősen

manipulatív már most is, és ez az impulzus csak fokozódni fog, közvetve a színvonalra és jövőben egyre inkább számottevő lesz a kereslet és egyre mérvadóbb lesz az ökológia hatása is.

## **2.Kérdés: Hogyan értékeli a felsorolt kockázatokat a beszerzés területén?**

**Környezetvédelmi szigorodások**

**Áringadozás**

**Szállítmány, szállítási veszteség**

**Digitalizáció**

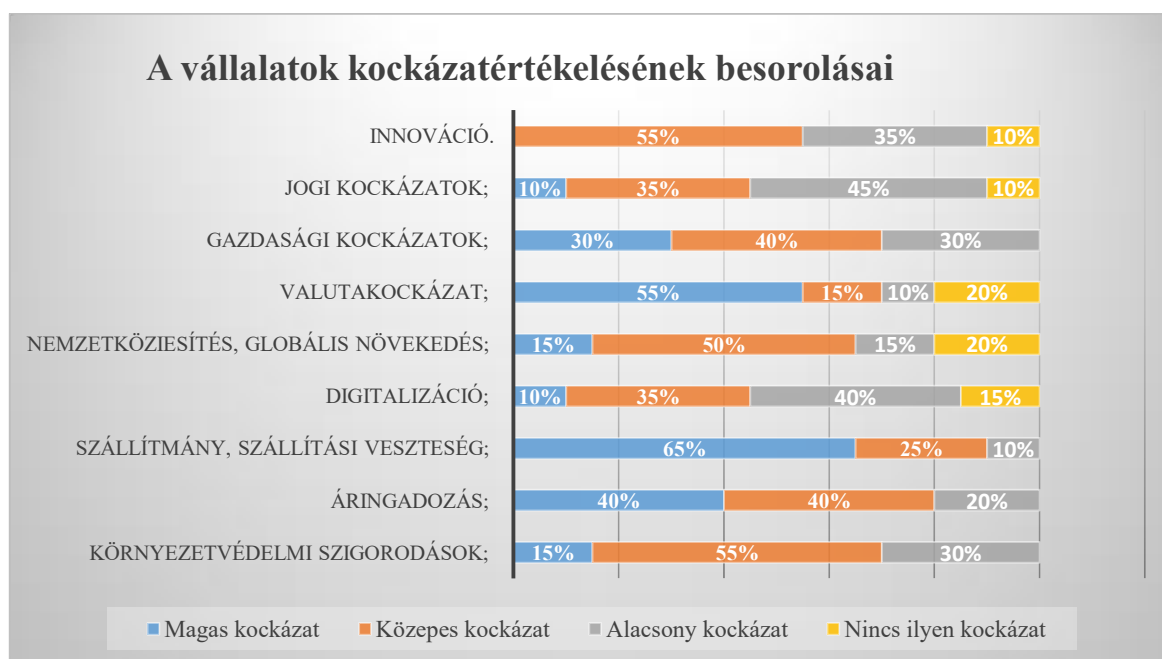
**Nemzetköziesítés, globális növekedés**

**Valutakockázat**

**Gazdasági kockázatok**

**Jogi kockázatok**

**Innováció**



## **2. diagramm A beszerzés területén értékelt kockázatok összefoglalása<sup>3</sup>**

A 2. diagrammban szemléltetett válaszok összesítéséből leolvasható, hogy a vállalatok a **szállítmány, szállítási veszteséget** értékelték a legkockázatosabb tényezőnek ma és valószínűsítve a jövőre vonatkozóan is. A szállítmánykiesés, szállítási veszteség egy olyan forrás, amely a vállalatok számára a késedelem, áruveszteség, sérülés által plusz, nem várt költségeket eredményez és általában állásidőket is a termelésnél. A magas kockázatú kategóriába esett, mivel a válaszadók **65%-a** tartja a legkockázatosabb tényezőnek. Ugyanekkor gondot jelent a vállalatok számára a szállítmánykiesés, vagy késés is, amely szintén nem várt költségeket termel a vállalatoknál. A szállítmánykiesést, késést sajnos raktározással sem lehet csökkenteni, de a termelés akadozásának valószínűsége minimalizálható a raktározás által, azaz a bekövetkezésének a kockázatát ezáltal lehet csökkenteni, de a másik oldalról az árukészletbe a vállalat pénze áll, és plusz raktározási

<sup>3</sup> Forrás: saját készítés



költségeket is vonz maga után. A kérdésre adott válasz természetesen nem meglepő, hiszen az árukár és a szállítmánykiesés ezért elég nagy kockázatot jelent a vállalatok részére, mint ahogy a Lean elvek is kimondják, hogy mindazon tevékenység, amely közvetlenül nem állít elő a vevő számára értéket, az veszteségnek számít. Ezzel ellentétben az előző kérdésben a kockázatok súlyát és az ellátás biztosításának kockázat felmerülését a vállalkozások nem látták át ennyire tisztán, azaz nem érezték a súlyát a keletkező veszteségeknek. Pedig a vállalatok a kockázatok megállapításával, a folyamatok optimalizálásával hatékonyabb működésre tehetnek szert a kockázat – nyereség kiértékelésével.

A **valutakockázat 55%-ával** is az egyik legfontosabb helyen áll, hiszen befolyásolhatatlan és kiszámíthatatlan így elég magas kockázatnak minősítik a vállalatok, mint ahogy az **áringadozás** is. A valutakockázat a Ft és a különböző devizanemek közötti arányának a változása révén képződik, amely a beszerzésnél jelentős, hiszen a külföldről megrendelt termékek megállapodás alapján lehetnek 30-60-90 napos fizetési határidővel megkötve, így egy árfolyam emelkedésnél a kifizetéskor a termék ára emelkedhet, vagy csökkenhet. Általában sajnos emelkedik és a forint árfolyama rossz napokat könyvelhet el, ezért miután a gyártás megtörtént a nyereség valószínűsíthetően nem a várt összeget hozza. Ellenben egy exportáló vállalatnak exportorientált gazdaságnak ez növekedést hozhat a mérlegükben. A piaci, gazdasági, környezetvédelmi helyzetek is erősen befolyásolják a forint különböző árfolyamokhoz való viszonyát. Az áringadozás is egy kiszámíthatatlan kockázat, amely egyértelműen nagy hatással van a vállalati eredményre. Ezt az áringadozást befolyásolhatja például fakitermelési problémák, vagy aszály, de egy erdőtűz következtében kialakult áringadozás is ide tartozik, vagy az ország besorolása is kaphat más minősítést, ami miatt drágább lesz a faanyag behozatala.

Az első kérdésre adott válaszok kielemezése után nem meglepő, hogy az **innováció** itt is a háttérbe szorul. Az innovációval a versenytársak az új technológiákkal gyorsabb, minőségibb, átláthatóbb, elemezhetőbb folyamatokkal előnyhöz juthatnak. Egyáltalán nem értékeli magas kockázatnak, amelyet véleményem szerint a vállalatok nem biztos, hogy megfelelően mértek fel. A vevői igények változnak, a termékek bonyolultsága, funkcionalitása nő, így azok a vállalatok, amelyek az innovációt háttérbe szorítják idővel kevesebb piaci részesedéshez jutnak, de akár krízis helyzetbe is kerülhetnek, mert az innováció által a többi cég versenyelőnyre tesz szert, több ügyfelet, vásárlót tud magához rendelni, jobban lefedi a piacot, mint amely cégek figyelmen kívül hagyják ezt a lehetőséget. A beszerzési területen az innováció által lehetőség nyílik elektronikus katalógusmenedzsmentre vagy elektronikus beszállítói igényekre, ezáltal lerövidítve az elemzési és minősítési fázisokat, amely értéknövelt feladata által kihat a vállalat hatékonyságára, mert gyorsulnak a folyamatok, nő a teljesítmény, a folyamatok testreszabásának sebessége. Azonban vállalatok innovációját meghatározza a vezetői, menedzsmenti gondolkodásmód, a vállalat stratégiája, a vállalat jövőkép elképzelése.

A **környezetvédelmi szigorodásokra** adott válasz a **15%-os** kockázattertelékelésével meglepő válaszeredményt produkált, hiszen a klímaváltozás, a fennálló környezeti problémák és a fogyatkozó erőforrások már egy jó ideje ismertek, amelyek egyre inkább erős szemléletváltozást követelnek a gazdasági társaságok részéről. A piac változása, a kereslet ingadozása, a versenyhelyzet fokozódása egyre több figyelmet és változtatást követel a vállalatok részéről a környezetvédelemre vonatkozóan is – zöld beszerzés. Különböző és további környezetvédelmi szigorodások várhatóak, amelyek természetesen a vállalatok számára többletköltségekkel járnak, egyre inkább elvárás a környezettudatosabb gondolkodás, illetve a vevőknél is mindinkább a tudatosabb vásárlás és a speciálisabb szempontok a mérvadók. A környezetvédelem fontossága már a marketingnél is megjelenik, de kiemelkedő szerepe van a hulladékkezelés terén, valamint, hogy a felhasznált alapanyagok, anyagok természetbarát anyagok, vagy újrafelhasználhatóak, újrahasznosíthatóak.

### **3.Kérdés: A vállalatok értékelése a beszerzési terület céljainak fontosságáról az összvállalati siker szempontjából**

Szempontok:

**Beszerzési árak csökkentése**

**Beszerzési ellenőrzés**

**Beszerzési folyamatok automatizálása**

**Folyamat átláthatóság**

**Folyamat megfelelés**

**Beszerzés biztonságossága**

**Category Management**

**Innovációs menedzsment**

**Kockázatkezelés**

**Beszerzés integrálása**

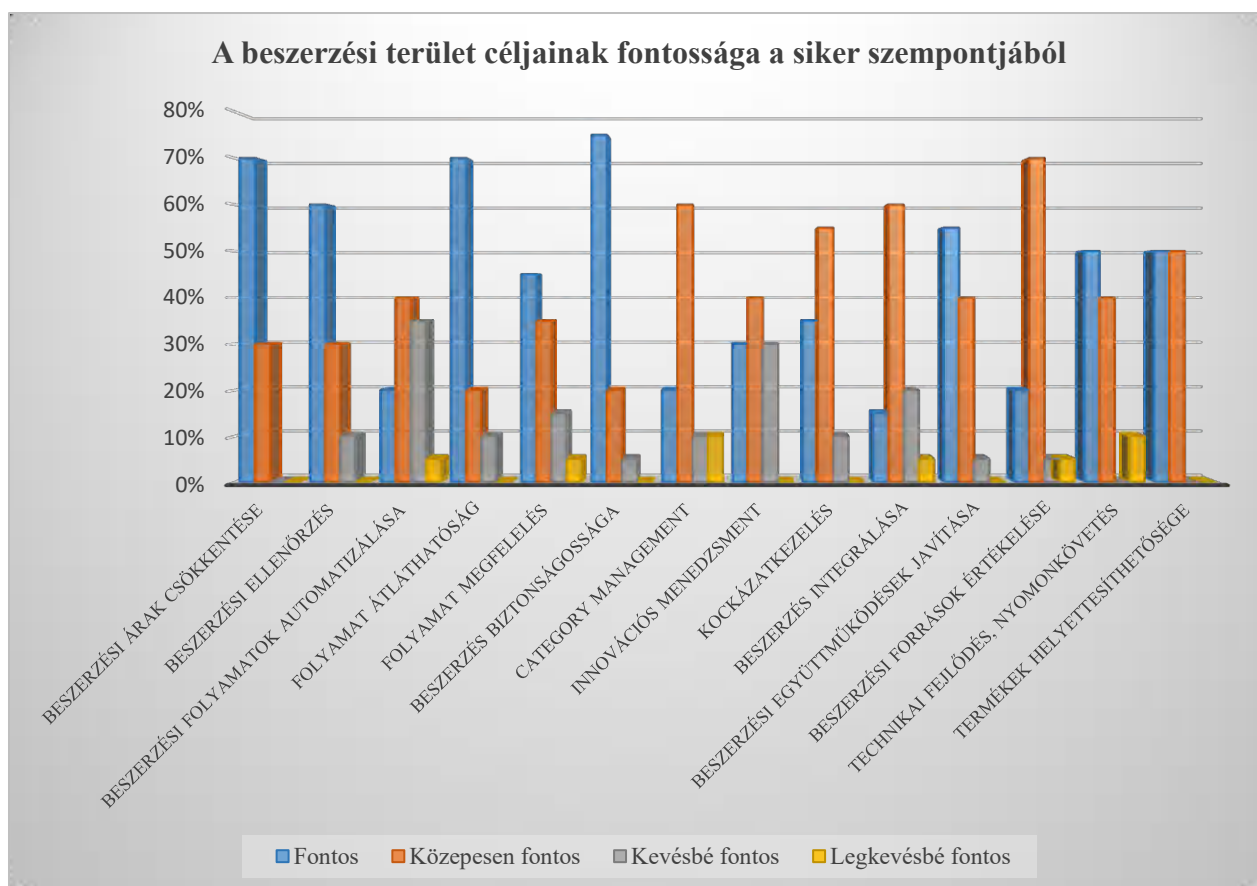
**Beszerzési együttműködések javítása**

**Beszerzési források értékelése**

**Technikai fejlődés, nyomonkövetés**

**Termékek helyettesíthetősége**

A vállalati sikeresség meghatározása manapság elég nehéz, mitől lesz pontosan sikeres egy vállalat. Az azonban biztos, hogy a sikerességhez mindenképpen a fókuszban kell lennie a vevői elégedettségnek, hatékonyság növelésnek, fejlesztéseknek, költségek csökkentésének és az alkalmazkodóképességnek, összehangolt működésnek, ökológiai tudatosságnak. Amelyre a vállalatok többsége is így tekint és gazdasági szempontból is próbálják a megfelelő lépéseket megtenni ennek érdekében, de nagyon sok a zavaró és akadályozó tényező, mint pl. változó piac, változó igények, rohamos fejlődés, stb... A beszerzési árak csökkentése egyértelműen hozzájárul a nagyobb profit realizálásához, versenyképességhez, hatékonysághoz, míg a beszerzési ellenőrzés segíti a visszacsatolási lehetőségeket, hogy átláthatóbb képet adjon a veszteségekről, nem optimálisan működő folyamatokról, rendszerekről. Ugyanígy a folyamat átláthatóság és a folyamat megfelelés és a Category Management az elemzési lehetőségeket, áttekinthetőséget biztosítja, amik a fenntarthatóságra és a versenyelőnyre is egyaránt kihatnak. A beszerzési folyamatok automatizálása, technikai fejlődés nyomonkövetése gyorsabb reagálást eredményez a megváltozott piaci folyamatokra, így a digitalizáció által a versenytársaknál folyamatgyorsaság, rugalmasság, átláthatóság realizálható, így azok a vállalatok, amelyek nem kezdeményeznek ebbe az irányba hátrányban fognak kerülni, mert rendelkezésre áll a naprakész, pontos információ a jobb tervezhetőség. A kockázatkezeléssel folyamatoptimalizálás érhető el, csökkenthetőek lesznek a felmérés által a kockázatok, az innováció menedzsment a rugalmasságot, versenyképességet támogatja, míg a beszerzés integrálása hozzájárul a kommunikáció és a koordináció javításához. A termékek helyettesíthetősége is egy sarkalatos kérdés, hiszen a beszerzendő termékek standardizálásával bizonyos kockázatok csökkenthetőek, esetleges fennakadások esetén a helyettesítő termékek alternatívát adnak a vállalatoknak a zavartalan termelés biztosításához.



### 3. diagramm A szempontok értékelése a beszerzési terület céljainak fontosságáról<sup>4</sup>

A 3. diagrammban összesített válaszok alapján a legnagyobb fontosságot képviselő szempontok a beszerzési árak, folyamat átláthatóság, beszerzési biztonságosság, beszerzési együttműködés javítása volt. A **beszerzési árak** itt is egyértelműen visszatükrözték az első kérdésre adott választ, hiszen a beszerzésben a vállalatok 65%-a a költséget találta az egyik legfontosabb tényezőnek. Mindemellett természetesen a **kockázatkezelés** és az **innováció menedzsment** minimális fontosságot kapott, ahogy az eddigi kérdésekre adott válaszok is tükrözték. Ezek nélkül pedig sem költségmegtakarítás, sem fenntarthatóság, hatékonyság nem érhető el. A felmérésnél több kulcsfontosságú kérdésnél kiderült, hogy a vállalatok nem látják át a szempontok súlyosságát vagy összefüggését a vállalati működésben. Megjegyzésként hozzátéve, hogy ez csak a faipari vállalkozások működésének, logisztikájának, folyamatának egy kis szelete amely a beszerzési területre koncentrált, amely kis szelete ellenére mégis erősen meghatározó tényező és egyben befolyásolja az egész vállalatot, a működését, lehetőségeit és nyereségességet.

A **folyamat átláthatósága** kapott még nagyon fontos megítélést. Vitathatatlan, hogy a hatékonysághoz elengedhetetlen az átlátható értékteremtési lánc, viszont ugyanúgy szükséges a kockázatok megállapítása, csökkentése és a folyamatok optimalizálása, amely feladatokat a megkeresett cégek bizonyos része alulértékeltek, hiszen nem készítenek riportokat, elemzéseket, így nincsenek tisztában a kockázatokkal, ezáltal nem megfelelő a folyamat optimalizálása, amely így megdönti a „többet kevesebből, de jobb színvonalon” elvet. A színvonalasabb kiszolgáláshoz, a versenyelőny fenntartásához, a vevői megelégedettséghez, rugalmassághoz, profit maximalizáláshoz rendszerszemléletre, stratégiára, minőségmenedzsmentre, innovációra, kockázatelemzésre és értékelésre van szükség. A

<sup>4</sup> Forrás: saját készítés

folyamatorientált gondolkodás, a folyamatok aktualizálása a változások által, a kompetenciák fejlesztése, az innováció a változásokhoz elengedhetetlen része a folyamat átláthatóságához.

A **beszerzési együttműködés javítása** hozzájárul a beszerzés biztonságosságához is. A 3. diagrammon jól kitűnik, hogy a **beszerzés biztonságossága** a nagyon fontos kategóriába esett, ezzel ellentétben az alábbi kérdésnél kiderül, hogy a vállalkozások majd 50%-nál nem létezik beszerzési stratégia és árubeszerzés, kategorizálás és aktualizálás. Így nem egyértelmű, hogy hogyan várják el a beszerzés biztonságosságát, valamint a **termék helyettesíthetőségét**, amely szintén a közepesen fontos kategóriába esett.

#### 1) A beszerzett árukategóriákra létezik-e beszerzési stratégia?

A **beszerzési stratégia** fontossága az ellátás biztonságánál, az időalapú kockázatok csökkentésénél, a költségek minimalizálásánál jelenik meg leginkább. A vállalatok meglepően alul értékelik a beszerzési stratégia jelentőségét, mert a fontosságának ellentétéként az elemzésben résztvevő kis-közepes és nagyvállalatok majdnem **50%-nál** még mindig nincsen vagy csak részben jelenik meg beszerzési stratégia 4. diagramm.



#### 4. diagramm A vállalatoknál a beszerzési stratégiák fellelhetőségének aránya<sup>5</sup>

A beszerzési stratégia megfelelő megválasztása hozzásegíti a vállalatokat az eredményességhez, a hosszútávú előnyökhöz, megtakarításokhoz, de hozhat közvetlenül is profitot, amely akár tartós előnyhöz is vezethet (ha csak az egyszerű hatékonyság növelésére gondolok – rövid távolságú készletbeszerzés, stb...). A vállalatok 52,6%-a rendelkezik beszerzési stratégiával és ezen belül mindössze csak 25%-nál van használatban. A használat mellett rendszeresen felülvizsgálják és aktualizálják a létező struktúrához. Ebből azt a következtetést tudom levonni, hogy nincsen megfelelő nyilvántartás, kategóriába sorolás, stratégia, menedzsment, kommunikáció, kommunikáció áramlás, nincsenek rendszeres megbeszélések, hanem sokszor csak akár véletlen-szerűen szerzik be az anyagokat még akár előny-hátrány felmérése nélkül. Megdöbbentő eredmények, ellentétesnek tűnő válaszok, mivelhogy a vállalkozások 70%-nak a hatékonyság a legfontosabb tényező. Kiforrott,

<sup>5</sup> Forrás: saját készítés

kidolgozott, elemzett és aktualizált technológiák, menedzsment, irányítás nélkül pedig elképzelhetetlen a hatékonyság.

## **2) Kik állítanak elő riportokat és milyen gyakorisággal? Valamint mely területekre fókuszálnak?**

A kutatás felépítésekor figyelembe vettem még egy fontos területet, a **riportok** készítését, illetve, hogy ezek elkészítése a vállalatok melyik területekre fókuszálódik. Az adott válaszok eredménye megmutatta, hogy a felmérésben résztvevő faipari vállalatok **36%-a** készít egyáltalán valamilyen riportot. Ebből a 36%-nak is 40%-a csak félévente készít riportot, amely mégis valami, de nem biztos, hogy átfogó, értékelhető, alapos eredményeket ad, amely a vállalat számára előmozdító hatással rendelkezik. A riportok lényege lenne a teljesítményértékelés, a költségelemzések gyors leképezése, a tervek, és a rendelkezésre álló tényadatok összehasonlítása, az ebből eredő eltérések vizsgálata, azok okainak feltárása, valamint a jobb, gyorsabb, rugalmasabb üzleti döntések elősegítése, amely hatékonyabb döntéshozást eredményez átláthatóbb adatokkal. Mindezen felsorolás ismét a hatékonyság alá tartozik, és ezen alapvető hiányosság mellett a vállalati hatékonyság megkérdőjelezhető. A riportok megmutatják a vállalat előrehaladását, a vállalati célok megvalósultságának fokát, ezért ez egy fontos összefoglaló lenne a vállalatok számára, amely a kontrollingnál is esszenciális szerepet töltené be. A vállalatok 36%-nak 60%-a hetente és havonta riportol, ahol a fókuszterület a minőség, hatékonyság, megtakarítás, megelégedettség és rizikó területeire összpontosul. A riportoló vállalatok esetében összetételük, eredményük szempontjából nem csak azon cégek készítettek riportot, akik 1100 alkalmazottal és magasabb árbevételel rendelkeztek, hanem a 18 főből álló cégek is kiviteleztek a feladat fontosságára való tekintettel.

## **4. Összegzés – Konklúzió**

A vállalkozások a változó környezet, a variábilis vevői igények, a fejlődő technológiák hatására leginkább a túlélésre törekednek, ár és költségérzékenységük nagy mértékben megnőtt. A túlélés miatt kialakult nehéz helyzet a faipari vállalatoknál egyértelműen mutatja, hogy inkább rövid távú célokkal foglalkoztak, hogy a mai és a holnapi napot túléljék, mivel a kérdésre adott válaszokból nem egyértelmű, hogy stratégiai gondolkodás és a stratégiai menedzsment jellemzi-e a beszerzési területet. A kritikus pontok között fellelhető a logisztika és az innováció alacsony megítélése, színvonala, amely mögött akár finanszírozási problémák is állhatnak. A siker fejlődéséhez szükség lenne stratégiák kidolgozására, hosszútávú célok kitűzésére és fejlesztésre. A felmérés egyes kérdéseinél előfordul, hogy a vállalatok egy része esetlegesen alulértékel lehetőségeket, tevékenységeket, feladatokat, amelyeket valójában mégis a legfontosabbnak ítélnék meg, vagy ítélnének meg, de lehet tisztázatlan számukra, hogy a területek, tevékenységek milyen mértékben hatnak ki ezáltal egymásra és az ezekből adódó szoros összefüggések milyen előnyöket és hátrányokat alakítanak ki. Erre volt jó példa a hatékonyság fontosságának megítélése, amely természetesen fontos volt, de az innováció és a menedzsment folyamatok, a koordináció mégis háttérbe szorultak.

Az Opten Cégtrend jelentése szerint 2019-ben 29000 cégalapítást tettek közzé, és eközben egyidőben 2019-ben 35000 cégtörlést implementáltak. Jelentésük szerint az elmúlt időszakhoz képest ez egy pozitív tendencia, de a számokat összehasonlítva mégis egy negatív eredményt kapunk. Ezen adatok felhívják a figyelmet, hiszen akkor is egy negatív tendencia,

amely a vállalatok, a vállalkozások vezetőitől, résztvevőitől, a gazdasági szereplőktől gyökeres változást igényel.

A technológia a fejlődésével, a növekedő digitalizációval, a környezeti problémák egyre súlyosabb megjelenése a jövőre nézve nem igazán ad választási lehetőséget a vállalatok számára, amely valószínűleg most még nem biztos, hogy annyira tudatos a piaci szereplők és a gazdaságok számára. Előbb-utóbb pedig elkerülhetetlen lesz a változtatás a fejlődés és az ökogondolkodás. A kompetenciák fejlesztése is a hatékonyság növelésében vesz részt. A növekvő igények, a fejlődés adta lehetőségek miatt a vevői értékteremtés területén a beszerzési terület szerepe egyértelműen növekedni és erősödni fog, és egyben a technikáknak köszönhetően élénkül majd a folyamatokra kiterjesztett automatizáció is. Ezért a cégeknek egyre jobban szükséges igazodniuk a vevői elvárásokhoz a környezettel összeegyeztetve a fent említett technológiai fejlődések és környezeti adottságok mellett. A nem jól megválasztott stratégia veszélyeztetni fogja a vállalatok fenntarthatóságát, stabilitását, hatékonyságát, pénzügyi mozgásterét és versenyelőnyét, versenypozícióját. Fontos a minőségmenedzsment, az audit, a folyamatok vizsgálata, elemzése és áttekinthetősége, amely által a kritikus tevékenységek és döntések felderíthetőek.

## 5. Köszönet nyilvánítás

A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 6. IRODALOMJEGYZÉK

1. **Arjan J. Van Weele** (2014) Purchasing and Supply Chain Management Cengage Learning Emea 6TH Edition
2. **Ceglarek, D., Huang, W., Zhou, S.** (2004): Time-Based Competition in Multistage Manufacturing. International Journal of Flexible Manufacturing Systems
3. **Golden, W., Powell, P.** (2000): Towards a definition of flexibility: in search of the Holy Grail? Omega The International Journal of Management Science
4. **Robert M. Monczka Robert B. Handfield Larry C. Giunipero James L. Patterson** (2015) Purchasing and Supply Chain Management South-Western College/West 6TH Edition

Kozák Gábor - Major Tamás

*Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet, Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar,  
9400 Sopron, Bajcsy Zs. u. 4.  
major.tamas@uni-sopron.hu*

## ORSZÁGOS FELMÉRÉS A MOTORFŰRÉSZ HASZNÁLÓK KÖRÉBEN

### ABSZTRAKT

A motorfűrészek kialakulásának, elterjedésének kezdete a XVIII. század végére és a XIX. század elejére nyúlik vissza. Magyarországon az 50'-es évek közepétől kezdték el rendszeresen használni a fakitermelésekben, majd később más területeken (mezőgazdaság, ipar, sőt a háztartásokban) is megjelent.

Az utóbbi években a fahasználatokban a többcélú fakitermelő gépek (harveszterek) rohamos terjedésének lehetünk tanúi. Többekben felmerült a kérdés a fakitermelési munkák során a motorfűrészek szükségességéről. Az elmúlt időszakban a felhasználói igények és szokások is megváltoztak. Mindezek indokolják olyan vizsgálatok elvégzését, melyből a motorfűrészek használatával kapcsolatos szokásokról, igényekről, alternatív felhasználási lehetőségeikről megfelelő képet kaphatunk.

Google kérdőív segítségével egy országos felmérést végeztünk.

A kérdőív első részében a motorfűrészek tulajdoni és üzemeltetési viszonyaira, a gépek típusára, életkorára, műszaki állapotára, felhasználási jellegére és a használók karbantartási szokásaira kérdeztünk rá. A kérdőív második részében a munkavédelemmel kapcsolatos kérdéseket tettünk fel, míg a harmadik részben a motorfűrész használók környezettudatosságára voltunk kíváncsiak. A kérdőív negyedik részében demográfiai kérdések szerepeltek.

A kapott eredményeket összehasonlítottuk egy 2000-ben készült erdészeti gépkataszter motorfűrészekre vonatkozó eredményeivel is.

### 1. BEVEZETÉS

A motorfűrészeket – melyek kialakulása, elterjedése a XVIII. század végére és a XIX. század elejére nyúlik vissza – Magyarországon az 50'-es évektől kezdték el rendszeresen használni a fakitermelésekben, majd később más területeken (mezőgazdaság, ipar, sőt a háztartásokban) is megjelent (Szepesi, 1963; Horváth, 2016).

A motorfűrészszel végzett munka veszélyes és embert próbáló, az elvégzendő feladatok nehézsége, a munkakörülmények, a dolgozóira nehezedő felelősség és a baleseti statisztikák szerint is a 3 legnehezebb szakma közé tartozik a világon.

Az utóbbi években – a technikai és technológiai fejlődésnek köszönhetően – a fakitermelésekben megjelentek a többcélú fakitermelő gépek (harveszterek), melyek bizonyos területeken átvették a motorfűrész feladatait (Horváth, 2015; Czupy – Horváth, 2019). Ugyanakkor a motorfűrész felhasználási köre bővült, a felhasználói igények és szokások is megváltoztak. Mindezek indokolják a motorfűrész vizsgálatát a különböző felhasználói csoportokban.

Fentiek miatt célul tűztük ki a különböző célcsoportok motorfűrészének országos felmérését és azok eloszlásának vizsgálatát. Célunk volt még a felhasználói igények, szokások, technológiai újítások megítélésének és az ezeket befolyásoló tényezők és hatások



felderítése. További cél volt, hogy az egyes célcsoportok eredményeit összevessük a soproni egyetem Géptani Tanszékének 2000-ben készült tanulmányával (Czupy, 2000).

## 2. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Kutatásunk során egy országos felmérést készítettünk a magyar motorfűrész használói igényekről és szokásokról. Az adatgyűjtést Google Kérdőív segítségével végeztük, a kiértékelés pedig IBM SPSS 24.0 adatelemző statisztikai program segítségével történt (Kozák, 2020).

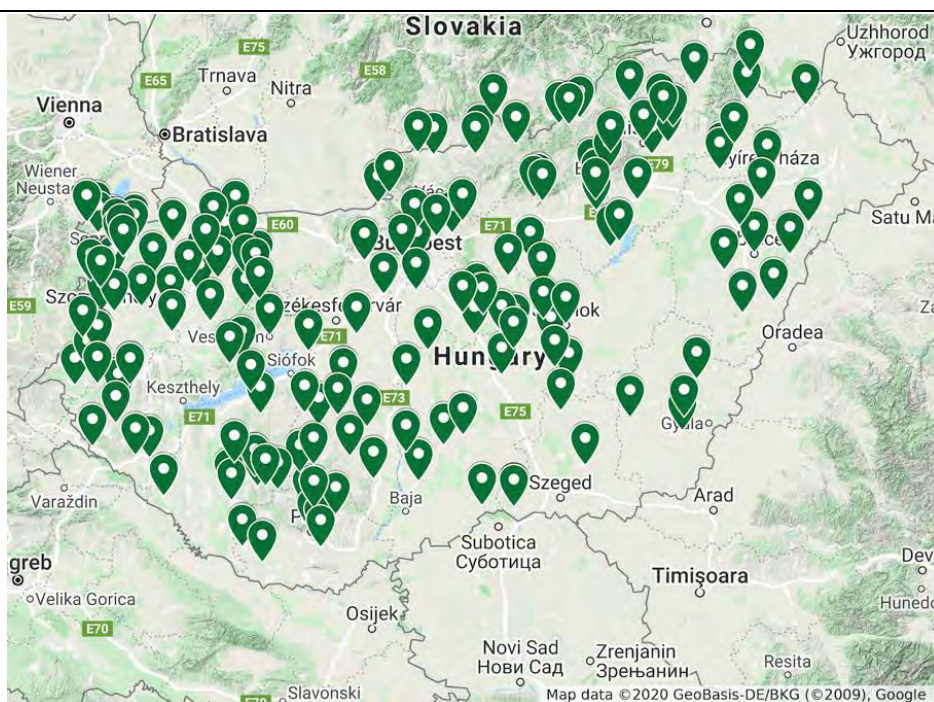
A megcélzott populációt 5 részcsoportra osztottuk:

- Állami Erdőgazdaságok;
- Állami szervek (Nemzeti Parkok, Katasztrófavédelem, Honvédség);
- Magán erdőtulajdonosok és gazdálkodók, vagy alkalmazottjaik;
- Motorfűrészekkel (is) dolgozó gazdasági társaságok, vagy alkalmazottjaik;
- Magánszemélyek, egyéni vállalkozók.

A kérdőív elérhetőségét egy kísérőlevél kíséretében a megcélzott populáció számos tagjának E-mailben megküldtük:

- 22 Állami Erdőgazdaságnak;
- 10 Nemzeti Park Igazgatóságának;
- 28 Hivatásos Katasztrófavédelmi szervnek;
- 197 Magán erdőtulajdonosnak és gazdálkodónak, vagy alkalmazottjának;
- 7 Magyar Erdészeti Oktatási Intézménynek;
- 66 Stihl Szakkereskedésnek;
- 68 Husqvarna Szakkereskedésnek.

A szakmai médiában is felhívtuk rá a figyelmet, továbbá a közösségi oldalakon is megosztottuk. A kérdőív kitöltésére két hónap állt rendelkezésre 2019. december 1. és 2020. január 31. között. A felmérést 385 személy töltötte ki. Ezek területi megoszlását mutatja az 1. ábra.



1. ábra

A válaszadók területi megoszlása



Így tehát a kérdőív kitöltésének lehetősége mindenki számára nyitott volt, de a kiértékelésnél – a hamis eredmények elkerülése érdekében – néhány kizárási kritériumot határoztunk meg. Az egyik kizáró kritérium, ha nem rendelkezik a vizsgálati személy motorfűrészszel. Ezen személyek ugyan tudnának választ adni néhány kérdésre, de a kérdőívben a motorfűrész használók szokását és igényét kutattuk, így ők nem relevánsak.

Másik kizáró feltétel az életkor küszöb. A 18. életévnél fiatalabbak nem végezhetnek motorfűrészszel munkát. A hatályos 15/1989. (X.8) MÉM rendelet az Erdészeti Biztonsági Szabályzat (továbbiakban: EBSZ) 3.1.12. pontja szerint „Fakitermelésben kézi eszközökkel vagy többcélú gépekkel a 18. életévüket betöltött dolgozók foglalkoztathatók.” Fentiek miatt ők még megfelelő tapasztalattal nem rendelkeznek ahhoz, hogy megalapozott választ adjanak.

Az öt célcsoportnak szóló kérdőív kérdései megegyeztek, viszont a kérdéseket a célcsoportok tevékenységi köréhez igazítottuk.

A kérdőív első részében a motorfűrész tulajdoni és üzemeltetési viszonyaira, a gépek típusára, életkorára, műszaki állapotára, felhasználási jellegére és a használók karbantartási szokásaira kérdeztünk rá. A kérdőív második részében a munkavédelemmel kapcsolatos kérdéseket tettünk fel, míg a harmadik részben a motorfűrész használók környezettudatosságára voltunk kíváncsiak. A kérdőív negyedik részében demográfiai kérdések szerepeltek.

A kapott eredményeket összehasonlítottuk egy 2000-ben készült erdészeti gépkataszter motorfűrészre vonatkozó eredményeivel is (Czupy, 2000).

Jelen cikkünkben ez utóbbi eredményeinket szeretnénk ismertetni.

### 3. A KÉT KUTATÁS ÖSSZEHASONLÍTÁSA

2000-ben az Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet Géptani Tanszékének munkatársai készítettek egy erdészeti gépkatasztert (egy erdészeti gépesítés-fejlesztést megalapozó tanulmány keretében), mely az állami erdészeti részvénytársaságok, az erdészeti gépes vállalkozók és a magánerdőket kezelő vállalkozások teljes gépparkjára épült, annak kialakítását, összetételét és műszaki állapotát mutatta be.

Az általunk készített kutatás – további célcsoportok mellett – az állami erdészeti részvénytársaságok és a vonzáskörzetükbe tartozó gépes vállalkozók, valamint a magánerdőket kezelő társaságok 2020. évi, kizárólag motorfűrészekkel kapcsolatos gépparkjával foglalkozik.

A 2000-ben készült felmérés a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Erdészeti Hivatala megbízásából, az erdészeti közcélú feladatok (ismeretterjesztés – oktatás – kutatás) ellátásához igényelhető vissza nem térítendő központi forrás terhére, a 6/2000. (II. 26.) FVM rendelet 296. § i) pontja alapján valósult meg, ezzel szemben jelen kutatás – eredményességét ugyan ösztönöztük egy nyereményjátékkal – teljes mértékben önkéntes adatszolgáltatás volt.

A 2000-ben készült felmérés pontos képet ad az adatszolgáltatást vállaló állami részvénytársaságok gépparkjáról, mivel a 22 állami részvénytársaságból 20-tól kaptak értékelhető adatokat, viszont a jelenlegi kutatásban a 22 állami részvénytársaságból csak 15 nyilatkozott önkéntesen a motorfűrészekkel kapcsolatos kérdőívre.

Az ezredfordulón készült felmérés elfogadható pontosságú információkat közöl az állami erdészeti részvénytársaságok megbízásából, a részvénytársaságok területén munkálkodó gépes vállalkozásokról is, viszont nem ad teljes képet a magánerdő tulajdonosok gépparkjáról.

Utóbbi okai, hogy:

- a magánerdő tulajdonosok és gazdálkodók teljes köre ismeretlen;
- a magánerdő tulajdonosok és gazdálkodók durván fele (kb. 40 %-a) 1 ha-nál is kisebb erdőterülettel rendelkezik;
- számos magántulajdonú erdőben nincs valódi erdőgazdálkodás;
- az egyéni- és társult erdőgazdálkodók ismert és felkeresett része sem tudott vagy akart egyértelmű választ adni a gépesítettségi helyzetére vonatkozó kérdésekre.

Ezzel szemben, az általunk készített 2020. évi kutatás általánosan elfogadható pontosságú információkat tartalmaz az állami erdészeti részvénytársaságokról, viszont nem rendelkezek az összes információval az állami erdőgazdálkodók területén tevékenykedő gépes vállalkozásokról és a magánerdő tulajdonosok gépparkjáról.

Utóbbiak okai, – az előbbieken felsoroltakon kívül – hogy:

- az állami erdőgazdaságokkal szerződésben álló vállalkozásokról (9 vállalkozás) nincs elegendő információ, ezáltal nem összevethető a korábbi kutatásban szereplő vállalkozásokkal.
- a 197 magán erdőtulajdonos és/vagy gazdálkodónak elküldött kérdőívet, 28-an töltötték ki;
- a felmérés önkéntes alapon működött;
- a kérdőívek kitöltésére rövid idő állt rendelkezésre (kb. két hónap).

## 4. A KÉT KUTATÁS ÖSSZEHASONLÍTÁSÁBÓL LEVONHATÓ EREDMÉNYEK

### 4.1. Az állami erdőgazdaságokra vonatkozó adatok összehasonlítása

#### 4.1.1. *A motorfűrészek darabszámának alakulása*

A Géptani Tanszék által végzett kutatásban a motorfűrészekre vonatkozó adatok tekintetében elmondható, hogy a 20 állami erdőgazdaság tulajdonában és üzemeltetésében álló motorfűrészek mennyisége 236 darab volt a 2000-es évben, míg a velük szerződésben álló vállalkozások motorfűrészének száma 1535 darab.

Az általunk 2020-ban végzett kutatás szerint a 15 állami erdőgazdaság tulajdonában és üzemeltetésében álló (RR) fűrészek mennyisége 122 darab, viszont volt egy olyan állami részvénytársaság, amely tulajdonolja a motorfűrészeket, de a vele szerződésben álló vállalkozás üzemelteti azokat (RV), számszerűen 2 darabot. Az állami erdőgazdaságokkal szerződésben álló vállalkozói tulajdonú és üzemeltetésű (VV) motorfűrészek száma 155 darab.

Az eredmények tekintetében figyelembe kell venni azt, hogy a korábbi kutatást 5 állami erdőgazdasággal többen töltötték ki, és teljeskörű adatokkal rendelkeztek a velük szerződésben álló vállalkozásokról és azok gépparkjáról.

#### 4.1.2. *A motorfűrészek átlagos életkorának változása*

A motorfűrészek átlagos életkorának változásából, azt a következtetést lehet levonni, hogy az állami erdőgazdaságok tulajdonában és üzemeltetésében (RR) álló motorfűrészek átlagosan 2 évvel fiatalabbak, mint a 2000-ben készült kutatásban szereplők. Korábban 7 év, most 5 év az átlagos életkor.

A 2000-es felmérésben részvénytársasági tulajdonú, de vállalkozói üzemeltetésű (RV) fűrészek nem szerepeltek, ellenben a jelenlegi kutatásban szereplő két darab ilyen fűrész átlagos életkora 4 év. Vállalkozói tulajdonú és üzemeltetésű (VV) motorfűrészek átlagos életkora (5 év) megegyezik a két kutatásban.

#### **4.1.3. A motorfűrészek átlagos műszaki állapotának változása**

A részvénytársasági tulajdonú és üzemeltetésű (RR) fűrészek műszaki állapota a 2000-ben átlagosan 48%-os volt, ami a motorfűrészek élettartamának végéhez való közeledését mutatja, viszont a jelen kutatásban lévő motorfűrészek átlagosan 2 évvel fiatalabbak, azaz az életkorukból adódóan átlagosan 83%-os jó műszaki állapottal rendelkeznek.

A részvénytársasági tulajdonú és vállalkozói üzemeltetésű (RV) gépek átlagos műszaki állapota 75%-os, ami szintén az 5 évnél fiatalabb kornak köszönhető. A vállalkozói tulajdonú és üzemeltetésű (VV) motorfűrészek átlagos műszaki állapota a 2000-es években 71%-os volt, míg 2020-ban átlagosan 75%-osak, azaz közel azonos műszaki állapotúak a vállalkozói motorfűrészek 20 év eltelte után is. Ez az állítás azzal magyarázható, hogy a vállalkozások gépparkja egyaránt tartalmaz idősebb és fiatalabb motorfűrészeket annak érdekében, hogy fenntartható legyen az elvállalt munkavégzés folytonossága.

#### **4.2. A magánerdő-tulajdonosokra vonatkozó adatok összehasonlítása**

A magánerdő-tulajdonosok, erdészeti gépes vállalkozások motorfűrészének darabszáma a két kutatásban jobban közelít egymáshoz, mint az állami szférában tárgyalt gépek darabszáma. Előbbi kutatásban 71 darab, míg utóbbi kutatásban 92 darab motorfűrészről számoltak be a megkérdezettek.

Az ezredfordulón készült kutatásban szereplő magánerdő-tulajdonosok motorfűrészének átlagos életkora 3 év volt, azaz egy évvel fiatalabbak a jelen kutatásban lévő motorfűrészekhez viszonyítva.

A vállalkozások gépeinek átlagos műszaki állapota is hasonló. A korábbi kutatásban 74%-osnak, míg a jelenlegi kutatásban 79%-osnak titulálták motorfűrészüket a magánerdő-tulajdonosok és gazdálkodó vállalkozások.

Megállapítható, hogy a magánerdő-tulajdonosok tulajdonában álló motorfűrészek darabszáma, életkora és műszaki állapota a 20 évvel ezelőttihez hasonló szinten mozog.

### **5. ÖSSZEFOGLALÁS**

Összességében elmondható az állami erdőgazdaságok és a velük szerződésben álló vállalkozások gépparkjáról, hogy a rendszerváltás óta egy mély válságon estek át. Akkoriban a gépberuházások leálltak, majd lassú tulajdoni átrendeződés után egyre inkább ruháztak be újabb gépekre, köztük motorfűrészekbe, aminek következtében fűrészük kora és műszaki állapota folyamatos javulást mutat. Ez a tendencia a mai napig tart.

A vállalkozások esetében, viszont ez a javulás nem figyelhető meg, a géppark tekintetében csak a szinten tartásra futja.

A gépberuházási fejlesztéseket számos európai uniós támogatás ösztönzi a mai napig is, viszont a nagyobb vállalkozások inkább – a munkaerőpiaci helyzet miatt is – a korszerű többműveletes gépekbe (pl.: harvester, forvarder) invesztálnak.

Ugyanakkor a korszerű gépek mellett továbbra is szükség van a motorfűrészszel támogatott fakitermelésekre, mivel ezen fejlett gépek nem minden állományban és helyen alkalmasak a használatra.

### **6. IRODALOM**

1. Czupy, I. – Horváth, A. L.: Többműveletes gépek alkalmazásának alakulása Magyarországon. Kutatási jelentés, Sopron. 2019.

2. Czupy I. et. al.: Tanulmány (Zárójelentés) az erdészeti gépesítés-fejlesztés megalapozásához, a Dr. Káldy József Erdőgépfelkészítő Központ működésének beindításához. Sopron. 2000. 46 p.
3. Horváth, A. L.: Többműveletes fakitermelő gépek a hazai lombos állományok fahasználatában. Doktori (PhD) értekezés, Sopron. 2015.
4. Horváth, B. szerk.: Erdészeti gépek. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 2016.
5. Kozák, G.: Felmérés a motorfűrész használói igényekről és szokásokról. Diplomamunka, Sopron. 2020.
6. Szepesi, L.: A motorfűrész. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 1963.

## **KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS**

A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Szakálosné Mátyás K - Dudás T - Horváth A L

*Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet*

## **MAGASAN GÉPESÍTETT EGÉSZSÉGÜGYI FAKITERMELÉSEK ELEMZÉSE**

### **ABSTRACT**

A klímaváltozás következtében egyre szárazabb és melegebb éghajlati viszonyok miatt a lucfenyő pusztulása a következő években egyre nagyobb mértéket ölthet. Az emiatt növekvő egészségügyi termelések végrehajtása az egyre fogyó és dráguló kézi munkaerő miatt leghatékonyabban fejlett fakitermelő gépekkel, harveszterekkel történhet, azonban az alkalmazott technológiák megválasztásakor figyelembe kell venni az érintett állományok között levő nagy mértékű változatosságot. Az egészségügyi termelések minél előbbi elvégzése nem csak a károsítók megfékezése céljából, hanem a természetvédelmi időkorlátozások miatt is fontos.

Vizsgálataink során magasan gépesített (harveszteres) egészségügyi termelések elemzését végeztük. Kutatásunk célja a különböző környezeti tényezők, gépkihasználatra és teljesítményre gyakorolt hatásának meghatározása, valamint két különböző típusú harveszter összehasonlítása volt. A terepi adatfelvétel folyamatos időméréses módszerrel, 8 erdőrészletben történt, majd az eredmények kiértékelésére munkaidő-elemzést folytattunk.

A mérési eredményekből megállapítható, hogy a fakitermelések menetét leginkább befolyásoló tényezők a domborzati viszonyok, az állomány szerkezete és a kitermelt faegyedek méreti tulajdonságai voltak. A munkaidő-elemzés alapján, átlagos körülményeket feltételezve, a Ponsse Scorpion King harveszter várható teljesítménye lucfenyves állományok egészségügyi termelésében 19,1 m<sup>3</sup>/h, míg a Sampo Rosenlew HR46 típusú harveszter esetében 8,3 m<sup>3</sup>/h.

**Kulcsszavak:** harveszter, egészségügyifakitermelés, teljesítmény, munkaidőszerkezet

### **BEVEZETÉS**

A skandináv országokban a XX. század második felében kezdődtek meg a technológiai fejlesztések, amelyek eredményeként létrejöttek az első többműveletes fakitermelő gépek. Manapság egyes fahasználati műveleteket el sem tudnánk képzelni ezek korszerű utódai a harveszterek nélkül.

A vizsgálatok során a fakitermeléseket két féle harveszterrel végezték el, amelyek méretüket és teljesítményüket tekintve igen különbözőek. A nagyobb átlagátmérőjű idősebb állományokban egy Ponsse Scorpion King-el, míg a vékonyabb faegyedekkel borított területeken egy Sampo Ronslew HR46 típusú harveszterrel dolgoztak. A mérésekre a Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. kezelésében lévő Soproni-hegységi erdők egészségügyi termeléseiben került sor. Ezen fakitermelések szűkárósított lucfenyveseket, illetve lucfenyő elegyes lombos erdőket érintettek.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Vizsgált területek

A harveszterek munkájának értékeléséhez 8 alkalommal végeztünk terepi méréseket. Az 1. táblázat erdőrészletenként tartalmazza a domborzati viszonyokat, a lucfenyőre vonatkozó fontosabb állományjellemzőket és a választékok méretei. A táblázat nem tartalmazza azokat az adatokat, amik ugyan befolyásolhatják a harveszterek teljesítményét, viszont a mérések alkalmával jelentős eltérést nem mutattak (pl.: időjárási viszonyok, a talaj járhatósága).

1. táblázat

Mérési területek jellemzői

| Erdőrészlet           | Domborzat                     | Lucfenyő<br>élőfakész-<br>let (m <sup>3</sup> /ha) | Lucfenyő<br>elegyedésének<br>módja | Átlagos<br>mellmagas-<br>sági átmérő<br>(cm) | Válasz-<br>tékok<br>hossza (m) | Har-<br>vesz-<br>ter |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Sopron 97B (1. nap)   | enyhe lejtő                   | 116                                                | elegyetlen                         | 21                                           | 2, 4                           | Sampo                |
| Sopron 97B (2. nap)   | domboldal                     | 116                                                | elegyetlen                         | 21                                           | 2, 4                           | Sampo                |
| Harka 4G              | enyhe lejtő                   | 46                                                 | szórt (10%)                        | 22                                           | 2                              | Sampo                |
| Sopron 98E            | sík, enyhe lejtő              | 187                                                | főfafaj (35%)                      | 27                                           | 2, 4, 6, 7                     | Ponsse               |
| Sopron 109F           | sík, enyhe lejtő              | 477                                                | elegyetlen (ritka)                 | 24                                           | 2, 4, 5                        | Ponsse               |
| Sopron 167D           | meredek hegyoldal             | 360                                                | elegyetlen                         | 22                                           | 2, 4                           | Ponsse               |
| Sopron 169E és<br>69H | enyhe lejtő                   | 281 és<br>179                                      | főfafaj (50%) és<br>mozaikos (30%) | 25                                           | 2, 4                           | Ponsse               |
| Sopron 173B           | meredek és enyhe<br>domboldal | 310                                                | elegyetlen                         | 22                                           | 2, 4                           | Ponsse               |

### Harveszterek munkájának vizsgálata és értékelése

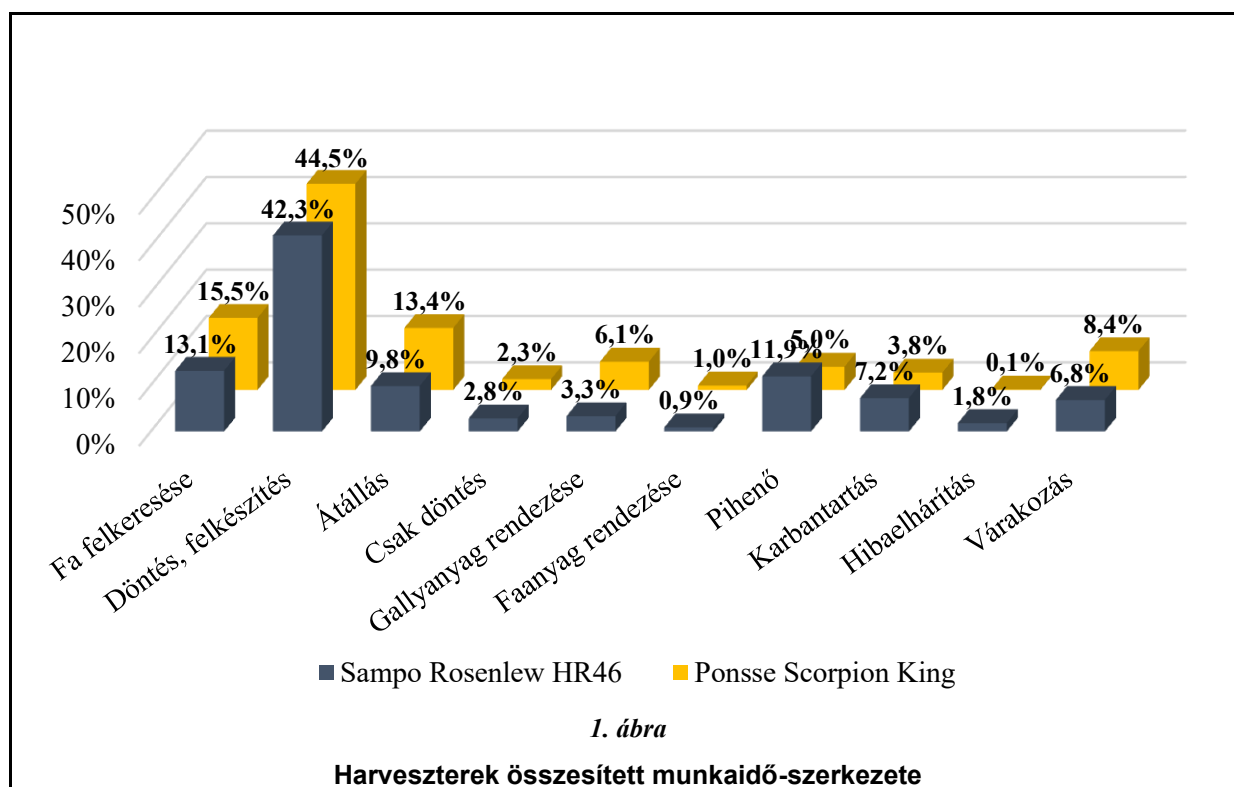
A terepi adatfelvétel haladó (folyamatos) időmérési módszerrel történt. A műveletelemek időtartama mellett rögzítésre kerültek az egyes ciklusonként feldolgozott faanyag mennyiségek, ill. az átállások távolságai is. A felvételezés során a következő műveletelemek kerültek elkülönítésre (Horváth A., 2012; Horváth A., 2015):

- **Fa felkeresése (F):** Az az időtartam, amely alatt a gépkezelő a manipulátorkar segítségével ráhelyezi a harveszterfejet a fa törésére és megkezd a döntőfűrészvágást.
- **Döntés, felkészítés (D):** a fa döntését, előközelítését, gallyazását, választékolását, darabolását és választékonkénti rakásolását magában foglaló időtartam.
- **Átállás (Á):** Helyváltoztató mozgás időtartama.
- **Csak döntés (CD):** Nagyon vékony, ill. rosszminőségű (pl. teljesen korhadt) faegyed kitermelésére fordított idő, amely alatt nem keletkezik választék.
- **Gallyanyag rendezése (G):** Valamely oknál fogva zavaró tényezőként jelentkező gallyanyag átrakása.
- **Faanyag rendezése (R):** Valamely oknál fogva zavaró tényezőként jelentkező faanyag (választék) áthelyezése.
- **Pihenő (P):** Személyi szükségletek kielégítésének időtartama.
- **Hibaelhárítás (H):** A munkavégzés során bekövetkező műszaki meghibásodások elhárításának időtartama.
- **Várakozás (V):** Egyéb veszteségidő (pl. telefonálás).

## EREDMÉNYEK

### A harveszterek összesített munkaidő-szerkezete

A harveszterek összesített munkaidő-szerkezeteit a 1. ábra mutatja. A fakitermelési idő ( $t_f = F + D + \dot{A}$ ) összesített aránya a Sampo harveszternél 65,2%, míg a Ponsse esetében 73,4%. A gallyanyag rendezését tekintve majdnem kétszeres eltérést figyelhetünk meg a két gép között, ennek oka a térbeli rendek közötti különbség (a Sampo harveszterrel minden alkalommal szabályos térbeli rendben dolgoztak), valamint az állományok különböző szerkezetének hatása (pl. Sopron 173B erdőrészletben sok kidőlt fa volt). A Sampo harveszterrel végzett munka során lényegesen több időt kellett fordítani karbantartási és hibaelhárítási feladatokra. Ezen munkálatok egy része a fűrészlánc vezetőlemeztől való leesésével, illetve cseréjével volt kapcsolatos. A korszerűbb Ponsse harveszterfejlben a fűrészlánc feszességét automata állítja a munkavégzés közben is, ezért ilyen problémák ennél a gépnél nem fordultak elő. A pihenőidők arányában tapasztalható viszonylag nagy eltérés részben a harveszterek kezelőfülkéjének felszereltségében, kényelmi funkcióiban (pl. rezgés-csillapítás, dőlés-szabályozás) lévő különbségekkel, részben a gépkezelők eltérő szükségleteivel magyarázható. A produktív idő ( $t_{pr} = F + D + \dot{A} + CD + G + R$ ) átlagos aránya 69,4% volt a Sampo, míg 82,8 % a Ponsse harveszter esetében.



### A fakitermelést befolyásoló tényezők

A munkaidő-elemzéssel nyert eredmények lehetőséget biztosítanak a fakitermeléseket leginkább befolyásoló tényezők meghatározására. Az érintett erdőrészletek domborzati viszonyait, állomány szerkezetét és a munkavégzés menetét (pl. térbeli rend) összevetve az egyes műveletelemekre fordított időtartamokkal kimutatható, hogy ezen tényezők közül, melyek vannak legnagyobb hatással a fakitermelés teljesítményére.

**Fa felkeresése**

A fa felkeresésének időtartama az előző műveletelem végétől a döntőfűrészvágás megkezdéséig tart. Ezalatt a gépkezelő a manipulátorkar segítségével a fához közelíti a harveszterfejet, majd ráhelyezi azt a fa törésére. Amennyiben vastagabb fagyed kerül döntésre a döntőfűrészvágás elindítását, azzal ellentétes oldalon egy hajkalap vágás előzi meg. A 2. táblázat erdőrésztelenként tartalmazza az elegyedés módját és mértékét, az egy faegyedből termelt választékok átlagos térfogatát (továbbiakban: átlagos térfogat), valamint a fa felkeresésére fordított időtartam arányát.

**2. táblázat****A fa felkeresésére fordított időtartam és az állományok jellemzői**

| Erdőrészlet         | Lucfenyő elegyedésének módja    | Átlagos térfogat (m <sup>3</sup> ) | Fa felkeresése (%) | Harvesztetek         |
|---------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Sopron 97B (1. nap) | elegyetlen                      | 0,218                              | 11,5               | Sampo Rosenlew HR46  |
| Sopron 97B (2. nap) | elegyetlen                      | 0,207                              | 10,3               | Sampo Rosenlew HR46  |
| Harka 4G            | szórt (10%)                     | 0,146                              | 17,6               | Sampo Rosenlew HR46  |
| Sopron 98E          | főfafaj (35%)                   | 0,501                              | 19,9               | Ponsse Scorpion King |
| Sopron 109F         | elegyetlen (ritka)              | 0,529                              | 20,1               | Ponsse Scorpion King |
| Sopron 167D         | elegyetlen                      | 0,392                              | 11,6               | Ponsse Scorpion King |
| Sopron 169E és 169H | főfafaj (50%) és mozaikos (30%) | 0,886                              | 12,4               | Ponsse Scorpion King |
| Sopron 173B         | elegyetlen                      | 0,392                              | 13,7               | Ponsse Scorpion King |

A táblázatban látható adatok alapján elmondható, hogy a fa felkeresésére fordított időtartam alakulására elsősorban az állomány szerkezete, a kivágandó faegyedek egymástól való távolsága van hatással. A Harka 4G, a Sopron 98E és 109F erdőrésztelenekben a fa felkeresésének aránya közel kétszeres a többi területhez viszonyítva. A Sopron 169E és H erdőrésztelenekben az egész részletre vonatkozó, leírólapon szereplő adatokkal ellentétben, az egészségügyi termelések közel elegyetlen foltokban zajlottak, itt kiugró érték nem tapasztalható. A kitermelt faegyedek méretei és a felkeresés időtartama között szoros összefüggés nem tapasztalható.

**Döntés, felkészítés**

A döntés, felkészítés műveletszakasz a döntőfűrészvágás megkezdésétől a választékok rakásolásáig tartó folyamat. Időtartamát elsősorban a kitermelt faegyedek méretbeli és alaki tulajdonságai, valamint a termelt választékok típusa és mennyisége befolyásolja. A méretbeli tulajdonságokat (élőfakészlet, átlagos mellmagassági átmérő, választékok hossza, választékok faegyedenkénti átlagos darabszáma, átlagos térfogata) és a 'döntés, felkészítés' időtartamának arányát erdőrésztelenként a 3. táblázat mutatja. Azon fakitermelések során, amelyek alkalmával nem csak 2 m és 4 m hosszban választékoltak, hanem többféle hosszúságú választék keletkezett a 'döntés, felkészítés' idejének aránya magasabb volt (Sopron 98E, Sopron 109F). A Sopron 167D erdőrésztelenben tapasztalható alacsony érték a szélsőséges domborzati viszonyok miatti lassú haladás eredménye. Az élőfakészlet, az átlagos darabszám vagy az átlagos térfogat értékek és a 'döntés, felkészítés' menete között egyértelmű összefüggést nem tapasztaltam.



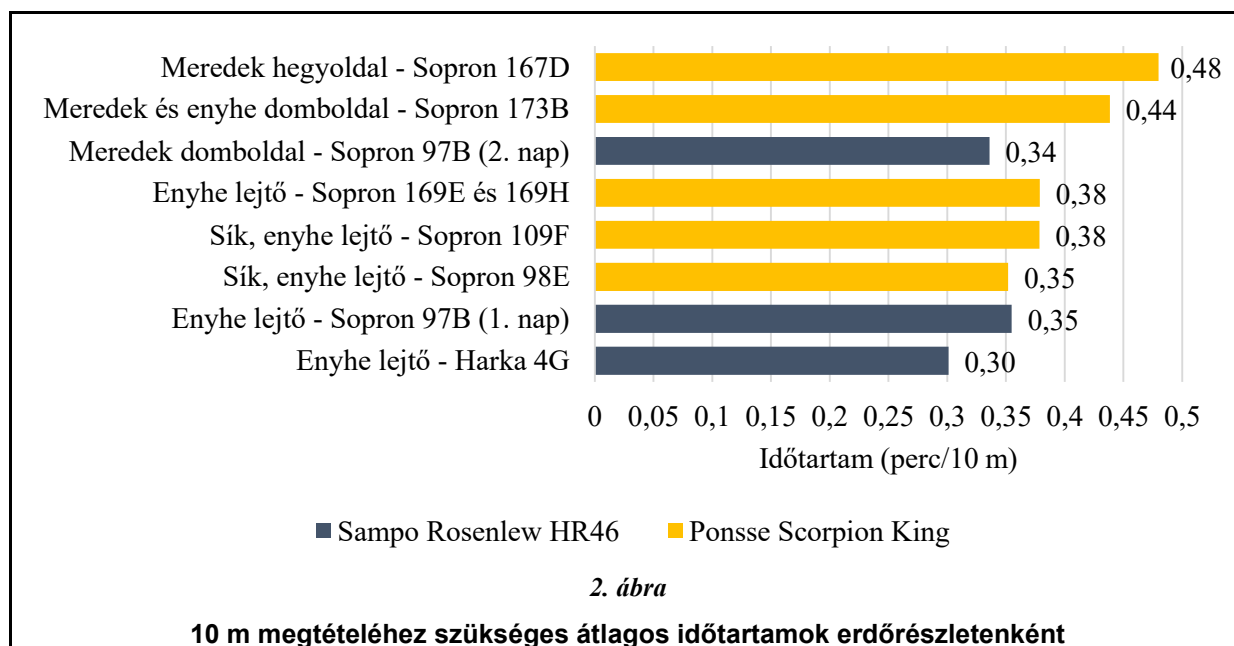
## 3. táblázat

A 'döntés, felkészítés' műveletelemre fordított időtartam és az állományok jellemzői

| Erdőrészlet            | Lucfenyő<br>élőfakészlet<br>(m <sup>3</sup> /ha) | Átlagos<br>átmérő<br>(cm) | Választékok<br>hossza (m) | Átlagos<br>darab-<br>szám (db) | Átlagos<br>térfogat<br>(m <sup>3</sup> ) | Döntés,<br>feldolgozás<br>(%) | Har-<br>veszter |
|------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Sopron 97B (1. nap)    | 116                                              | 21                        | 2, 4                      | 5                              | 0,218                                    | 43,3                          | Sampo           |
| Sopron 97B (2. nap)    | 116                                              | 21                        | 2, 4                      | 4                              | 0,207                                    | 41,5                          | Sampo           |
| Harka 4G               | 46                                               | 22                        | 2                         | 4                              | 0,146                                    | 42,1                          | Sampo           |
| Sopron 98E             | 187                                              | 27                        | 2, 4, 6, 7                | 6                              | 0,501                                    | 53,4                          | Ponsse          |
| Sopron 109F            | 477                                              | 24                        | 2, 4, 5                   | 6                              | 0,529                                    | 52,6                          | Ponsse          |
| Sopron 167D            | 360                                              | 22                        | 2, 4                      | 6                              | 0,392                                    | 33,4                          | Ponsse          |
| Sopron 169E és<br>169H | 281 és<br>179                                    | 25                        | 2, 4                      | 7                              | 0,886                                    | 41,9                          | Ponsse          |
| Sopron 173B            | 310                                              | 22                        | 2, 4                      | 6                              | 0,392                                    | 41,1                          | Ponsse          |

**Átállás**

Az átállások jellemzően 3 féle helyváltoztató mozgásból álltak. Leggyakrabban a vágáspáasztán belüli mozgások fordultak elő, amelyek 5-10 m hosszúak voltak. A vágáspáaszták közötti átállások távolsága általában 20 és 60 m között változott, de előfordultak 100 m-nél hosszabbak is. A leghosszabb helyváltoztató mozgások a vágásterület megközelítése és elhagyása során keletkeztek, ezek rendszerint a 200 m-t meghaladták. Az átállások időtartamára és távolságára hatással lehet a domborzat és az állomány szerkezete. A távolság és az időtartam közti kapcsolat értékeléséhez erdőrészenként meghatározásra kerültek a 10 m (leggyakrabban előforduló távolság) megtételéhez szükséges átlagos időtartamokat (2. ábra). A legmeredekebb területek a Sopron 173B és 167D erdőrészek esetében jól látható a nehezen járható domborzati viszonyok hatása az átállások átlagos időtartamára.



### Gally- és faanyag rendezése

A gally- és faanyag rendezése során, a különböző okok miatt zavaró tényezőként jelentkező apríték alapanyag vagy választék átrakása történt. Ez megvalósulhat a harveszter haladásának könnyítése, vagy a szabályos térbeli rend kialakítása céljából. A mért eredmények alapján a gallyanyag jelenléte az átállások során okoz problémát, elsősorban a meredekebb területeken, ahol a harveszter megcsúszhat rajta (4. táblázat). A faanyag rendezésére fordított időtartam egyik erdőrészletben sem érte el a munkaidő 2%-át, ezáltal a fakitermelés teljesítményére gyakorolt hatása nem volt számottevő.

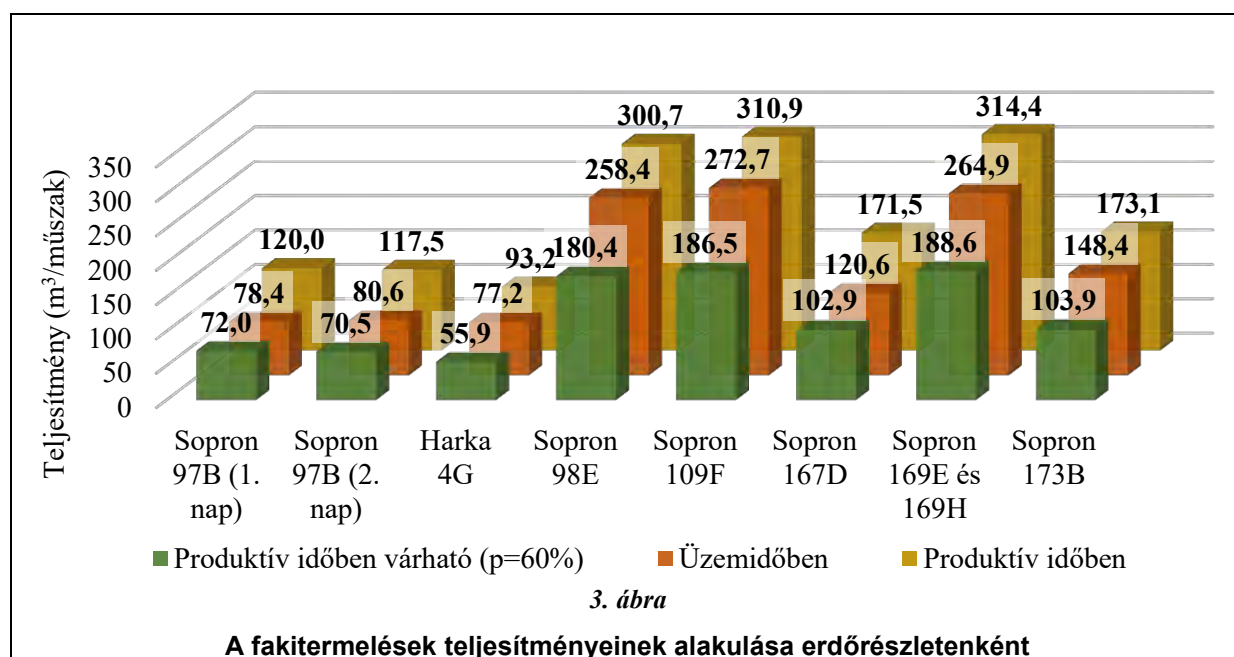
4. táblázat

A gally- és faanyag rendezésének erdőrészletenkénti alakulása a domborzat alapján

| Erdőrészlet         | Domborzat                  | Gallyanyag rendezése | Faanyag rendezése | Harveszterek         |
|---------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| Sopron 97B (1. nap) | enyhe lejtő                | 1,1%                 | 0,7%              | Sampo Rosenlew HR46  |
| Sopron 97B (2. nap) | domboldal                  | 5,0%                 | 0,3%              | Sampo Rosenlew HR46  |
| Harka 4G            | enyhe lejtő                | 3,8%                 | 1,6%              | Sampo Rosenlew HR46  |
| Sopron 98E          | sík, enyhe lejtő           | 1,8%                 | 0,4%              | Ponsse Scorpion King |
| Sopron 109F         | sík, enyhe lejtő           | 3,2%                 | 1,7%              | Ponsse Scorpion King |
| Sopron 167D         | meredek hegyoldal          | 6,0%                 | 1,0%              | Ponsse Scorpion King |
| Sopron 169E és 169H | enyhe lejtő                | 5,0%                 | 1,2%              | Ponsse Scorpion King |
| Sopron 173B         | meredek és enyhe domboldal | 14,6%                | 0,5%              | Ponsse Scorpion King |

### A harveszterek teljesítményének összehasonlítása

A harveszterekkel végzett egészségügyi termelések teljesítményét leginkább befolyásolható tényezők, az fentebb leírtak alapján a domborzat, az állomány szerkezete, a kitermelt fák méreti tulajdonságai és a termelt választék fajták száma. A produktív időben és üzemidőben mért teljesítmények, valamint a produktív időben várható teljesítmények (P=60%) (továbbiakban: várható teljesítmény) erdőrészletenkénti alakulását a 3. ábra mutatja.





4. ábra

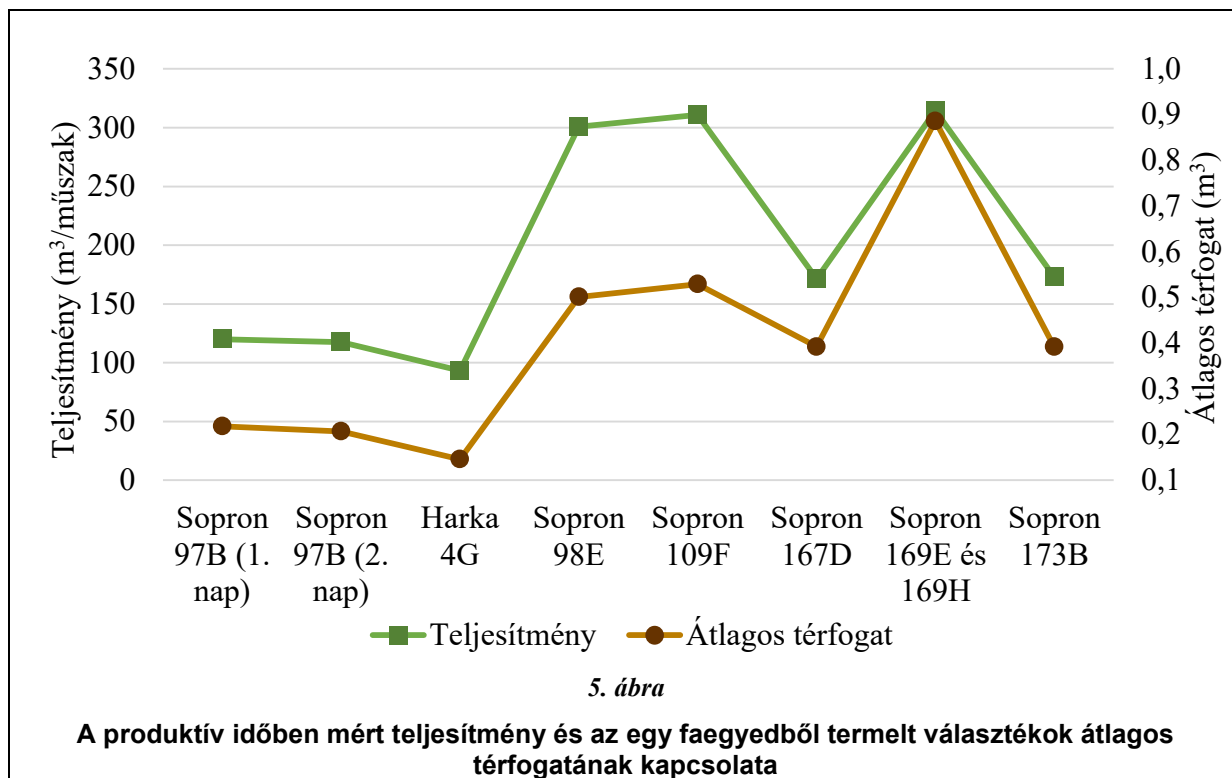
**Sampo Rosenlew HR46 és Ponsse Scorpion King harvester**

A Sampo Rosenlew HR46-tal (4. ábra) a Sopron 97B erdőrésztben végzett fakitermeléseket vizsgálva látható, hogy a produktív időben elért teljesítmények értéke a két napon közel egyenlő ( $120,0$  és  $117,5 \text{ m}^3/\text{műszak}$ ). A domborzati viszonyokban levő eltérések mindössze  $2,5 \text{ m}^3$ -es különbséget okoztak 8 órás műszakra vonatkozóan. A Harka 4G erdőrésztben a produktív időben mért teljesítmény a Sopron 97B-ben elért értékek átlagának csak 78,5%-a ( $93,2 \text{ m}^3/\text{műszak}$ ). A több mint 20%-os eltérés az alacsony elegyaránnyal és élőfakészlettel magyarázható. Az előzőek alapján szélsőséges domborzati, vagy időjárási viszonyoktól mentes esetben a gép teljesítményét meghatározó tényezők az állomány szerkezete és az élőfakészlet. A 3 mérési nap alapján produktív időben a Sampo Rosenlew HR46 harvester átlagos teljesítménye  $110,2 \text{ m}^3/\text{műszak}$  volt, míg az átlagos várható teljesítménye  $66,5 \text{ m}^3/\text{műszak}$ .

A Ponsse Scorpion King harveszterrel (4. ábra) végrehajtott egészségügyi termeléseket tekintve 2 csoport különíthető el. A vizsgált 5 munkanapból, 2 alkalmával (Sopron 167D és 173B) közel azonos teljesítményt értek el, míg a másik 3 napon (Sopron 98E, 109F, ill. 169E és H) is egymáshoz hasonló eredmények keletkeztek. A csoportokon belül az állomány szerkezete, az élőfakészlet és a választékok jellemzői is változatosak voltak, az egyetlen csoporton belüli állandó tényező a domborzat volt. A produktív időben mért teljesítmények átlaga a jól járható, enyhe lejtésű erdőrésztben (Sopron 98E, 109F, ill. 169E és H)  $308,7 \text{ m}^3/\text{műszak}$ , míg a meredek terepeken (Sopron 167D és 173B)  $172,3 \text{ m}^3/\text{műszak}$ . A nehezen járható, meredek domboldalakon a teljesítmény 44%-kal volt kisebb, mint a sík vagy enyhe lejtésű erdőrésztben. A domborzati viszonyok teljesítményre gyakorolt negatív hatásának ellensúlyozására megoldás lehetne a kerekekre helyezhető lánc vagy track használata, ez azonban az egészségügyi termelésekre sok esetben jellemző, kis méretű vágásterületek közötti közlekedést nehezítené meg. A láncot helyettesítve, vagy azzal együtt alkalmazható a harveszterre szerelhető csörlő vagy csörlővel ellátott speciális munkagép is.

Az erdőrésztben mért teljesítményeket vizsgálva megállapítható, hogy a választék fajták számának csökkenésével, illetve az egy faegyedből termelt választékok átlagos térfogatának emelkedésével a teljesítmény növekedett. Az élőfakészlet és a teljesítmény között szoros összefüggés nem tapasztalható. Ennek oka, hogy a kis kiterjedésű vágásterületek és az esetleges korábbi években végrehajtott egészségügyi termelések következtében a teljes erdőrésztre vonatkozó élőfakészlet adatok nem reprezentatívak. A kitermelt faegyedek méretbeli tulajdonságait a választékok átlagos térfogata szemlélteti megfelelően. A fentiek alapján a harvester teljesítményét legnagyobb mértékben a domborzati viszonyok és a faegyedek méretbeli tulajdonságai befolyásolják. Az 5 mérési nap alapján produktív időben a Ponsse Scorpion King harvester átlagos teljesítménye  $254,1 \text{ m}^3/\text{műszak}$ , az átlagos várható teljesítménye  $152,5 \text{ m}^3/\text{műszak}$ .

A Ponsse Scorpion King harveszter átlagos teljesítménye több mint kétszerese a Sampo Rosenlew HR46 teljesítményének. Ez elsősorban a két gép közötti alapvető különbségekből adódik, azonban figyelembe kell venni az állományok jellemzőinek eltéréseit is. Az egy faegyedből termelhető választékok átlagos térfogatát összehasonlítva majdnem háromszoros különbség figyelhető meg a két harveszter által érintett területek között (5. ábra). Az ábrán jól látható, hogy a teljesítmény a domborzati viszonyok mellett a faegyedek méreti tulajdonságaival is szoros összefüggésben van.



Ezen eredmények segítséget nyújtanak a közeljövőben esedékes, egyre nagyobb számú egészségügyi termelések tervezéséhez, amelyek során különösen fontos, és néha nehéz feladat a megfelelő teljesítményű harveszter kiválasztása. Az érintett állományok még nem érték el véghasználati korukat (és méreteiket), de kitermelésük mégis a véghasználatokra jellemző tarvágással történik. Ezáltal a körülmények nem ideálisak sem a gyérítésekre, sem a véghasználatokra tervezett harveszterek számára. Megoldás lehet a területek felosztása a különböző teljesítményű harveszterek között, törekedve az érintett erdőrészek közti átállási távolságok minimalizálására.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálatok során harveszterrel végzett egészségügyi termelések teljesítményének elemzése valósult meg. A produktív idő átlagos aránya a Sampo Rosenlew HR46 harveszterrel végzett munka esetén 69,4%, míg a Ponsse Scorpion Kinggel 82,8% volt. A vizsgálat eredményeként megállapítható, hogy a fakitermelések menetét leginkább befolyásoló tényezők a domborzati viszonyok, az állomány szerkezete és a kitermelt faegyedek méreti tulajdonságai. A domborzat elsősorban az átállások gyakoriságára,

távolságára és időtartamára, az állomány szerkezete a kivágandó fák felkeresésére, míg a kitermelt faegyedek méreti tulajdonságai a döntésre és a felkészítésre voltak hatással.

A Ponsse Scorpion King harveszter esetében a sík vagy enyhe lejtésű terepeken a produktív időben várható teljesítmény 185,2 m<sup>3</sup>/műszak, meredek domb és hegyoldalakon 103,4 m<sup>3</sup>/műszak. A megfelelő gépkihasználat érdekében ezt a harvesztert az idősebb, vastagabb átlagátmérőjű (25 cm feletti) állományokban célszerű alkalmazni.

A Sampo Rosenlew HR46 harvesztert elsősorban gyérítésekben alkalmazzák, azonban a lucfenyő pusztulása a fiatalabb állományokat is érinti, amelyekben levő faegyedek átmérőtartománya a gép optimumába esik. Az ilyen elegyetlen lucfenyves állományokban végzett egészségügyi termelések során a harveszter várható teljesítménye 71,5 m<sup>3</sup>/műszak, míg a kis lucfenyő elegyarányú bíró erdőrészekben 55,9 m<sup>3</sup>/műszak. A géppel a vékonyabb átlagátmérőjű (25 cm alatti) állományokban érdemes fakitermelést végezni.

A tendenciák alapján a klímaváltozás következtében egyre szárazabb és melegebb éghajlati viszonyok miatt a lucfenyő pusztulása a következő években egyre nagyobb mértéket ölthet. Az emiatt növekvő egészségügyi termelések végrehajtása az egyre fogyó és dráguló kézi munkaerő miatt leghatékonyabban harveszterekkel történhet, azonban az alkalmazott technológiák megválasztásakor figyelembe kell venni az érintett állományok között levő nagy mértékű változatosságot.

## KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

1. **Horváth A. L. – Szné. Mátyás K. – Horváth B.:** Investigation of the Applicability of Multi-Operational Logging Machines in Hardwood Stands. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* Vol. 8, Magyar Tudományos Akadémia Erdészeti Bizottsága, Sopron, ISSN 1786-691X, 2012, pp 9-20.
2. **Horváth A. L. (2015):** Többműveletes fakitermelő gépek a hazai lombos állományok fahasználatában. NYME EMK EMKI, Doctoral (PhD) dissertation, Sopron, 2015, 180 p.
3. **Horváth B.(szerk.), Marosvölgyi B., Neményi M., Sitkei Gy., Czupy I., Fekete Gy., Horváth A. L., Major T., Vágvölgyi A.:** Erdészeti gépek, Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest, ISBN:978-615-5224-69-0, 2016, 476 p.
4. **Rumpf J. (szerk.), Horváth A. L., Major T., Szakálosné Mátyás K.:** Erdőhasználat, Mezőgazda Kiadó, Budapest, ISBN:9789632867199, 2016, 390 p.
5. **Dudás T.:** Harveszteres fakitermelések vizsgálata a soproni hegyvidéken, Diplomamunka, Sopron, 2020, 49 p.



## **CHANGES IN THE LEGAL FRAMEWORK OF THE HUNGARIAN WASTE MANAGEMENT PUBLIC SERVICE SYSTEM AND THEIR ORGANIZATIONAL CONSEQUENCES AFTER 2015**

### **ABSTRACT**

Municipalities were the only responsible bodies regarding municipal solid waste management for long decades. The harmonization of national legislation right after the accession to the European Union resulted in much stricter technical and logistic obligations than ever before, which encouraged municipalities to joint their efforts aiming at creating the required infrastructure. Waste management regions were created arbitrary, from both geographic and technical point of view. The lack of central guidance on technical and logistic aspects resulted in a very heterogeneous landscape in the country. The present paper investigates why and how the recent changes in the legal framework reshaped the municipal solid waste management in Hungary.

### **INTRODUCTION**

#### **Operation of the public service system until 2015**

Treatment of wastes generated by the population was the responsibility of local governments earlier. They regulate this activity in local ordinances. 30 years ago, about 2,667 waste landfills that were not specially engineered operated throughout the country.



*Figure 1.*

*Landfill survey: 2,667 waste landfills in different conditions (2002.) [1]*

The public service related to each of these was performed by a local government institution or company. Transport and placement of waste took place in an unregulated, disorganized, largely fragmented manner, thereby creating an environmental hazard.

Due to the observation of, and compliance with the stricter rules, which led to a demand for expertise, infrastructure and capital, adequate performance of this task economically was only possible with the collaboration of several municipalities. In the period between 1990-2010, for profitability, cost effectiveness and business considerations, public service providers endeavored to win public service in as many municipalities as possible and to build the required waste treatment infrastructure. Long term environmental objectives and the needs of the population were often neglected compared with short term economic interests. Service area boundaries were often defined based on political considerations. The waste of certain municipalities – instead of the nearest insulated waste landfill – was deposited into uninsulated landfills that could be as far as 100 kms away just because that was a cheaper solution, even though it meant an environmental risk.

Following the turn of the millennium, the harmonization of laws resulting from Hungary's accession to the European Union in 2004, environmental and waste-related legislation grew even stricter. Developments in waste treatment infrastructure conforming to EU requirements were realized within the framework of European Union subsidy programs (ISPA, KA, KEOP). The local governments and in many cases the existing associations started the establishment of a joint waste management system model. They turned to the Managing Authority with recommendations and subsidy requests that included joint waste treatment infrastructure which they had worked out in detail. Sanitary waste landfills, collection systems with collection island, material recovery (waste sorting) facilities and civic amenity sites (waste yards) were established. Thanks to the ever-stricter statutory requirements, the number of waste landfills decreased from year to year. Selective collection appeared in an increasing number of municipalities. Waste management showed signs of development.

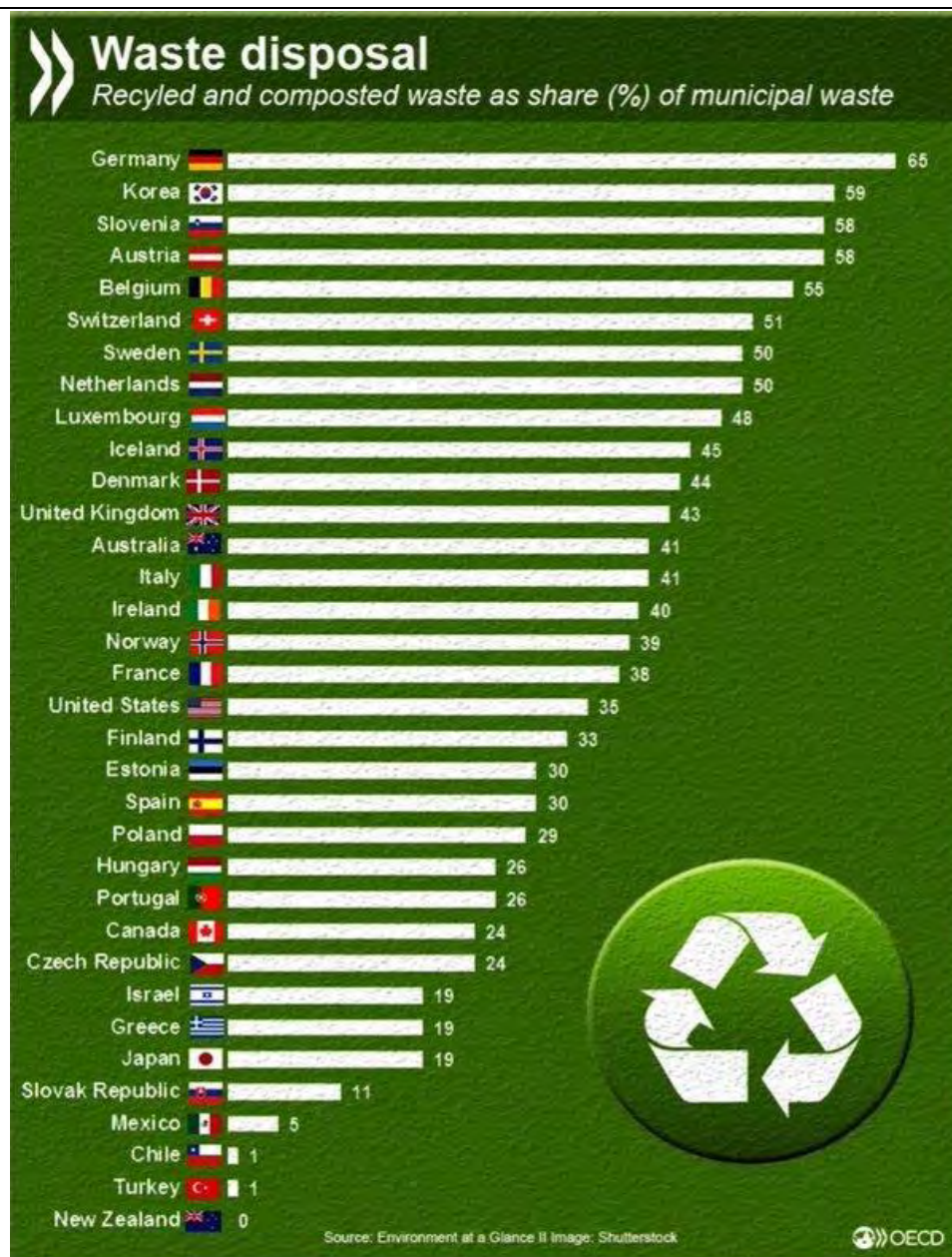
For environmental purposes, 2009 brought about progress in terms of the implementation of soil and water protection measures. After 19 June 2009 only those waste landfills were allowed to operate that complied with the stringent requirements set forth in Ministry of Environment and Water Decree 20/2006 (IV.5.), which is based on Directive 99/31 (EU). Waste landfills without artificial insulation had to be closed down.

## **THE DAWN OF THE CENTRALIZATION**

The establishment and operation of collection systems was not sufficiently motivated by the resource allocation method of the environmental tax on commodities, aimed at subsidizing selective waste collection. The selective waste collection systems established using subsidies and operated by the public service providers constantly struggled with financial hardship.

Government measures taken in 2013 further aggravated the financial situation of public service activities with the introduction of the landfill tax payment obligation and by draining revenues through the central “utility price cut” measures. Waste management public service activity became loss-making for the majority of companies.

Collection systems - based on their performance to date - were unable to achieve outstanding success in terms of separate collection and recovery rates. According to a survey, Hungary ranked 23<sup>rd</sup> of the 35 examined (mostly European) OECD countries in terms of waste recovery, as shown in Figure 2.



*Figure 2.*

*Recovery rates in some OECD countries (2016) [2]*

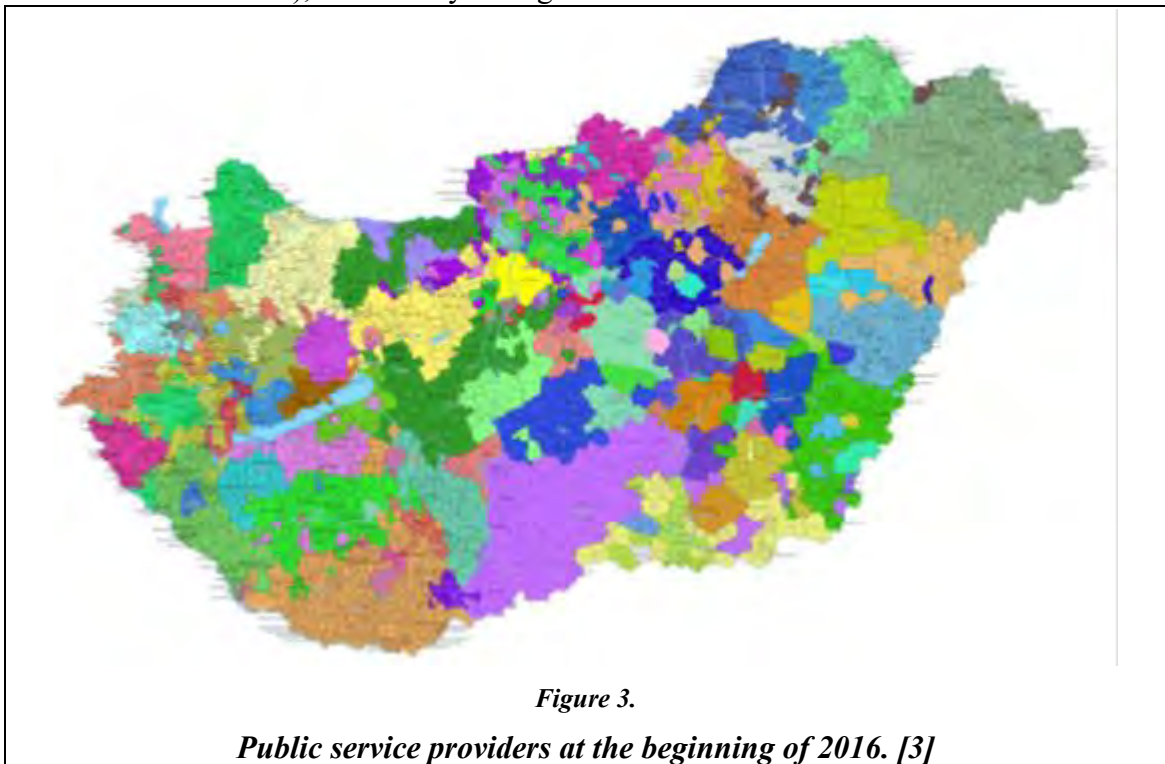
### **Problems of the public service system operating in 2015**

Major problems encountered during the operation of the waste management public service system in 2015:

- The waste management assets established within the last 15 years from EU funds are not evenly distributed; as a result they struggle with availability and efficiency problems due to unexploited capacities. It is difficult or impossible to operate facilities efficiently.
- The level of development of the large regions, the standard and content of waste management public service is extremely varied. Developments lack coordination in several places. Parallel, unutilized capacities have been built in close geographic vicinity.



- The boundaries of the local government associations creating the large systems do not conform to the boundaries of the public service providers. Indentations and protrusions in the areas all cause problems in operation and in the rate of utilization and replenishment obligations.
- Obligations arising from European Union subsidies are often not or only partially met. The vehicles and equipment obtained from EU funds are not included in any records and are often not even in use. The breaches of obligations carry significant financial risk.
- The data records and data supply of public service providers is not uniform and are often difficult to compare with each other. It is difficult to compile a realistic representation of the sector.
- Due to the high number of public service providers (173 on 01.01.2016 and 107 on 01.01.2017), the country is fragmented:



## MULTI-LEVEL INTEGRATION PROCESS

### Integration processes generated by market conditions in the earlier period

In past decades, lower intensity integration happened in the establishment, organization and development of public service systems. These are presented in the three following chapters.

#### *Integration at the level of public service providers*

A few years ago, waste treatment public service had to be provided under competitive market conditions. Market mechanisms had a significant effect on the players of the sector. Several companies – as proven right later on – sought to gain a competitive advantage through growth and the establishment of a dynamically expanding system of companies. A widely applied practice was the creation of a public service company jointly held by the local

government and private entities. The systems of companies thus created were characterized by a rational division of labor founded on professionalism. The division of labor among companies – that utilized the resources and capacities very efficiently in terms of geography and professionalism – ensured a significant competitive advantage. In those public service areas that became strongly loss-making as a result of the statutory amendments in 2013, the effect of the market's organization power turned around for a while. Some companies tried to improve their financial situation by transferring their loss-making areas.

### ***Integration at the local government level***

Organization of waste treatment public service is a mandatory local government task. Under the tightening conditions, the tasks requiring ever-larger investments, even with the involvement of public service providers that were backed by private funding, justified the use of the largest possible scale of EU subsidies for developments, since the profit-oriented public service providers and public service systems sought development opportunities that would spare them some capital. In order to apply for the subsidies local government associations had to be created and large regional systems had to be planned. Propelled by the subsidies, an integrative process started at the local government level. Unfortunately, in many cases these were organized based on political considerations. The area boundaries, the technical content of the completed infrastructure and the obligations arising from the subsidies generated professional and operational problems in subsequent operation.

### ***Integration at the national level***

Under market conditions, the enforcement of a complex of interests (state, local government and social), as well as achieving the environmental and efficiency objectives that were becoming more important on the long run, proved to be difficult. The problems that arose pointed out the need for government coordination.

Based on previous years' experience it grew obvious that a central player able to perform coordination tasks at the national level was missing from the structure of the waste management institutional system to coordinate the current waste management market players and the execution of tasks arising from various EU and domestic obligations listed earlier, and in particular EU-subsidized projects, to harmonize development demands, create optimum economic (cost-effective) conditions both in terms of investment and operation costs.

The absence of such an organization is all the more apparent because the waste problem affects the players of both the business and the public sectors alike and thereby appears as the inverse of all economic processes.[4]

In the case of public service coordination, due to centralized control and organizational concentration it is easier to carry out the rationalization reform objectives, the integrations and realignments that would have been necessary in the last 20 years but met with significant local resistance. A more uniform, consistent and transparent output could be expected from the centralized and stricter regulation of services and organizations.[5]

On 15 December 2015 Parliament passed Act CCXXI of 2015, which created the statutory conditions for the radical transformation of the system. The change points toward the creation of a public service system operating under government coordination and financing. Pursuant to Section 32/A of Act CLXXXV of 2012, in 2016, the state established a coordinator organization to perform the state's waste management public duties by creating Government Decree 69/2016 (III.31). The coordinator organization was registered by the Court of Registration in January 2016 by the name of **NHKV National Waste Management Coordination and Asset Management Closed Company Limited by Shares** (short name: NHKV Zrt.). The Coordinator Organization was registered by the Court of Registration in January 2016.

The primary duty of NHKV Zrt. is to establish and develop the territorially optimized and uniformly standardized system of waste management public service in Hungary with the creation of a financing system that is sustainable on the long run at a break-even level.

The objectives to be achieved by the Coordinator Organization were determined in conformity with the government expectations:

- uniform, nonprofit, break-even public service system, with the participation of the Coordinator Organization, the local governments, the public service providers and the users of the service;
- maintaining the achievements of the utility price cuts;
- full performance of the recovery objectives set by the European Union;
- organization and ensuring of territorially optimized public service, organization of cooperation occurring within development projects;
- by improving the security of supply, provision of a uniform, high standard service to the population, widespread expansion an efficient operation of a separated (selective) door-to-door waste collection system.

The duties of NHKV Zrt. as a Coordinator Organization are the following[6]:

- definition of the national objectives of waste management;
- definition of the direction of waste management development;
- coordination between local governments and regions;
- preparation of the National Waste Management Public Service Plan (NWMPSP), which, among others, determines the optimal territorial boundaries of public service and the minimum public service duties to be performed in a given area;
- assessment of the development of the waste management public service system element to meet the National Waste Management Public Service Plan;
- definition of optimal use of infrastructure resources in the interests of meeting the objectives and development endeavors of waste management at the national level;
- management of the assets entrusted to it voluntarily by local governments and local government associations;
- collects the public service fee and pay to the public service providers the service fee established by the Minister responsible for determining the waste management public service fee;
- management of the liabilities generated within the framework of public service.
- assessment of the activity of a given public service provider if it conforms to the requirements specified in the NWMPSP and issues an opinion thereof (hereinafter the “conformity opinion”).

The conformity opinion is a powerful coercive instrument in the hands of the NHKV. The declaration of conformity of public service providers that did not get a public service role in the integration process was revoked. Examples for the reasons behind revocation are:

- not meeting the separate collection rates specified in the NWMPSP, or
- non-compliance with collection frequency, or
- failure to pre-process communal waste.

This measure ends one of the basic conditions of lawful operation within six months, as well as the right to secure financing of the activity, i.e. to earn the service fee.

## **RESULTS OF THE CHANGES**

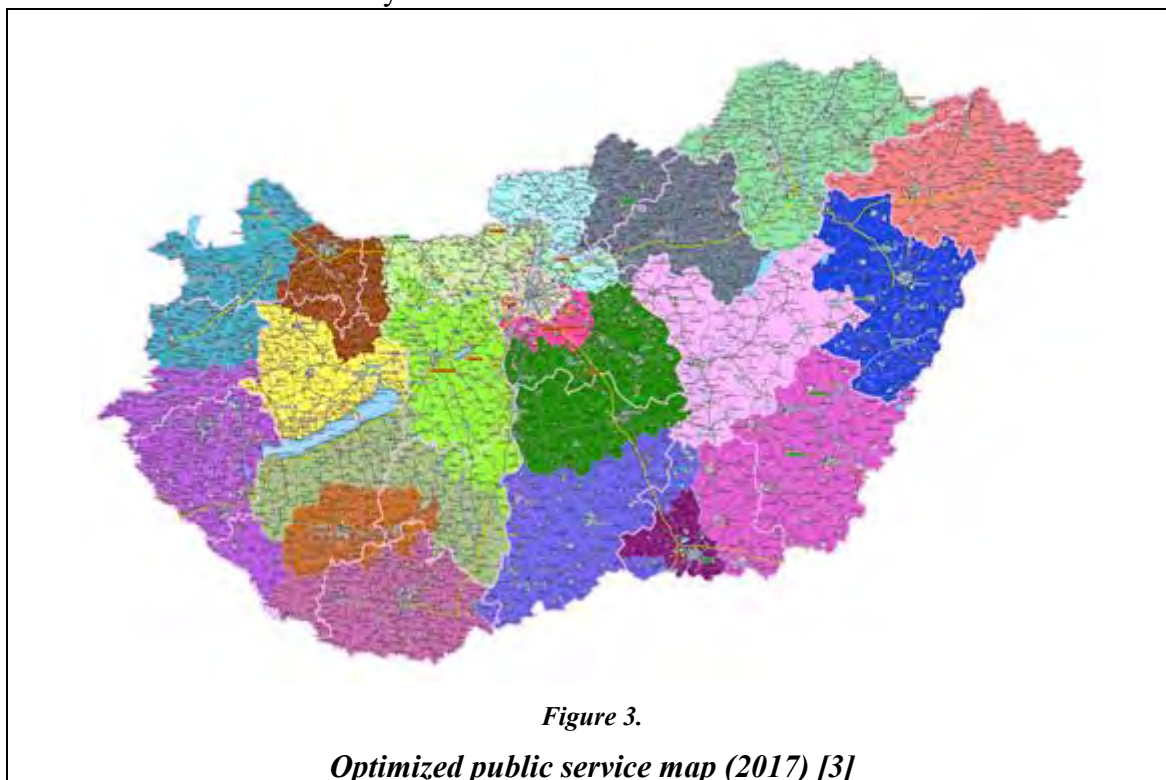
### **Major factors in the establishment of optimum public service regions**

The optimal territorial boundaries of public service supply can be established based on a processing of the data supplied by the public service providers and the data and information

collected from authorities. The existing waste management infrastructure, knowledge of the related obligations and considering the geographic, geologic and hydrologic, as well as transport capabilities of nature and society, optimum boundaries can be designated based on the following factors:

- When establishing collection and transport districts, the currently operating and non-operating infrastructure created from EU funds and other resources (public service providers, private companies) must be considered, as well as the opportunities for development thereof and the fact that the majority of the country's population lives in larger towns and their direct vicinity. In the interest of maintaining the operation costs and sustainability of the systems, essentially the districts (waste management regions) should be established around these.
- When determining the collection zones and transport zones, in view of the European Union's directives and obligations related to separate collection and recycling rates, the zones should provide a possibility in the future to extend and improve separate waste collection, in terms of both quantity and economics.
- One-phased waste collection and transport should be pursued, in which the transport distance within the collection district should not exceed 50 km. Where that is not viable, two-phased collection and transport logistics should be applied using a transfer station and covering a distance of no more than 120 km.[7]
- There should be no rupture in the public service area covered by one public service provider and public service providers should not be forced to pass through each other's areas during collection and transport. This requires that a facility directly ensuring waste treatment after collection and transport be located within the given public service area.
- When establishing public service districts, the largest possible districts should be established in view of the "proximity principle" and "economies of scale". The economic laws underpinning the fee formula also compel the enforcement of these principles.
- The public service district established should ensure the adequate servicing of the existing waste treatment facility - the system element operated by the public service provider - and the supply of the adequate quantities of waste required for efficient operation.
- The quantity and composition of waste generated by certain municipalities may vary depending on the number of inhabitants, population density, economic development or level of tourist attraction. The costs of collection and transport may vary significantly. A service area of adequate size is capable of integrating or balancing these effects.
- With future developments, the waste treatment infrastructure associated with the new waste management region being created should be capable of meeting long term waste management expectations.
- Professional guiding principles should be accentuated in the integration process as compared with politically determined and other guiding principles.
- The new system being created should consider the fulfillment of the obligations undertaken in the European Union subsidy contracts, the planned material streams and utilization obligations. Essentially this means none other than consideration of the geographic boundaries of the associations awarded the subsidies. If the association boundaries hinder the creation of optimized districts, the possibility of certain local governments exiting must be examined. In the majority of cases this goes hand in hand with joining another association. In both cases prudent action is necessary as non-compliance with the utilization obligations set forth in the subsidy contracts may

lead to reimbursement of the subsidies. While the projects are underway, exit of association members is subject to the consent of the Managing Authority and an amendment of the subsidy contract.



The conference of the Public Sanitation Association organized in Siófok on 23 November 2016 can be considered as a milestone in the acceleration of the integration processes. The boundaries of the 21 public service areas defined and optimized by the NHKV Zrt. were published at this forum. The ideal public service provider size was defined at the forum as 300,000-500,000 persons. In addition to the boundaries, the optimum regional public service infrastructures were also outlined in detail at the conference.

#### **Impacts on the waste management association led by Pécs city**

The boundaries of the region around Pécs covered the public service area of the BLOKOM company group, supplemented by the Mohács, Bonyhád and Komló collection district. As a result of the integration process, the number of municipalities involved reached 319, with a total population of 423,165 inhabitants. This figure falls exactly in the optimum range above. The quantity of waste collected and treated within the framework of public service reached 150,000 tons in 2018.[8] By operating the Waste Treatment Centre in Kökény (10 km from Pécs), the self-sufficiency principle is also met. This plant is the final destination of collection and transport processes. Its location near the center of the operating area creates a favorable position, with the operation of the 7 ideally located transfer stations, for keeping shipment at low cost levels. Thanks to the technology of the Centre, only 40% of the wastes of the region are landfilled after bio-stabilization. The co-products generated (refuse-derived fuel, secondary raw materials, compost) contribute to meet the circular economy goals.

#### **CONCLUSION**

The municipal solid waste management system in Hungary, including the infrastructure and the involved organizations, was far from being at its optimum in the last decade. Science

and experience based coordination was the most important missing element that could have helped the municipality associations to plan their regional infrastructures between 2004 and 2015. The government's centralization initiative brought some improvements in the geographical distribution, but it hasn't stop at coordination level. The fact that a state-owned company collects money from citizens and pays the dozens of service providers in a complicated manner means that direct intervention dominates coordination, from a control theory point of view. The system doesn't seem to meet its optimum state neither today, since it's rumored that new changes, even possible privatizations are planned on collection and treatment level.

## ACKNOWLEDGEMENT

Our work was carried out as part of the project "Sustainable Raw Material Management Thematic Network— RING 2017" EFOP-3.6.2-16-2017-00010 within the Program SZECHENYI2020, supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

1. **Hilda Farkas** PhD. Experiences of closing down waste landfills
2. [www.dontwasteit.hu/2016/03/06 /ujrahasznositasban-nemetorszag-az-elen/](http://www.dontwasteit.hu/2016/03/06/ujrahasznositasban-nemetorszag-az-elen/) (last visited: 16.11.2020)
3. **Zsolt András Hajnal**: New factors in technical and professional expectations (Lecture, Siófok 23 Nov 2016)
4. **Tibor Kiss**: Efficiency and systems approach in municipal solid waste management Thesis (2008)
5. **Ilona Pálné Kovács, István Finta**: Legal regulation and professional policy environment of local government public services, 2013.
6. Act CLXXXV of 2012, Section 32/A (1)
7. National Waste Management Public Service Plan 2017.
8. Controlling database of BÍOKOM Nonprofit Kft. and Dél-Kom Nonprofit Kft.

Vér Cs. – Dolgosné Dr. Kovács A.

*University of Pécs, Faculty of Engineering and Information Technology, Institute of Smart Technology and Engineering, Department of Environmental Engineering*

## **FINANCIAL IMPACTS OF THE CENTRALIZATION OF THE HUNGARIAN WASTE MANAGEMENT PUBLIC SERVICE BETWEEN 2016 AND 2020**

### **ABSTRACT**

Hungarian government centralized the municipal waste management sector by creating a state-owned company, NHKV in 2016. It hasn't only coordinated the developments but took the invoicing right away from those businesses that implemented the waste collection and treatment tasks. Some of them still provide waste management services for the citizens, some other however stopped because of insufficient financing. The present paper investigates what were the reasons of the centralization and what are its results from a financial perspective.

### **INTRODUCTION**

Municipal waste management in Hungary was fragmented, due to the historical and political background: in the early 90's, the waste management sector missed expertise and capital as well. Municipalities tried to solve the problem in various ways: they signed contracts with private businesses to provide waste management service, or created for-profit joint venture companies with large international companies (Lyonnaise des Eaux, Compagnie Générale des Eaux, RWE, A.S.A, etc.). Some small or medium size cities created companies for their own. When the accession to the EU resulted in more stringent environmental legislation, large associations were created counting 50 to 300 municipalities that applied for EU funding of their infrastructure investment projects. The new infrastructure was operated by non-profit companies, owned by the municipalities themselves, until 2016.

### **FINANCIAL SITUATION BEFORE 2016**

Financial problems encountered during the operation of the waste management public service system before 2016:

- Public service fees were not uniform and were not determined in a uniform system. Within the area of one municipal association, the annual public service fee for one property ranged between HUF 5,000 and HUF 30,000 for the same public service.
- Sustainable operation was jeopardized by the absence of provisions and amortization coverage.
- Due to the high number of public service providers (173 on 01.01.2016 and 107 on 01.01.2017), the fragmentation of their operative area, uneconomical collection systems and uneconomical plant sizes are very common. Collection cannot be realized at minimum cost level if operated with routes that cross each other, that have protrusions and island units and with long-distance transport without transfer stations.

- The losses and overdue debts of public service providers accumulated from before 01 April 2016 have led to troubled financing and hence hamper development processes. In the absence of developments, there is a risk that losses and overdue debts will be regenerated.
- Overdue debts became large, and smaller companies struggled with inefficient debt collection.
- The majority of public service providers were not self-sufficient.

## **CHANGES IN THE REGULATION OF THE PUBLIC SERVICE SYSTEM**

In order to change and solve the above-outlined situation, on 15 December 2015 the Parliament passed Act CCXXI of 2015, which created the statutory conditions for the radical transformation of the system. The aim was the creation of a public service system operating under government coordination and financing. In order to achieve the objectives, the Act ends the duality, which existed to date thanks to the division of labor between the state and local governments and clearly delineates which waste management responsibilities are to be performed by the state and which tasks by local governments.

Local government tasks related to the organization of waste management:

- specification of the detailed regulation of waste management public service at the local level;
- nomination of the waste management public service provider;
- conclusion of the public service contract;
- provision of all data and information in connection with the public service contract which are necessary for exercise of NHKV, the coordinator organization's powers.

The state is responsible for creating Government Decrees to establish a framework for the operation of the Hungarian waste management system. Several government decrees regulate:

- waste management public service, selection of the public service provider, the data to be supplied by the public service provider, the waste management public service fee;
- generation, use, accounting and recording of a provision, environmental insurance and collateral by producers;
- payment of the waste landfill charge;
- registration and licensing of waste management activities, waste-related records and data supply obligations;
- preparation, territorial scope of waste management plans and prevention programs, content elements of the plans;
- prevention and treatment of biodegradable waste generation and classification of compost produced from bio-waste;
- establishment and operation of the various waste management facilities;
- appointment of the Coordinator Organization, specification of its detailed tasks related to coordination and resource management, data management;
- specification of the data supply obligation of the public service provider, the municipal local government and the owner of the waste management facility.[1]

Aiming at organizing waste management tasks on national level, the state established an institutional system acting under a new set of conditions and a new division of labor. On 01 April 2016 a new institution of government coordination, the National Waste Management Coordination and Asset Management Company started operating. The service fee ensuring quarterly settlement of the public service activity performed by the public service providers and the institution of the opinion concerning compliance required by 01 October 2016, in line



with the principles outlined in the National Waste Management Public Service Plan (referred to as NWMPSP in this paper) exercised a significant effect on the integration of public service providers. [2]

The financial duties of NHKV as a coordinator organization are the following [3]:

- it collects the public service fee and pay to the public service providers the service fee established by the Minister responsible for determining the waste management public service fee;
- it manages the liabilities generated within the framework of public service.

## RESULTS OF THE CENTRALIZATION PROCESS

### Financing of the public service system

The financing of the system is based on two pillars, a primary and a supplementary financing. These are presented in the following sections.

#### *Primary financing of the collection and pre-processing*

After 01.04.2016, the public service provider was not entitled to issue an invoice to consumers and to collect the public service charge. NHKV collects the public service fee. The coordinator organization pays a service fee to the public service provider from the incoming revenues to cover its justified costs. The detailed rules of the payment are laid down in the Decree 13/2016 (V.24.) NFM. [4]

The fee paid to the public service provider by the coordinator organization based on the regular data supply of the former pursuant to the request of the coordinator organization, calculated from the data supply, the quantity of waste management public service tasks and the quality of work processes performed, as amended by the correction factors. The legislation determines a standard fee that is the fee base established in a decree, which is due for the minimum public service content prescribed for the various public service areas in the National Waste Management Public Service Plan. The service fee is based on this standard fee. The standard fee can be corrected in a positive direction by not more than 70% or by 60% in a negative direction based on the correction factors stipulated in the decree. The corrected standard fee is the amount payable per unit for performance of the waste management public service, in accordance with the conditions stipulated in the NWMPSP.

The determination of the net service fee applicable to the service performed in a certain calendar quarter is as follows: the multiple of the corrected standard fee and the quantity of the quarterly service expressed in liters is decreased by the revenues generated at the public service provider from the sale of co-products (secondary raw materials, residue derived fuel, etc). The service fee includes the amortization linked to asset management. Lack of minimum reserves leads to sanctions and a withdrawal of fees.

#### *The general formula for the service fee calculation*

The general formula for the service fee calculation is as follows [4]:

$$\left[ \left( S + \sum_{i=1}^9 K_{poz,i} - \sum_{i=1}^{10} K_{neg,i} \right) \times N \times M \right] - \sum_{i=1}^5 c_i$$

S: standard fee [HUF/liter]

$K_{Poz,i}$ : positive correction factor [HUF/liter]

$K_{Neg,i}$  negative correction factor [HUF/liter]

M: emptied quantity [liter\*]

\* The litre amount is determined in respect of a certain public service area based on the liter amount serving as the basis of the public service fee.

N: population density factor

$C_i$ : lump sum deduction [HUF]

The general formula of negative and positive correction [4]:

$$K_{X,i} = \sum_{j=1}^n A_{j,i} \times E_i \times L$$

$A_{j,i}$ : The proportion derived from required performance

$E_i$ : Value of correction [HUF/liter]

$L$ : Population factor

The standard fee in 2016 and 2017 in all public service areas: S=HUF 2.737 / liter. This includes the collecting and transporting of mixed municipal waste at a required frequency prescribed by law, the collecting and transporting of green waste (according to the minimum requirements of the NWMPSP), the collecting and transporting of selectively collected packaging waste according to the minimum requirements of the NWMPSP and the collection of bulky waste.

The standard fee provides cover for the operational costs of the equipment, machines, tools and facilities used for performance of the public service tasks described (including the costs of pre-processing performed in the interest of material recovery). It covers the disposal costs of pre-processed, unrecoverable residual waste, which includes the landfill charge, as well as the costs of operation of customer service desks and representations. The costs arising from the performance of other tasks conforming to the NWMPSP that were included in the public service contract and local government decree in force on 1 April 2016 in respect of that public service area qualify as justified and refundable as are costs related to the maintenance, reconstruction, renovation, replacement or eventual development of the assets required for performance of the public service which are owned, managed or operated by the public service provider. It covers the justified costs of the closure, recultivation, aftercare and monitoring of the waste management facility operated by the public service provider, affected by the performance of environmental obligations and waste management public services.

### ***Positive correction factor***

The Coordinator Organization applies a positive correction factor if a certain public service duty, included in the calculation of the standard fee, is exceeded. The value of the specific positive correction can be defined in HUF/liter in respect of the individual property users based on the quality and quantity parameters of the public service system, with the amount of the correction factors included in Table 1.

Table 1.

**Description of positive correction factors and the value of correction [4]**

| No. | HUF/liter | Description of positive correction factor                                                                                                                                |
|-----|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | 0.042     | Provision of service above the minimally required by the NWMPSP in the collection of green waste.                                                                        |
| 2.  | 0.208     | Agreeing to perform excess service above the minimally required by the NWMPSP in the collection of separated packaging waste.                                            |
| 3.  | 0.083     | Provision of service at a higher standard than that minimally required by the NWMPSP in the collection of bulky waste.                                                   |
| 4.  | 0.186     | Pre-processing of collected and transported wastes is performed above the minimum technical, quantity and quality requirements set by the NWMPSP.                        |
| 5.  | 0.755     | Selection of the recyclable material fraction of municipal mixed waste by mechanical, optical treatment for at least 20% of input waste.                                 |
| 6.  | 0.472     | Performance of pre-processing for the purpose of energy recovery for direct recovery (until post-shredding) in the case of at least 30% of waste received for treatment. |
| 7.  | 0.125     | Biological stabilization of mixed waste as a proportion of deposited waste.                                                                                              |
| 8.  | 0.019     | Recovery and production performed by the public service provider itself beyond the rates minimally required by the NWMPSP.                                               |
| 9.  | 0.2       | Provision of collection bins (bags) free of charge to real property users for door-to-door collection of mixed waste.                                                    |

Upon review of the factors described in the above table we can establish that the larger positive correction rate can be achieved by an adequate level of selective collection, proper pre-processing of wastes, pre-processing done in the interest of energy recovery and by adequate separation of the mixed fraction in the interest of material recovery. Investment into extremely costly technology is required for achieving the excess performance levels. The establishment of such a system requires capital, larger quantity of waste to be processed, a larger service area, i.e. a larger number of households serviced. The larger companies were able to meet these criteria easier, while the smaller companies could not fulfil them or depended on the larger companies in their performance.

The positive correction factors of the fee formula place the larger companies at an advantage in terms of financing and further aggravate the position of smaller companies that – due to their size – operate with higher relative costs and lower efficiency anyway.

### ***Negative correction factor***

Where the public service provider underperforms, the Coordinating body applies a negative correction. The value of the specific negative correction is defined in HUF/liter in respect of the individual property users based on the quality and quantity parameters of the public service system, pursuant to Table 2.

Table 2.

**Description of negative correction factors and the value of correction [4]**

| No. | HUF/liter | Description of negative correction factor                                                                                                          |
|-----|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | 0.499     | Mixed collection does not take place with the frequency specified by law.                                                                          |
| 2.  | 0.042     | Inadequate performance of green waste collection                                                                                                   |
| 3.  | 0.208     | Underperformance of the collection of packaging waste as compared with the minimum requirement specified in the NWMPSP.                            |
| 4.  | 0.083     | Underperformance of the collection of bulky waste as compared with the minimum requirement specified in the NWMPSP.                                |
| 5.  | 0.001     | 90% of collection and transport is not performed in its own operation.                                                                             |
| 6.  | 0.186     | Pre-processing of collected and transported wastes is not performed at the minimum technical, quantity and quality requirements set by the NWMPSP. |
| 7.  | 0.001     | 90% of pre-processing is not performed in its own operation.                                                                                       |
| 8.  | 0.001     | 90% of disposal is not performed in its own operation.                                                                                             |
| 9.  | 0.465     | Disposal or deposit in landfills of waste above the quantity defined in the NWMPSP                                                                 |
| 10. | 0.026     | Incomplete or inadequate customer service, percentage of non-performance.                                                                          |

Upon review of the factors described in the table, we can establish that an adequately efficient selective packaging waste collection system, proper pre-processing of wastes, adequate diversion of waste from landfills can avoid the larger negative correction rate, and pre-processing performed for the purpose of energy recovery. Investment into extremely capital-intensive technology is required for achieving the required performance levels.

### ***Population factor***

The population factor further enhances the effect of the positive and negative correction factors. The resident equivalent belonging to the service area of the public service provider determines a multiplier number. The rate of the positive and negative factor also changes according to the rate of the multiplier.

Table 3 below shows us that the positive multiplier factors aid the larger public service providers more and the smaller ones less, and that negative multiplier factors encumber the larger companies less, while they place a greater burden on smaller companies.

Table 3.

**Population factors [4]**

| No. | <b>The aggregate population of the public service area covered by the public service provider [persons]*</b> |   |        | Population factor (L) positive correction | Population factor (L) negative correction |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1.  | 0                                                                                                            | - | 10,000 | 0.7                                       | 1.3                                       |
| 2.  | 10,001                                                                                                       | - | 25,000 | 0.8                                       | 1.2                                       |
| 3.  | 25,001                                                                                                       | - | 50,000 | 0.9                                       | 1.1                                       |
| 4.  | 50,001                                                                                                       | - | 75,000 | 1                                         | 1                                         |

|     |           |   |           |      |     |
|-----|-----------|---|-----------|------|-----|
| 5.  | 75,001    | - | 100,000   | 1.05 | 0.9 |
| 6.  | 100,001   | - | 125,000   | 1.1  | 0.9 |
| 7.  | 125,001   | - | 150,000   | 1.15 | 0.9 |
| 8.  | 150,001   | - | 175,000   | 1.2  | 0.9 |
| 9.  | 175,001   | - | 200,000   | 1.25 | 0.9 |
| 10. | 200,001   | - | 300,000   | 1.3  | 0.8 |
| 11. | 300,001   | - | 400,000   | 1.35 | 0.8 |
| 12. | 400,001   | - | 500,000   | 1.4  | 0.8 |
| 13. | 500,001   | - | 750,000   | 1.5  | 0.7 |
| 14. | 750,001   | - | 1,500,000 | 1.6  | 0.7 |
| 15. | 1,500,001 | - |           | 1.7  | 0.7 |

With the creation of the fee formula, the integration intention of the government concerning public service providers is obvious. Larger companies that operate higher level infrastructure and with a larger public service area are able to achieve higher revenues in spite of the fact that according to their higher relative cost indicators they are able to operate at lower costs.

The operation of minor companies becomes increasingly cumbersome and eventually impossible, with larger companies taking over their tasks. The process moves toward the integration of public service areas.

### ***Supplementary financing***

The duties of the National Waste Management Directorate of the National Inspectorate for Environment and Nature (OKTF NHI) are determined by Section 20 of Act LXXXV of 2011 on Environmental Protection Product Charges. The main duty of the OKTF NHI is to partially finance the collection and recovery of domestic wastes, in connection with which it also performs social awareness and industrial development tasks. The aim of the main duty is to ensure fulfilment of European Union obligations, i.e. minimum recycling levels. The aim of increasing the recovery rate, as well as the complex development of the Hungarian waste management system with a value-generating approach requires a planning at the national level that ensures that no unreasonably excessive capacities are established thereby also creating secure and reliable conditions of operation. The financial cover for these tasks is created by the revenues from the environmental tax on commodities, defined by the Act on Environmental Tax on Commodities, the budget of which was HUF 63,389 million in 2015. In 2015, the Government approved HUF 12,747.2 million for the OKTF NHI to perform its waste management duties.

The essence of the financing model of OKTF NHI is that, considering the conditions defined in the Act on Environmental Tax on Commodities wherein partial financing is a central element as well as the social awareness raising explicitly defined in the same Act (minimum 7% of costs). These two elements covered the sources ensured from the budget at the launch of the legal predecessor National Waste Management Agency Nonprofit Co. At the same time, based on the factual data of the activities carried out over the year, industrial development objectives are executed from the resources that remain as the residual value of the financing related to the above two tasks and the Government may grant funds for this purpose directly pursuant to Section 20(1) d) and h) of the Act on Environmental Tax on Commodities. OKTF NHI provides partial financing on the one hand through direct contracts (in the case of public service providers where the public procurement procedure cannot be repeated because the public service provider won the activity through public procurement or an in-house contract) and on the other hand through public procurement procedures to market

players. The former means about one third of partial financing the services, while the latter constitutes about two-thirds. As the resources provided to the OKTF NHI are limited from above and cannot be exceeded, therefore, in the establishment of the contractual relationships within the framework of partial financing the acquired service quantities (e.g. the amount and value of collected PET bottles) were also limited from above. In the case of public service providers, it is possible to exceed the undertakings included in the contract and the OKTF NHI makes use of this, however, this is not a possibility in public procurement procedures. In the case of the latter, we cannot speak of this based on the rules of public procurement either, as there is no cover for excess performance in the planning phase. Therefore, in particular during the launch phase, a significant residual value is accumulated because market players are unable or unwilling to provide the requested services in a certain part of the public procurement procedures announced. Currently this residue forms the source of the industrial development tasks to be performed by the OKTF NHI. OKTF NHI spends the sum of available resources - with the approval of the Development Committee - for the realization of the objectives determined by it, primarily via the subsidies provided by the directorate and secondarily based on necessity and expediency factors and in individual cases via public procurement procedures. OKTF NHI provides the funds within a financial framework and defines the contents of public procurement procedures and the funds granted for them on an individual basis. In order to promote the entry into the market of the subsidies the OKTF NHI created the Development Subsidy Program (hereinafter the OKTF-NHI-FPR).

The development objectives established in the OKTF NHI-FPR and the NWMP (National Waste Management Plan) form a single unit thereby ensuring that the development objectives targeted by the OKTF NHI meet the expectations of the NWMP and, accordingly the WMDC (Waste Management Development Concept). [1], [6]

### **Financial impacts on the waste management company of Pécs city**

The number of people serviced by BOKOM company group during 2018 was 420,000. The public service provider size multiplier of the fee formula increases the positive correction factor by 40%, while the negative correction factor is reduced by 20%. For comparison, the multiplier raising the positive correction was 25%; the one decreasing the negative was 10% in the year 2016. As a result of the integration process, the annual averages of the unit fees evolved in the following manner: HUF 2.75 / liter in 2016, HUF 3.12 / liter in 2017 and HUF 3.25 / liter in 2018. [5]

NHKV becomes the owner of the co-products generated during the waste treatment processes, thus, it takes care about their sales.

### **CONCLUSION**

As a result of the rising of the unit fee (linked to better correction factors in the fee formula), the public service provider receives larger sales revenue for equivalent activity. Higher sales revenue enables further developments aiming to increasing the separation efficiency of the treatment facilities (MBT plant and other recovery units), as well as to provide extra services.

Possible extra services:

- expansion of door-to-door selective waste collection, increase emptying frequency;
- development of the glass waste collection system;
- increase frequency of bulk waste collection;

- expansion of door-to-door collection of green waste, increase emptying frequency;
- increase of number of occasions for Christmas tree collection;
- organization of communications campaigns in the interest of increasing the efficiency of the system;
- organization of storage bin cleaning;
- replacement of worn selective collection bins placed on public area.

Even though the centralization can lead to financial advantages in case of a very limited number of businesses, the whole system isn't sustainable from a financial point of view. As a state-owned company, NKHV has to stick to the public fee decrease ambitions of the government, it is clear that the operation lacks of adequate financing if public fees paid by citizens are based on 8 to 10 year earlier market prices. Since direct incomes are insufficient for NHKV to pay the public service companies, additional funds are requested each year, charging the expenditure side of the state budget.

## **ACKNOWLEDGEMENT**

Our work was carried out as part of the project "Sustainable Raw Material Management Thematic Network— RING 2017" EFOP-3.6.2-16-2017-00010 within the Program SZECHENYI2020, supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## **REFERENCES**

1. National Waste Management Plan 2014-2020
2. National Waste Management Public Service Plan 2017
3. Act CLXXXV of 2012, Section 32/A (1)
4. NFM Decree 13/2016 (V.24)
5. Controlling database of BÍOKOM Nonprofit Kft. and Dél-Kom Nonprofit Kft.
6. [www.szelektivinfo.hu](http://www.szelektivinfo.hu), last viewed: on 16/11/2020.

Worakan Hosakun, Dániel Horváth, Zoltán Börösök, Zoltán Pásztory

*Innovation Center at University of Sopron*

## **INSULATION BOARD MADE OF SAW DUST**

correspondence: Dr. Zoltán Pásztory at [pasztory.zoltan@uni-sopron.hu](mailto:pasztory.zoltan@uni-sopron.hu)

### **ABSTRACT**

Wood is a naturally renewable biocomposite raw material, which has potential in many applications such as structural, furniture, paper, sound, and thermal insulation through centuries. It can reduce CO<sub>2</sub> emission and has enormous social value as well. To extend the application field the improvement of its composite properties (mechanical, thermal) is required. Focusing on structural applications the industry often demands materials with complex properties. In our research, the chemical inhomogeneity of natural wood and its porosity is modified to achieve better thermal insulation attributes. To achieve homogeneous, thermal insulating board structure the surface activation of saw dust has been increased through hydrodynamic-mechanical pre-treatment. In order to characterize the boards, thermal conductivity measurement has been performed.

**Keywords:** hydrodynamic treatment, saw dust, sliced office paper, thermal properties, fibre boards

### **INTRODUCTION**

Indoor thermal comfort condition in the buildings can be provided by insulators. Different types of sources and forms to produce insulating materials were used. These are for example wood boards, wood wool, rock wool, glass wool and other petrochemical based materials like expanded polystyrene foam (EPS), extruded polystyrene (XPS) and polyurethane (PU). However, these last materials have serious health and environmental impacts during production processes and could generate large quantities of toxic gases in incineration. Therefore, several studies were developed environmentally friendly insulating materials with excellent properties to replace the traditional materials. Thermal insulation panels, which were produced from natural sources gained more interest since the last decades. Natural-based insulation materials can be categorized into three types, which are animal-, plant- and



mineral-based insulators. The use of these materials can enhance the energy efficiency of the buildings, reduce the amount of CO<sub>2</sub> emission and relatively low in costs. The low-quality species of tree, sawdust, used furniture, agricultural wastes and other biomass products can be a raw material for thermal insulation boards in wood panel industry. The overall process expenses and environmental load can be reduced by utilization of these disposed wastes. Due to the limited availability of fossil resources and aggravated environmental problems it is necessary to develop new techniques to utilize lignocelluloses.

(1) Muthuraj et al. 2019 prepared bio-based composite from rice husk, wheat husk, wood fibres and textile wastes and studied the relation of thermal conductivity, density, and porosity. It was found that when the density increased and porosity of the specimens decreased, the thermal conductivity values was increased. Hussain et al. 2019 (2) also reported that enhancing the porosity of structure by increasing hemp shiv content leading to produce low density composites and reduce thermal conductivity value. Another study to confirm the relation between porosity and thermal insulation properties was investigated by Abbas et al. 2019 (3). A waste-derived silica aerogel was synthesized from rice husk for thermally insulating cement-based composite. In fact, aerogel has a highly porous structure which can produce an ultra-lightweight and insulating material. The obtained results obviously show that thermal conductivity coefficient will decrease when increasing aerogel content. The addition of aerogel content made air entrapped microstructure and increasing volume of pores in the matrix which means increasing porosity.

In this work, different wood species (spruce, poplar, beech, oak) in saw dust form, sliced office paper waste and unbleached wood fibres were treated hydrodynamically. During hydrodynamic treatment process, the wood particles sized are reduced and a chemically more homogeneous suspension was created. Then, thermal insulation boards were manufactured with increasing the porosity in several way. Thermal insulation parameter was finally investigated.

## **EXPERIMENTAL**

### **Materials**

Three different type of wood particle were used in this study: saw dust, sliced office paper waste and unbleached fibres. Four sawn wood saw dust for the insulating boards were made from spruce (*Picea abies*), poplar (*Populus tremula*), beech (*Fagus sylvatica*) and oak

(*Quercus robur*) received from Bakonyerdő Co. The particle size of spruce was  $> 0.2$  mm, and the other three wood species  $< 0.2$  mm. The wood saw dust were used as received. Sliced office paper stripes collected in the Financial department of University of Sopron. Unbleached wood pulp received from Robert Placzek GmbH. Sodium-dodecyl-sulphate was purchased from Merck KGaA, Darmstadt, Germany.

### **Sample preparation**

The samples used for the insulating boards were hydrodynamically treated sawn wood dust particles, sliced office paper and spruce unbleached wood pulp with various thickness of 11 to 50 mm and manufactured in our laboratory. The sawn wood species for the insulating boards were made from spruce (*Picea abies*), poplar (*Populus tremula*), beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur*) bonded through hydrodynamically activated wood particle surfaces. The insulating boards target, average, air-dried density was 250 kg/m<sup>3</sup>. The sawn wood dust particle was soaked in water for overnight and then treated in a laboratory disc refiner at 3-9 % consistency. The distance of the discs was changed from 5 to 0.1 mm. The sliced office paper was treated at 1.5% consistency and disintegrated in a laboratory vertical rotating plate pulper. The pulped office paper was then mixed with sodium-dodecyl-sulphate (SDS) at a concentration of 1.2 g office paper/L for 2 min in a separate container with a 2000 rpm mixer. The unbleached wood pulp was treated in a laboratory valley beater at 1.5% consistency for 10 min disintegration and 1 hour beating under 5 kg load. The grinded unbleached pulp was then mixed with sodium-dodecyl-sulphate (SDS) at a concentration of 1.2 g pulp/L for 2 min in a separate container with a 2000 rpm mixer. The hydrodynamically treated sawdust, the pulped office paper and grinded pulp were then poured into a round shaped mould with diameter of 30 cm and the bottom screen size was 50  $\mu$ m, separately. The dewatering was done by gravitational force for overnight, then by vacuum sucking for 10 min. The mould was then removed, and the disc shape mats was placed into the oven to dry it at 40°C for 5 days. All the specimens were left in an air-dried laboratory condition until further processing.

To examine thermal conductivity values the surface of the insulating boards was sanded and measurement was performed on Lambda self-build instrument system. This instrument was designed for a method using heat-flow meter apparatus. In this measuring system, each specimen was set between the heating and cooling plates in an area of 50 cm by 50 cm square. A heat-flow meter in an area 10 cm square was attached to the hot plate. In the measurement the upper plate was constantly heated at 25°C and the lower, cooling plate was set to 15°C.

The temperature of the atmosphere around the specimen was controlled at 20°C, and the mean temperature (T) of each specimen was therefore kept around 20°C. The thickness values of the boards were recorded for each specimen into the software. Thermal conductivity values were calculated based on the stable and relaxed measurement method.

## RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 contain the thermal insulation values of the hydrodynamically treated sawn wood and wood pulps boards. It can be seen that unbleached wood pulp with foaming agent has the lower thermal insulation value among other boards. It can be concluded from these results that this board has the lowest density as well. In the last column of Table 1, a characteristic value was created to compare the different wood species and pulps as a type of normalization. The dimension of the characteristic value is  $m^4/s^3K$ , which clearly indicate the that thickness has the highest rate of influence on the thermal properties. Higher that characteristic value, higher the insulation performance. According to these values, it can be seen that sawn wood species has almost the same range between 2.1 to 2.7 and has an average around 2.4 with a standard deviation of 13%. Compare these values to commercially available low density wood and wood-based boards data value can be seen that for example low density wood has 2.6(4), plywood has 2.3, medium density fibreboard has 1.4 and oriented strand board has 1.8 characteristic value, respectively. It is obvious that these boards are made for structural applications and not thermal insulation, hence lower amount of air trapped – has lower porosity – inside their structure. The advantage of the present, hydrodynamically treated wood particles is that it has no artificial adhesive and has relatively high porosity. It also can be concluded that these characteristic values for these boards strongly depends on their density. The hydrodynamically treated sawn wood boards were advantageous for insulation over the commercial boards, due to their lower densities and higher porosity. The hydrodynamically treated sawn wood boards' characteristic values were approximately seven times lower compare to those of petrochemical based insulators, like 17.1 for expanded polystyrene foam, 16.3 for extruded polystyrene foam and 18.5 for fiberglass wool. That value for unbleached wood pulp is approximately 3 times lower only. There are no significant and clear differences between wood species in our measurement. The different treatment conditions were not resulted significant differences in the characteristic value as well.

**Table 1. Characteristic thermal insulation values for the boards**

| Sample               | Chemical | Hydrodynamic treatment | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | Consistency (%) | $\lambda$ (W/mK) | Characteristic value ( $\lambda/\rho$ ) $10^{-4}$ |
|----------------------|----------|------------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------------------------|
| Spruce               | -        | disc-refiner           | 214                         | 9               | 0.056            | 2.6                                               |
|                      | -        | disc-refiner           | 230                         | 9               | 0.053            | 2.3                                               |
| Poplar               | -        | disc-refiner           | 190                         | 3               | 0.051            | 2.7                                               |
| Beech                | -        | disc-refiner           | 315                         | 3               | 0.067            | 2.1                                               |
| Oak                  | -        | disc-refiner           | 320                         | 3               | 0.075            | 2.3                                               |
| Sliced office paper  | SDS      | pulper                 | 200                         | 1.5             | 0.048            | 2.4                                               |
| Unbleached wood pulp | SDS      | valley beater          | 70                          | 1.5             | 0.04             | 5.7                                               |

As it was introduced earlier the dimension of characteristic value is depends on the thickness in the highest rate. To show how the effect of thickness on the thermal insulation property, the characteristic value was normalized by the thickness. These values can be found in Table 2. Table 2 contain values from other insulation materials as well for comparison purposes. It can be concluded that with varying the thickness of one kind of material the thermal insulation properties can be fine tuning. For example, if the thickness of the hydrodynamically treated oak board can be increased, the thermal insulation properties can be better. However, the hydrodynamically treated oak saw dust thermal properties and the low-density solid wood thermal properties did not alter significantly, but they have the same density. The proper interpretation of this phenomenon can be found in the material structure itself. The cells, which is a chemical composition of cellulose, lignin and hemicellulose are connected chemically in the fiber and vessel elements in case of a solid wood, resulting inhomogeneous thermal conduction. Once the saw dust is treated hydromechanically, the homogeneity of its chemical structure is increased, the particles connect through less chemical sites and the thermal conductivity is reduced, which resulted better insulation properties. Moreover, reducing the particle size by hydrodynamic treatment can increase the porosity of the samples and the same time the heat transmission is reduced.

In case of petrochemical based or glass fibre insulation boards, the chemical homogeneity is very high and the same time the porosity as well. That high homogeneity, isotropy and micro-porosity together characterize the thermal insulation properties of a material.

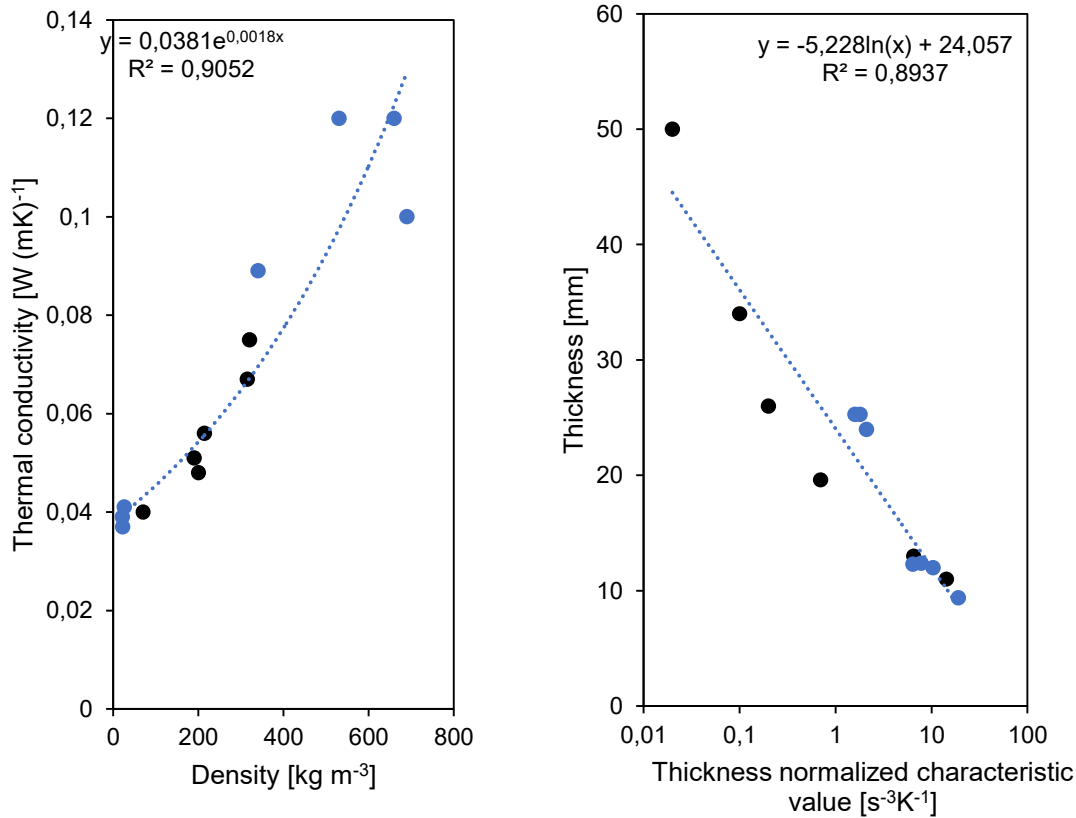
In case of the thickness normalized characteristic values, the hydrodynamically treated wood saw dust has ten times lower thermal feature than conventional insulation materials (Table 2.). However, increasing further the porosity and homogeneity, isotropy, a better thermal insulation material can be reached. In this point it should be emphasize, that economy value or

circular economy issue play a dominant role. Are we really want to have a better thermal insulation material from a relative low-cost saw dust with a high energy input or move ahead with a combined approach?

**Table 2. Thickness normalized characteristic value of the hydrodynamic pre-treated boards and other materials**

| Sample                    | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | $\lambda$ (W/mK) | Thickness normalized characteristic value (1/s <sup>3</sup> K) · 10 <sup>6</sup> |
|---------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Spruce                    | 214                         | 0.056            | 0.2                                                                              |
| Poplar                    | 190                         | 0.051            | 0.1                                                                              |
| Beech                     | 315                         | 0.067            | 0.7                                                                              |
| Oak                       | 320                         | 0.075            | 14.3                                                                             |
| sliced office paper       | 200                         | 0.048            | 6.5                                                                              |
| unbleached wood pulp      | 70                          | 0.04             | 0.02                                                                             |
| low density wood          | 340                         | 0.089            | 10.4                                                                             |
| plywood                   | 530                         | 0.12             | 7.8                                                                              |
| medium density fibreboard | 690                         | 0.10             | 19.1                                                                             |
| oriented strand board     | 660                         | 0.12             | 6.4                                                                              |
| expanded polystyrene foam | 22.0                        | 0.037            | 2.1                                                                              |
| extruded polystyrene foam | 25.6                        | 0.041            | 1.6                                                                              |
| fiber glass wool          | 21.1                        | 0.039            | 1.8                                                                              |

Figure 1. depict the relation between the density and thermal conductivity value, the two main factor, which influence the thermal feature. Figure 1. Right plot depicts a unique, but strong relation, how the normalized characteristic value can vary with board thickness value. This relationship sensitively correlates on the thickness to the fourth order, which means that a few more millimetre thickness can reduce thermal insulation value and increase the overall performance of the wood saw dust board. The thickness normalized characteristic value of thermal insulation board made from spruce saw dust is double than poplar, but the thickness difference is only 7 mm. The thickness normalized characteristic value of traditional insulating boards (EPS, XPS, FG) is one order of magnitude higher than the same thickness value spruce insulation board. This difference is due to the structural inhomogeneity of saw dust chemical composition.



**Figure 1. Left) Relation of density values versus thermal conductivity. Right) Relation of thickness normalized characteristic value versus board thickness. The highlighted blue circles refer the present measurement values.**

Finally, the thermal conductivity measurement curves were analysed for the first time. The thermal conductivity measurement curves were smoothened by creating the average of 40 successive measured points from the instrument data and then a logarithmic curve fitting can tell us when the measurement start to be stable, approaching to the final value. It can be concluded from this comparison, that hydrodynamically treated beech ( $r^2=0.98$ ) and oak ( $r^2=0.95$ ) saw-dust relaxed at the same time rate, after 6 hours measurement. The beaten unbleached wood pulp ( $r^2=0.94$ ) with SDS relaxed at 11:40 hours rate, which is almost double than wood saw dust. It can be seen from these results, that the heat dissipation rate of pulp is much higher, because longer time need to be relaxed. In order to investigate further this phenomenon, more measurements and curves will be analysed.

## CONCLUSION

Indoor thermal comfort condition in the buildings can be provided by insulators. These are for example wood boards, wood wool, rock wool, glass wool and other petrochemical based materials like expanded polystyrene foam (EPS), extruded polystyrene (XPS) and polyurethane (PU). In this work, different wood species (spruce, poplar, beech, oak) in saw dust form, sliced office paper waste and unbleached wood fibres were treated hydrodynamically and their thermal insulation properties were evaluated. During hydrodynamic treatment process, the wood particles size are reduced and a chemically more homogeneous suspension was created. It can be concluded that unbleached wood pulp with foaming agent has the lower thermal insulation value among other boards. A characteristic value was created to compare the different wood species and pulps as a type of normalization. The dimension of the characteristic value is  $m^4/s^3K$ , which clearly indicate that the thickness has the highest rate of influence on the thermal properties. The hydrodynamically treated sawn wood boards were advantageous for insulation over the commercial wood boards, due to their lower densities and higher porosity. There are no significant and clear differences between wood species in our measurement. The proposed thermal insulation mechanism of the wood saw dust boards can be approached from chemical and porosity perspective. The hydromechanically treated saw dust increased its chemical homogeneity and the thermal conductivity is reduced, which resulted better insulation properties.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was carried out as part of the Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realisation of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

1. **Muthuraj R, Lacoste C, Lacroix P, Bergeret A.** Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. *Industrial Crops and Products*. 2019;135.

2. **Hussain A, Calabria-Holley J, Lawrence M, Jiang Y.** Hygrothermal and mechanical characterisation of novel hemp shiv based thermal insulation composites. *Construction and Building Materials*. 2019;212.
3. **Abbas N, Khalid HR, Ban G, Kim HT, Lee HK.** Silica aerogel derived from rice husk: an aggregate replacer for lightweight and thermally insulating cement-based composites. *Construction and Building Materials*. 2019;195.
4. **Kawasaki T, Kawai S.** Thermal insulation properties of wood-based sandwich panel for use as structural insulated walls and floors. *Journal of Wood Science*. 2006;52(1).



Kovács K. – Czupy I – Hemida M. – Vityi A.

*University of Sopron*

## **POTENTIAL CONTRIBUTION OF AGROFORESTRY PRACTICES USED IN AGRICULTURAL AREAS TO MEET FUTURE WOOD DEMANDS IN HUNGARY**

### **INTRODUCTION**

Agroforestry is a multifunctional land use in which agricultural crop and / or livestock production is combined with the maintenance of woody crops in the same area (Lundgren, 1982). This dynamic, ecologically based system of natural resource use diversifies and increases the total biomass yield per unit area, while bringing social, economic and environmental benefits. (Leaky 1996). The integration of woody vegetation diversifies the farmer's income and can contribute to self-sufficiency. At the national level, woody vegetation integrated into agricultural production (for energy, wood and other industrial purposes) can significantly reduce the burden on existing afforestation, which is expected to increase due to the projected growth in demand for timber in the coming decades.

### **ROLE OF AGROFORESTRY IN MEETING TIMBER AND BIOFUEL NEEDS**

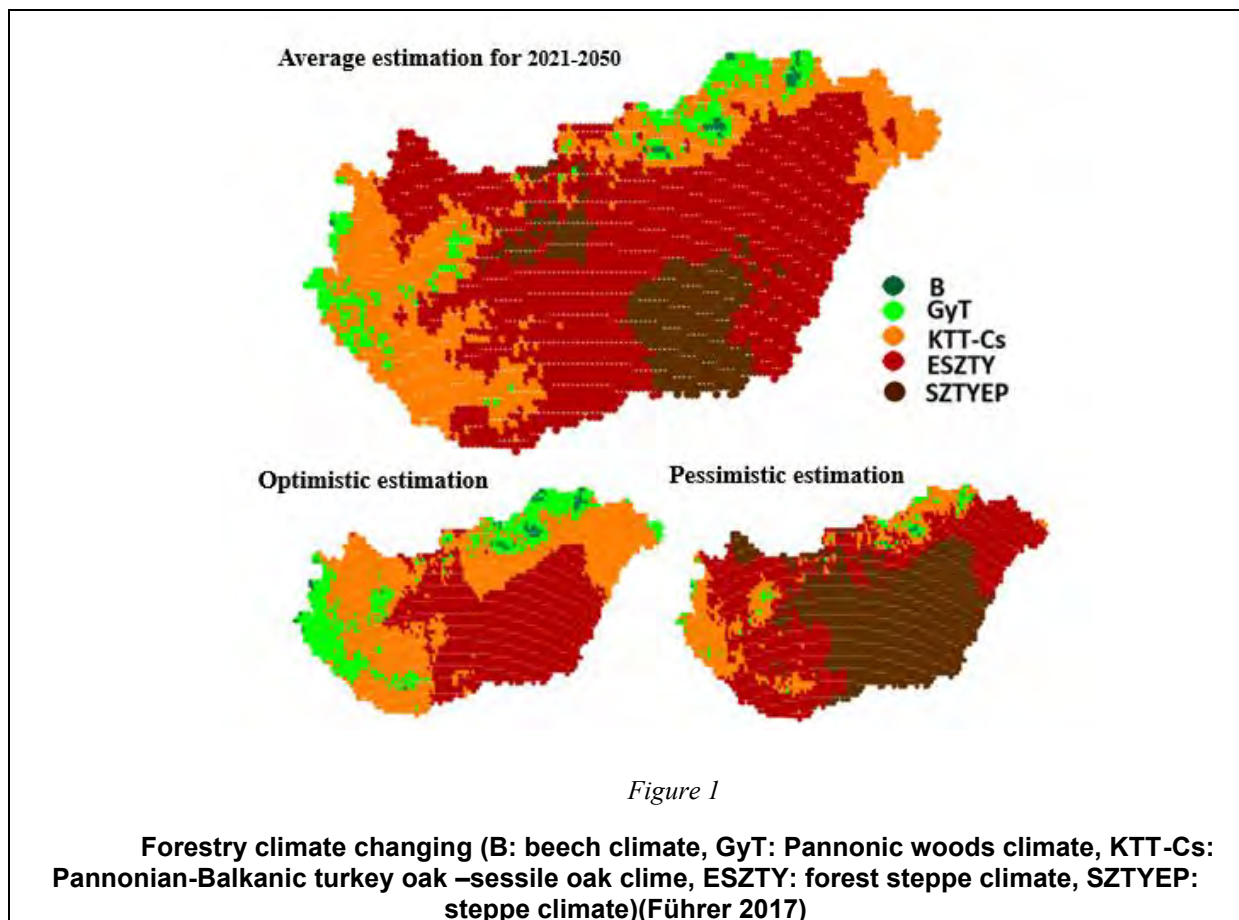
Much of the estimated growth in demand up to 2050 will be explained by changes in energy demand, with growth in timber consumption in other industries expected to contribute much less. (WWF 2011; UNECE / FAO, 2011; Ferranti 2014; Nabuurs et al. 2014; IEA 2017; Jonsson et al. 2018; Walker and Strauss 2019; EUROSTAT 2018; EUROSTAT 2019; FAO 2019;) Within solid biomass end use, the household segment is dominant (nearly 90%) (Szajkó 2019). Stress on forests and afforestation is further exacerbated by the negative effects of climate change on agriculture and forestry (eg increasing sensitivity to drought). (VIDÉKFEJLESZTÉSI MINISZTERIUM 2012) Integrating trees in agricultural lands can be a solution in both respects (meeting the needs for wood and climate adaptation of production systems). Agroforestry systems do all this not as an alternative to crop production, but in cooperation with it, while maintaining agricultural production, in addition, at a higher LER (land equivalent ratio) value. (Gál, J. et al. 1963; Nair 1983; Dupraz et al. 2005; Suliman and Ahmed 2012; Nyoki and Ndakidemi 2017) Moreover, trees can protect the crop from extreme weather events, create a more favorable microclimate, biodiversity and on the same area there is also production of wood (Gal 1963; Dupraz et al, 2005). A series of domestic and international practices prove that the presence of trees in the agricultural system has a positive effect on the quantity and quality of production. (Suliman et al. 2012) (Daniel et al. 2017) (Abdul 2013) By combining different crops, agroforestry can also be expanded the income-generating opportunities, as arable crops can be combined with short rotation coppices or high quality plantations or orchards (including nut production). The systems can also be used as bee pastures by diversifying the installation of the appropriate honey species.

In addition to the economic and ecological benefits, the recreational value should also be emphasized, therefore the diversity of the landscape is favorable for the tourism and the quality of life of the local population.

It is therefore worth examining the role that agroforestry systems can play in meeting future timber and solid biofuel needs as well as (self-) supply of decentralized heat in an ecologically and economically sustainable, climate-adaptive way. Hence, it is very important to take advantage of opportunity to plant trees of appropriate species, in the right place and at the right time.

## SELECTION OF THE APPROPRIATE WOODY SPECIES

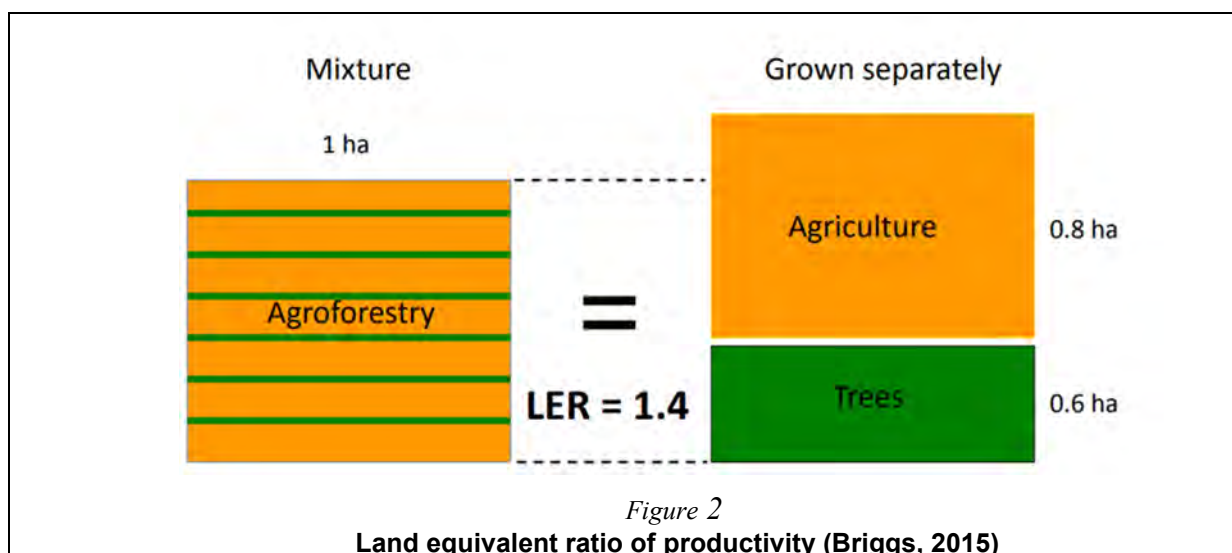
In addition, climate change is urging the existence of woody systems that can compete with negative climate impacts. The territorial distribution of the classes of the forest climate classification system used for decades has also changed in recent years, so the climate classes found in Hungary have been expanded with another forest climate class, the steppe. Forest climate classes are important because the rainfall conditions of areas are one of the bases for classification, making it easy to understand why it is important to change this classification system from the sacred point of trees. Each category indicates the species that can be used in the area to which they relate. Climate classes are shifting, so native tree species are increasingly being pushed out of Hungary, so a change of approach is needed in the selection of tree species whose optimum belongs to even the driest steppe climate class, which occupies an increasing area in Hungary. (Figure 1).



If the tree species is not at its optimum, its yield will decrease, which is not favorable for the growth of timber demand either. So when planting trees in an agricultural system for timber cultivation, this aspect is also important to consider.

## MORE EFFICIENT AND SUSTAINABLE USE OF AGRICULTURAL LANDS FOR BIOMASS PRODUCTION

Different types of agroforestry practices are becoming well-known and widespread in farming circles today. This is partly due to the fact that agroforestry areas are more diverse in structure than unilateral forms of agricultural farming (eg plantation farming, large-scale livestock farming, monoculture farming), thus increasing production security by diversifying incomes. In terms of production, a special ratio, the Land Equivalent Ratio (LER) serves as a valuable productivity indicator of agroforestry since it evaluates yields from growing trees and crops together in comparison to yields from monocultures over the same period. (Abdullahi et al. 2017) This ratio compares the product of the agroforestry system from 1 hectare with the specific yield of homogeneous crops belonging to the same biomass category. This relationship is excellent in systems where the combination of woody plant and alley cropping system remain until the end of farming.



## SIZE OF POTENTIAL AGRICULTURAL AREA FOR AGROFORESTRY IN HUNGARY

Hungary has a significant amount of agricultural land, which is 57.1 percent of the country's total area. Arable land accounts for 81,3% of agricultural land and 46.4% of the country's total area.

Some of the Hungarian arable land can be classified as a less fertile area, such as alkaline soil and lithosoil. The implementation of economical agricultural management is impossible in these areas. Unfortunately, less fertile soils are often found suitable for afforestation that causes retrogressive and economically viable stands. Alkaline soil, lithosoil and areas covered with permanent water are not convenient for planting trees therefore implementing agroforestry systems are not feasible either.

Table 1

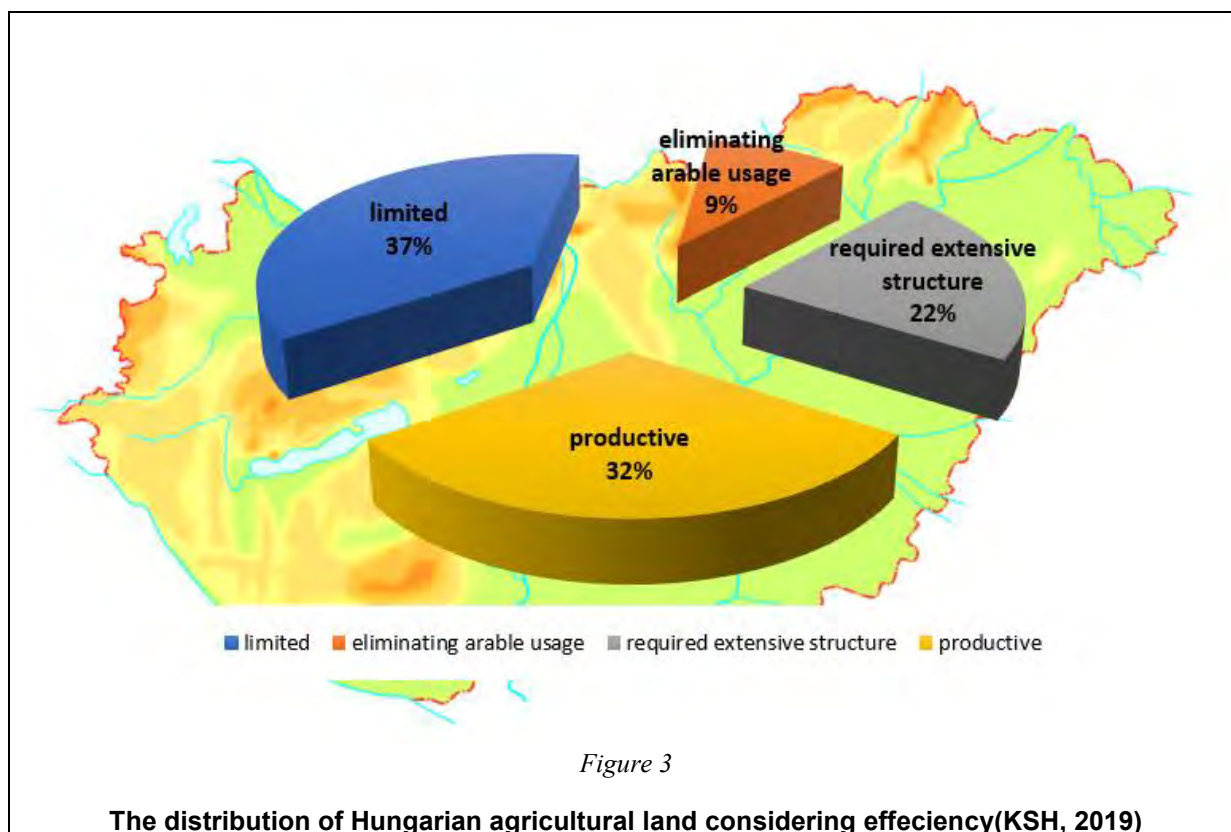
**The distribution of genetic soiltype on agricultural land in Hungary (Tóth et al., 2015)**

|                   | Lithosoils | Woodland<br>soils | Black<br>earth | Alkaline<br>soils | Meadow<br>soils | Flat bog<br>and<br>Alluvial<br>soils | $\Sigma$ |
|-------------------|------------|-------------------|----------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|----------|
| Area<br>(ezer ha) | 397        | 1465              | 1453           | 81                | 1544            | 371                                  | 5309     |
| %                 | 7,48       | 27,6              | 27,36          | 1,52              | 29,08           | 6,98                                 | 100      |

29.3% of the arable lands re of good or high quality, in respect of which it has been the view that no trees are recommended to be planted there. However, given the protection provided by trees against erosion and their positive impact on the microclimate - and thus on crop productivity - the planting of trees in these areas should also be considered where appropriate.

According to sectoral analysis, the area of about 2.7 million hectares is limited by the quality of arable land, topographic and hydrographic conditions. It would be justified to eliminate arable usage and use it for other purposes in an area of 700 thousand hectares. The establishment of an extensive production structure on another 1.6 million hectares is required

and about 400 thousand hectares would be suitable for the renewal of intensive production. (Figure 3)(Nébih, 2008)



Without taking into the account the mentioned above areas, Hungary has significant potential to establish agroforestry systems, even if we consider only the size of areas that are marginal, unsuitable for agricultural production or carry a significant production risk (flood, drainage water, drought-prone). (VIDÉKFEJLESZTÉSI MINISZTERIUM 2012; KSH, 2017) This is estimated at nearly 1 million hectares based on literature data.

## INVESTIGATION OF BIOMASS YIELDS IN AGROFORESTRY SYSTEMS

The use of biomass yield estimation methods in forestry and agricultural crops in an agroforestry system associating different plant species is unlikely to lead to reliable results due to the interactions between the associated crops. Assessing the timber/biofuel supply capacity and total biomass yield of the agroforestry system is a more complex task compared to homogeneous annual or perennial crops and, in the absence of an established method, requires further research.

With the help of the tools acquired within the framework of the RING project, long-term examination of Hungarian agroforestry systems has been started, in the framework of participatory research. In addition to estimating the biomass yields, the planned studies will be supplemented by the examination of the microclimate and water balance that change as a result of the interaction between the system components and, where possible, the material and energy parameters of the wood produced in the agroforestry system.

## ACKNOWLEDGEMENT

The described work/article was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

1. Abdul, K.:”Comparative study of different densities of poplar in wheat based agroforestry system in central punjab.” 2013, from:<[https://www.researchgate.net/publication/28346983\\_COMPARATIVE\\_STUDY\\_OF\\_DIFFERENT\\_DENSITIES\\_OF\\_POPLAR\\_IN\\_WHEAT\\_BASED\\_AGROFORESTRY\\_SYSTEM\\_IN\\_CENTRAL\\_PUNJAB](https://www.researchgate.net/publication/28346983_COMPARATIVE_STUDY_OF_DIFFERENT_DENSITIES_OF_POPLAR_IN_WHEAT_BASED_AGROFORESTRY_SYSTEM_IN_CENTRAL_PUNJAB)
2. Abdullahi, I. N., Anyaegbu, P. O.:”The performance of Soybean using Moringa as alley to improve soil productivity in North-Central Nigeria.” 2017, from: <<https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text/E3C337B63613>>
3. Briggs, S.:”A farmers perspective on Agroforestry.” 2015, from: <https://www.nature.scot/sites/default/files/2017-12/Seminar%20Presentation%20-%20Edinburgh%20-%20June%202015%20-%20Agroforestry%20and%20sustainable%20intensification%20-%20Stephen%20Briggs.pdf>
4. Daniel, N., Patrick, N.:”Assessing the land equivalent ratio (LER) of maize (Zea mays L.) intercropped with Rhizobium inoculated soybean (Glycine max [L.] Merr.) at various P and K levels” 2017, ISSN: 2220-6655, from: <[https://www.researchgate.net/publication/315834117\\_Assessing\\_the\\_land\\_equivalent\\_ratio\\_LER\\_of\\_maize\\_Zea\\_mays\\_L\\_intercropped\\_with\\_Rhizobium\\_inoculated\\_soybean\\_Glycine\\_max\\_L\\_Merr\\_at\\_various\\_P\\_and\\_K\\_levels](https://www.researchgate.net/publication/315834117_Assessing_the_land_equivalent_ratio_LER_of_maize_Zea_mays_L_intercropped_with_Rhizobium_inoculated_soybean_Glycine_max_L_Merr_at_various_P_and_K_levels)>



5. Dupraz, C., Burgess, P.J., Gavaland, A., Graves, A.R., Herzog, F., Incoll L. D., Jackson, N., Keesman, K., Lawson, G., Lecomte, I., Mantzanas, K., Mayus, M., Palma, J., Papanastasis, V., Paris, P., Pilbeam, D.J., Reisner, Y., van Noordwijk, M., Vincent, G., van der Werf, W.: "SAFE, Silvoarable Agroforestry for Europe: Synthesis Report."
6. EUROSTAT: "Renewable Energy Statistics." Eurostat. 2019, from: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable\\_energy\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics)
7. EUROSTAT: "Wood products - production and trade. Agriculture, forestry and fishery statistics." Eurostat. 2018, ISBN 978-92-79-75764-8
8. Ferranti, F.: "Energy wood: A challenge for European forests. Potentials, environmental implications, policy integration and related conflicts." EFI Technical Report 95., European Forest Institute 2014
9. Fűhrer E.: "Az erdészeti klímaosztályok új lehatárolása öko-fiziológiai alapon." 2017, from: [http://erdeszetilapok.oszk.hu/01825/pdf/EPA01192\\_erdeszeti\\_lapok\\_2017-06\\_173-177.pdf](http://erdeszetilapok.oszk.hu/01825/pdf/EPA01192_erdeszeti_lapok_2017-06_173-177.pdf)
10. Gál, J. et al. A mezőgazdasági terméshozamok növekedése az erdősávok védelmében. The increase of agricultural yields in protection zone of forest belts. Scientific Publications of the University of Forestry and Timber Industry. 1963/1-2: 43-81. Központi Statisztikai Hivatal: A fenntartható fejlődés indikátorai Magyarországon, 2016. 1963
11. International Energy Agency: "Global Wood Pellet Industry and Trade Study 2017." Executive Summary, Summary Series, IEA Bioenergy: Task 40: 11 2017, from: [http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study\\_final-2017-06.pdf](http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study_final-2017-06.pdf)
12. Jonsson, K., Blujdea, V., Fiorese, G., Pilli, R., Rinaldi, F., Baranzelli, C. and Camia, A.: "Outlook Of The European Forest-Based Sector: Forest Growth, Harvest Demand, Wood-Product Markets And Carbon Dynamics Implications." Sisef-Soc Italiana Selvicoltura Ecol Forestale. 2018, From: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/outlook-european-forest-based-sector-forest-growth-harvest-demand-wood-product-markets-and-carbon>
13. KSH: "A fontosabb növények vetésterülete." 01. June 2019, from: <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/vet/vet1906.pdf>,
14. Leakey, R.R.B.: "Definition of agroforestry revisited." Agroforestry Today, 8(1), 5-7, 1996
15. Lundgren, B.: "Introduction. *Agroforestry Systems*." 1 (1): 3-6, 1982
16. Nabuurs, G-J., Schelhaas, M-J., Orazio, C., Hengeveld, G., Tome, M., Farrell, E. P.: "European perspective on the development of planted forests, including projections to 2065." New Zealand Journal of Forestry Science 2014, 44(Suppl 1):S8
17. Nair, P.K.R.: "An introduction to agroforestry." Springer science & business media, 1993.
18. Nyoki, D. and Ndakidemi, P.: "Assessing the land equivalent ratio (LER) of maize (*Zea mays* L.) intercropped with Rhizobium inoculated soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) at various P and K levels." International Journal of Biosciences. 2017, 10. 8. 10.12692/ijb/10.3.275-282.
19. Suliman, A. and Ahmed, M.: "Assessing the Land Equivalent Ratio (LER) of Two Leguminous Pastures (*Clitoria* and *Siratro*) Intercropping at Various Cultural Practices and Fencing at Zalingei." Western Darfur State -Sudan, 2012, ISSN 2225-7217, from: [https://www.researchgate.net/publication/285538108\\_Assessing\\_the\\_Land\\_Equivalent](https://www.researchgate.net/publication/285538108_Assessing_the_Land_Equivalent)

- Ratio\_LER\_of\_Two\_Leguminous\_Pastures\_CLITORIA\_and\_SIRATRO\_Intercroppi  
ng\_at\_Various\_Cultural\_Practices\_and\_Fencing\_at\_ZALINGEI\_-  
Western\_Darfur\_State\_-Sudan
20. Szajkó G.: "A hiányzó tűzifa problémája. MATÁSZSZ Biomassza Konferencia, Tatbánya, October 2019
  21. Tóth G., Hengl. T., Hermann T., Kocsis M., Tóth B., Makó A., Berényi Üveges J.: "Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonság-térképei (Soil property maps of the agricultural land of Hungary)." 2015, EUR 27539; doi10.2788/318926
  22. UNECE/FAO: "European Forest Sector Outlook Study II 2010-2030." United Nations, Geneva, 2011.
  23. VIDÉKFEJLESZTÉSI MINISZTERIUM: "Az aszály kezelésének hosszú távú koncepciójáról." Konzultációs anyag. Budapest, 88. from: <http://2010-2014.kormany.hu/download/7/0a/90000/Aszalystrategia.pdf>
  24. Walker, S. and Strauss, W.: "Global wood pellet markets outlook, Canadian Biomass." Jan. 2019, from: <https://www.canadianbiomassmagazine.ca/2019-wood-pellet-markets-outlook-7190/>
  25. WWF: Living Forest Report. Chapter 5: „Saving Forests at Risk.” World Wide Fund for Nature, Gland, Switzerland, November 2011.

Kornfeld Zsuzsanna

*Soproni Egyetem, Faipari Géptani Intézet*

## **ECO-TENDENCIES OF PELLETS**

**Abstract:** Our rapidly changing world is characterised by globalisation, industrialisation and growing environmental problems, which gives rise to new areas such as eco-materials and eco-design. As a result of global warming and different ecological disasters, a more responsible attitude has increasing significance. The eco concept makes it possible to keep the most important corporate foundation stones such as sustainability and economic viability, while increasing environmentally friendly uses of the economy and boosting social harmony. From a sustainable energy point of view, pellets are an eco-friendly solution with optimal effects as they cause minimum harm to the environment and are suitable for recovering energy.

**Key words:** Eco tendency, environment protection, waste reduction

### **1. Introduction**

There is increasing concern in the world today about environmental problems, climate change, the decrease of resources with limited availability. Therefore there is an increasing need to adopt a responsible sustainable attitude and to tighten environmental measures. Global warming is caused by human activity and our life style, which demands production, consumption that harm the environment, pollute the air, the waters, the soil, and produce so much rubbish and waste that we are slowly becoming unable to manage it on the planet. Our most important task is to retain our quality of life and protect our environment. In order to do this we must reduce environmental damage and mitigate and /or eliminate the harm caused.

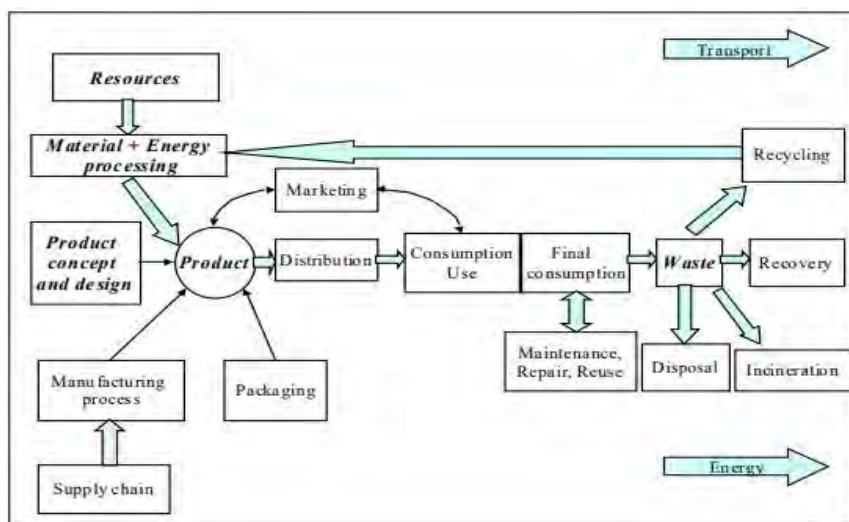
Unfortunately, despite the world addressing climate change, its effects and the damage done to the environment are increasing, and it seems there that very little progress has been made by companies to solve the problem apart from some obligatory and expected tasks and regulations. Different services and production facilities, multinational companies are not really obliged to make fewer products and generate less packaging waste or at least to use recyclable materials or to put the typical circular economy into practice. There are general regulations and statutory obligations concerning waste and waste management such as Act 185 of 2012 on waste management that focuses on the reduction of energy and raw materials as well as on human health and the reduction of burdens caused by waste materials. However, companies cut costs using cheaper materials that produce more waste. One of the most probable reasons for this is that companies are not really under pressure to replace their cost-cutting thinking with the more comprehensive use of eco-friendly or eco materials. The other reason is that companies concentrate on survival forced on them by the ever-changing socio-economic circumstances and their prices and sensitivity to costs. Most companies have short-term goals and cut costs. Therefore the use of more expensive eco materials is not on the table. Some companies consider sustainable development and cost cutting as a disadvantage, while some other companies try to benefit from the use of eco materials and take it as a competitive advantage.

### **2. The significance of eco**



Interestingly, based on data published in *Top Ten of Everything* by Russel Ash (London: Dorling, Kindersley, 1996) Hungary ranked 7<sup>th</sup> among the 10 biggest garbage producers per capita. Obviously, the USA was in the first place and surprisingly, considering their small population, Finland was second. In the past decade there have been many changes including different improvements and developments even in Hungary, such as the implementation of renewable energy sources, standards, and regulations. As a result, on the Waste Management List of 2016, Hungary occupies the 25<sup>th</sup> worst place out of the 28 countries under examination in Europe, which is 1624 kg/year per capita waste. According to the 2016 data on waste management / waste statistics it is Finland that is in the first place. Despite the population of 5-5.5 million, Finland produces 22,359 kg waste per year per capita. It is exactly these scary numbers that show the need to introduce eco materials and recyclable, reusable materials. As an example, if people co-operate, the ratio of plastic collection can reach 3-40%<sup>1</sup>, out of which the ratio of recovery is even lower so it hardly reaches 50%. Therefore it has a high environmental impact. Based on the 2017 data by the European Association of Plastics Manufacturers<sup>2</sup> not even 45% of plastic is collected, and presumably most of the plastic is dumped into waters or nature, even forests. Recovery is even worse, below 20%, the rest is dumped in landfills or incinerated. This is the main reason why plastic should be excluded from production, from all manufacturing processes and packaging or at least should be replaced with biodegradable versions.

Methods for companies to reduce their ecological footprint in production and services by using fewer raw materials and/or by the adoption of environmentally friendly technologies already existed in the 20<sup>th</sup> century. Eco design was introduced because of our destructive lifestyle and its adverse effects on the environment required a new strategic thinking. The eco concept is an attempt which takes into consideration the ecological context from the start, from the purchase of raw materials, through production to delivery to the end-user, thus covering the whole life cycle of the product (Table 1).



**Table 1: The schematic life cycle of products<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Forrás: Dr. Nagy Béla: Újrahasznosítási ismeretek, 2011 Szent István Egyetem, 24. oldal

<sup>2</sup> Forrás: Plastics – the Facts 2017 An analysis of European plastics production, demand and waste data, [https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics\\_the\\_facts\\_2017\\_FINAL\\_for\\_website\\_one\\_page.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf)

<sup>3</sup> Forrás: Green Paper on Intergrated Product Policy (2001)

Eco design creates a vital and environmentally friendly economy, as it takes into consideration the impact on the environment throughout the whole life cycle of the product and reduces it to a minimum. Therefore one of the most important steps is the examination of the product life cycle and seeing through it so that we can calculate how many raw materials, processing aids and energy were used to make, use and eliminate the particular product and to what extent these materials impacted the environment. On other words how big the ecological footprint of the particular production is. It is not only quantitative data that we can extract from such an examination, but we will have chronological information as to the type of environmental impact in a given time period. The relevant standard when examining the life cycle of a product is ISO 14040:2006, but there is different software available too that makes it easier to analyse the processes (e.g. GaBi<sup>4</sup>, Carboncheck<sup>5</sup>).

### **3. The significance of pellets and their production process**

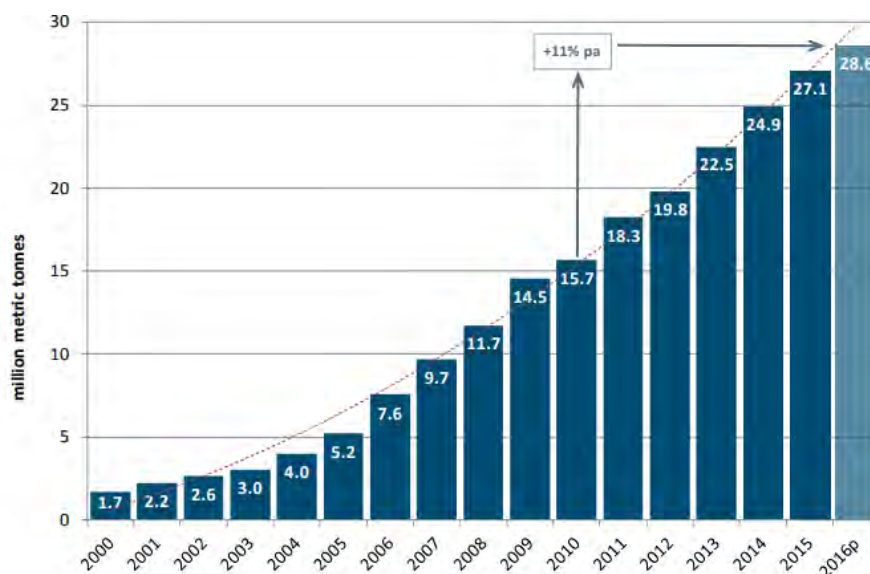
In order to demonstrate the eco concept, wooden pellets and briquettes are really good examples because they are environmentally friendly, since waste is made into a valuable material, thus protecting the forests and rediscovering already proven materials from a renewable source with a wide range of possible applications. Pellets are compressed fuels that are produced using recycled materials (biomass) that is made from the recovery of trees, plants, fruits or by-products, with a diameter of 6-12 mm. The compressed material is produced at high pressure, usually between 800 and 900 bar. When compacting, the raw material is always taken into consideration, which can be a by-product, wood chips or some other wood waste. Their density is increased during the process. Wooden briquetets are similar products but they are bigger. Their form can vary, either cylindrical or rectangular, and their diameter can also vary, between 4 cm to up to 35 cm. Their advantage is that they can be used in traditional wood-burning stoves. They are environmentally friendly their smoke does not contain sulphur dioxide and they have low moisture content their heating value is high, there is no need for further processing at home, such as splitting, chopping. Apart from their use, for the production of thermal energy, they can be used to produce electricity or even as (motor) fuel. They have an exceptionally good burning rate and the carbon dioxide they emit is less harmful to the environment. Their energy comes from the burning of the carbon content of cellulose. Cellulose is made when the chlorophyll of the plant, as a result of its exposure to solar energy, produces glucose molecules from the carbon-dioxide found in the air and the water taken by the root, simultaneously emitting oxygen. The glucose molecules (usually thousands of them) polymerise into cellulose fibres while releasing water molecules. This is wood. When we burn it with oxygen, the combustion product becomes carbon dioxide and water and the energy that the plant took at its creation from the sunlight is released. Petroleum is also burnt into carbon dioxide and water, but it is produced much more slowly it is runnings out. This is one major difference between pellet and oil burning as to time and environmental impact.

Table 2 shows that the significance of pellets in the world has grown considerably over the past two decades. At the same time, the energy consumption of the world is also

<sup>4</sup> software with a big database to analyse life cycle.

<sup>5</sup> manages data ragarding sustainability and energy management.

growing continuously. As energy sources as well as raw materials become scarce, there is a growing need for alternatives.

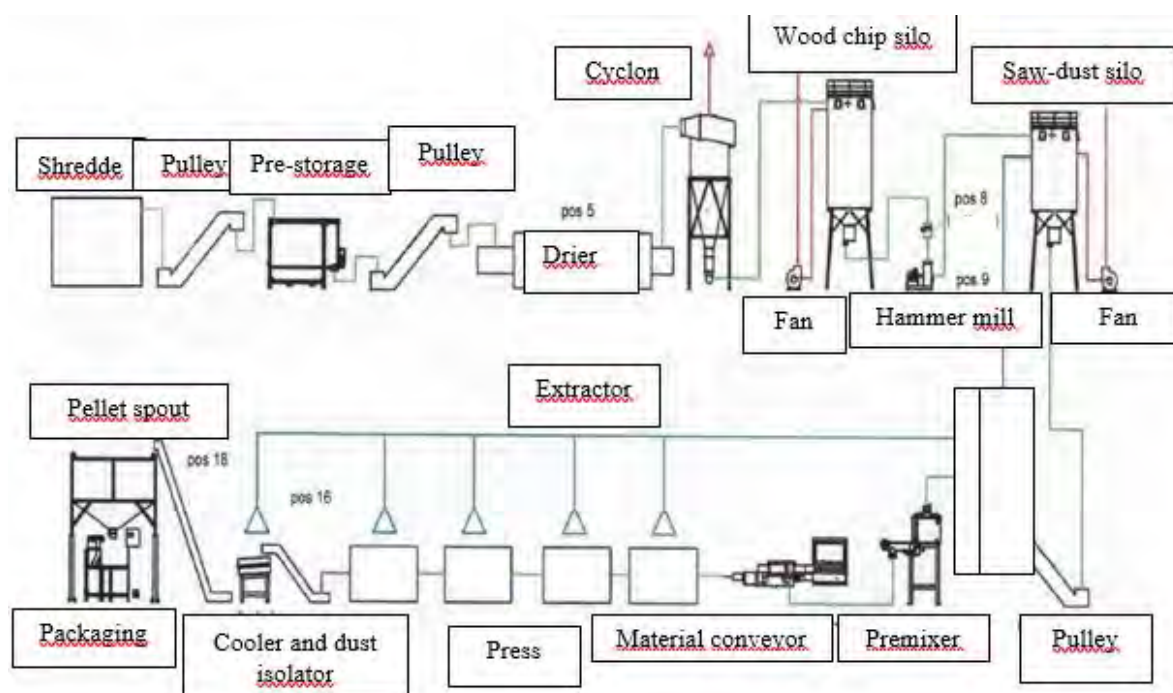


**Table 2 Amount of pellets produced in the world in million tons between 2000 and 2016<sup>6</sup>**

Despite the growing significance of pellets, they can only support a small part of energy consumption as the demand for energy is growing continuously. The growing demand, the finite availability of wood and the processing of timber justify the need for the use of alternative raw materials in production (of pellets or other products). These can be in the form of agropellets that are not wood-based materials but herbaceous and other alternatives. The production technology is also important as it reduces the ecological footprints.

Due to the wide variety of raw materials used to produce pellets, they can contain impurities, or undesirable substances such as metal, other waste, or stones. Therefore, especially during the recovery process great emphasis should be put on the cleansing process that is carried out with different isolating and magnetic devices. In Austria wood pellets are generally made from sawdust, wood shavings and chips. The first step before compression is checking the moisture content of the raw materials and drying, if necessary. For pellet production the ideal moisture content is between 10-12% (Burján Z. 2010). Drying is a significant process as raw materials too high moisture content make it impossible to carry out the pelleting process, thus worsening the quality of the end product, making production more difficult, and causing higher energy consumption during production. Drying requires energy that could be replaced or complemented and supported with an energy generator working with biomass. After drying and chopping, the chips are compressed under high pressure to produce the pellet. To make compression easier, additives might be necessary, which in Austria are complemented with natural materials, for example corn starch. Pellets made by compression heat up during the process, so they must be cooled down, sieved and prepared for storage.

<sup>6</sup> The global outlook for wood pellet markets WPAC Annual Conference, Ottawa, September 2017, 4. pdf



**Table 3 Technology of pellet production<sup>7</sup>**

When the raw materials chosen for pellet-making are not suitable, they must first be put into a shredding machine, from which a pulley delivers them to the pre-storage facility. Then with the help of a pulley they are delivered to the drier where materials are to be dried and turned over with a cyclone fan. After this they are put into the chips silo, where they are put into the isolator and then into a mill reduces them to suitable size. The pieces from here are put into the pre-mixer then delivered to the compression process. Actual pelletization takes place here where materials are treated under high pressure and heated over 100 °C. Materials from here are put into the cooling and isolating machine. That is one of the most important parts since the small pellet pieces are very fragile at a high temperature. If they break, their quality declines and there are material losses. It is important to cool down the products as slowly as possible because sudden cooling might cause the deterioration of their quality. After this process, the pellets are packaged into plastic sacks (Table 3).

#### 4. The possibilities of reducing the ecological footprint regarding pellets

From an environmental and climate protection point of view, the use of pellets made from eco-material contribute to environment protection. When an older stove is replaced by a pellet-burning one, the emission of carbon-dioxide is reduced significantly. Heating oil is not beneficial from the point of view of environment protection as the use of 1 litre heating oil burdens the environment with approximately 2.4 kilograms<sup>8</sup> of CO<sub>2</sub> emission.

The energy of 1 kilogram of pellets are 4.7 kWh which equals to 5.0 kWh energy<sup>9</sup> (which is influenced by quality to a great extent), while 1 litre heating oil contains circa 10.3 kWh primary heating energy, 1 m<sup>3</sup> natural gas 10 kWh. 1 litre heating oil thus has the same

<sup>7</sup>Forrás: Burján Z. (2010): Pelletfűtés II. Pelletgyártás-Víz- Gáz- Fűtéstechika áprilisi szám, <http://www.pannonpellet.hu/publicistica.php?newsid=978>

<sup>8</sup>Forrás: Comenius Gimnázium <https://gimnazium.comenius.hu/page/menu/3> kémiai anyagok

<sup>9</sup> <https://futespiac.hu/az-energiahordozok-futoerteke.html>

heating energy as 1 m<sup>3</sup> natural gas. What matters is the extent of carbon dioxide emissions, the aggravation of the greenhouse effect and the harming of the environment. There are political guidelines aimed at the reduction of the greenhouse effect because it has a great impact on triggering climate change along with global warming. Pellets are suitable for the reduction of greenhouse gases and it supports the use of renewable energy sources (thermal energy, etc.). It is an advantageous alternative since it promotes the replacement of other fuels, e.g. coal. Based on the data listed it is clearly visible that about 2 kilos of pellets to replace 1 m<sup>3</sup> of natural gas and 1 litre of heating oil. Projected on larger numbers it means that 1000 litres of heating oil can be replaced by about 2 tons of pellets. Table 4 below summarizes the differences between the different types of fuel.

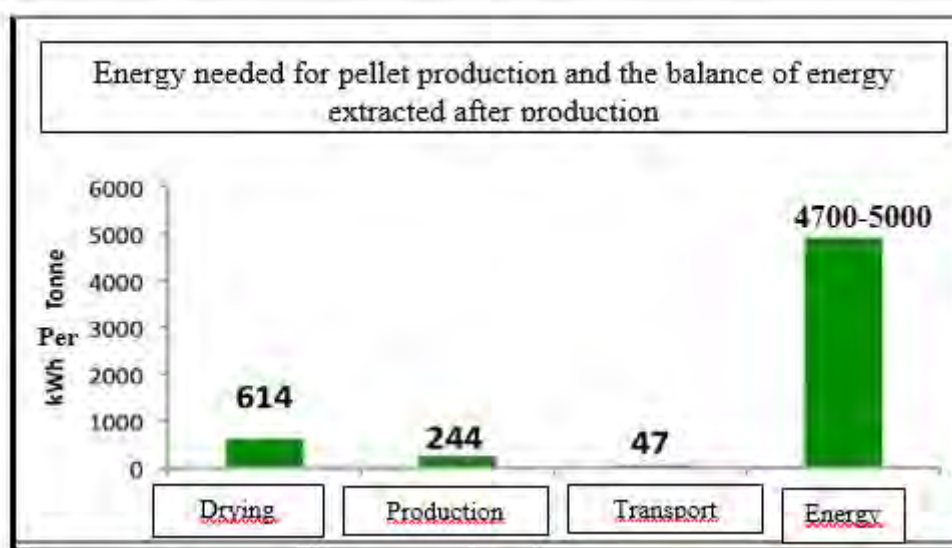
| <b>Characteristics</b>                                | <b>Wood</b>             | <b>Gas</b>                   | <b>Oil</b>                | <b>Coal</b>            | <b>Electric</b>                      | <b>Pellets</b>          |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| <b>Heating value</b>                                  | 12 MJ/kg                | 34 MJ/m <sup>3</sup>         | 42 MJ/kg                  | 19 MJ/kg               | 3,6 MJ/kWh                           | 16-18 MJ/kg             |
| <b>Unit price<br/>(Depending on type and quality)</b> | 2500 -3500 Ft/q         | 110 Ft/m <sup>3</sup>        | 250-270 Ft/l              | 4500-8000Ft/q          | 50 Ft/kWh                            | 5500-8000 Ft/q          |
| <b>CO2 equivalent</b>                                 | 20-70g/kWh              | 254g/kWh                     | 318g/kWh                  | 285gkWh                | 375 g/kWh                            | 70g/kWh                 |
| <b>Extraction, raw material</b>                       | Minimum cost, renewable | Minimum cost, limited fossil | High cost, limited fossil | Demanding, limited     | High cost fossil, nuclear, renewable | Minimum cost, renewable |
| <b>Burning</b>                                        | Demanding               | Problem-free                 | Simple                    | Demanding, complicated | Simple                               | Normal                  |

**Table 4<sup>10</sup>**

Based on the energy balance sheet of a pellet factory in Austria (Table 5) the most energy is consumed to the dry sawdust. This is presumably the same at each pellet factory. This is followed by the actual production of the pellets where pellet compressors and cooling use the second-highest amount of energy. Transportation is negligible as energy consumption is projected within a 100 km radius.

<sup>10</sup> Self-made, <https://www.matkeramia.hu/egyeb-hu/futesi-modok-oesszehasonlitas/>  
<https://kreativlakas.com/epitkezes/tuzeloanyagok-futoolaj-gaz-fa/>  
<https://www.mnnsz.hu/1kwh-villamos-energia-05-kg-szendioxid-kibocsatas/>





**Table 5 Energy balance sheet of pellets<sup>11</sup>**

Pellet production requires 905 kWh per ton and the energy gained is between 4700 and 5000 kWh per ton, which means that the actual production of the pellet accounts for **18-19%, while the rest is clean energy.**

When the pellets are too small, the use of the shredding machine is not necessary. The drying process requires the highest amount of energy. This energy in the eco concept could be from a biomass plant that could reduce the environmental impact. One solution could be to satisfy the energy demand with renewable energy fuels (solar panels, wind turbines among others) and the energy necessary for drying could be supplied with the steam released during the use of renewable resources. Both alternatives could reduce the environmental impact and the demand for energy consumption since they would be satisfied from renewable sources. At the same time both the energy consumption and the environmental impact can be reduced as well as the emission of harmful materials. With the help of these two solutions the processes requiring the most energy could be replaced by alternative energy supplies. The dust remaining on the pellet and later removed has a lower material use during the next round of production. Another alternative for reducing the environmental impact is in packaging. Most pellets are packed into plastic sacks, the environmental impact of which must be reduced. The fine dust, on the plastic sacks makes it difficult to load them onto pellets since the sacks tend to slide. The film can stretch, which also hinders loading them safely. When pellets are compressed during transportation and loading, the straps loosen, leading to transportation losses and damage. Anti-slip pads that are also recyclable are a solution for the next delivery. Even protection from collision will protect the sacks of pellets and eliminate damage. Companies should not consider only the price but companies should also take into consideration the potential mechanical stress. If this packaging is replaced with paper sacks, the user could burn them or even better, reuse them. This way there would be no unnecessary waste ending up in incinerators or landfills. If we speak about the sale of a bigger quantity of pellets, recyclable big bags are also a good solution because they are reusable. When packaging, biodegradable sacks (made from corn, starch, bamboo, etc.) which are environmentally friendly and compostable could be used and yet their quality is adequate for the purpose. Recycled materials have another advantage that they are cheaper than packaging

<sup>11</sup> Energy balance sheet of a pellet manufacturer in Austria

materials made from plastic. It is highly recommended for manufacturers to lead consumers into this direction by providing products packed in an environmentally friendly way at a lower price. This way slowly but surely. The use of non-biodegradable plastic materials could be reduced or even eliminated.

Table 6 demonstrates the life cycle of pellets, which clearly shows the circular use of materials and energy.



**Table 6 Pellet cycle<sup>12</sup>**

The point of the process is that it ends in a closed system. The main advantage of the circular system is that during the extraction of the resource, nothing is taken from the environment but instead the materials available are put to use and at the end of the process so no waste impacts the environment. Companies using the circular model all manage to save energy. By recycling, the transportation is reduced and the planning of the energy resources becomes more predictable. By using recyclable materials and renewable energy sources, these companies also manage to reduce the damage to the environment, thus increasing their competitive advantage, retaining a sustainable economy, and promoting innovation through improvement.

The environmentally friendly and efficient circular model has plenty of potential as the future to process and recycle waste materials that can reduce the burden on the environment and use of scarce energy sources. To ensure the implementation of the circular model it is advised to turn wood over as many times as possible and produce new products and/or use it for energy, as long as it is not contaminated. Therefore, it is worthwhile either to recycle the by-products of the timber industry or use them as energy fuels unless they have been

<sup>12</sup> Source: self-edited

treated with hazardous substances. The eco concept and the circular model contribute to the reduction of useless materials or the decrease of chemicals, thus making it possible to use them multiple times. Naturally, the profitability of the company also plays a role here, since the process of recycling can only be profitable if the price of the recycled material is lower than the price of raw material. It is our goal that most materials and by-products should be recycled or further processed to minimize waste. When recycling not possible due costs or contamination the materials should be used as a renewable energy source could still be addressed.

## **5. Summary – Conclusion**

Companies should concentrate on sustainable management. Companies should look around for greener technologies and materials and they would certainly find alternatives with smaller ecological footprints. If they have a higher price, the processes would definitely allow cost-cutting that could compensate for their higher cost. Marketing should have an important role in promoting sustainability on as wide a scale as possible. With the help of a well-executed marketing strategy, extra costs could be built into the price. With good marketing, products could be sold in a wider circle to conscious consumers because they are produced in an environmentally friendly way. For a conscious consumer, their health and thus the protection of the environment are paramount, so products could reach a wider circle of potential customers. The most important purpose of eco tendencies is sustainability that ensures the quality of the environment the satisfaction of basic needs and the realization of social well-being. The reduction of waste, the large-scale exploitation and utilisation of natural resources are indispensable for sustainable development. By taking advantage of eco tendencies we can reach energy efficiency when production processes use environmentally friendly processes, environment- and health-related harm is reduced, and technology and the materials are used more efficiently.

The use of pellets to produce electricity and heat is increasing in industry. Thus, energy efficiency can be achieved. Recycling makes their use environmentally friendly, their carbon dioxide emission becomes lower than other energy generators. Agricultural by-products could also be used in this pelletization technology. The production of pellets can be easily automated, thus increasing efficiency. The wider use of pellets (e.g. residential pellet furnaces) would reduce the import of heating fuels, ensuring energy efficiency, making it more economical and burden the environment less because importing conventional fuels, uses energy impacts the environment and emits harmful substances when burned. Contrary to gas, the price of pellets is independent of global markets, which would be another advantage for consumers. With the help of renewable energy sources, the country could develop a sustainable energy system, which would be beneficial for the economy. A security of supply and a balanced energy structure could be achieved if the pellets are produced in this country and not intended for export. The comfort from heating with pellets is the same as fossil fuels, so this would not mean any changes either. It is already necessary to supply a certain percentage of energy globally from renewable sources, and this situation will certainly intensify in the future, so there is great potential in the production of biomass-related products as renewable sources. It is for this reason that these technologies should constantly develop and for their production capacities should be increased.

## **6. Acknowledgements**

This study/research was carried out as part of the EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project „Sustainable Material-Management Thematic Network – RING 2017”, as part of the



Széchenyi 2020 program with European Union support and co-financed by the European Social Fund.

## 7. REFERENCES

1. **Dr. NAGY B.** (2011) Újrahasznosítási ismeretek, Szent István Egyetem
2. **Burján Z.** (2010): Pelletfűtés II. Pelletgyártás-Víz- Gáz- Fűtéstechika áprilisi szám, <http://www.pannonpellet.hu/publicistica.php?newsid=978>
3. Comenius Gimnázium <https://gimnazium.comenius.hu/page/menu/3> kémiai anyagok
4. Green Paper on Intergrated Product Policy (2001)  
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2001:0068:FIN:EN:PDF>
5. Hulladékkezelési és Hulladéügyi statisztika 2016-os hivatalos adatok  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics/hu](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/hu)
6. Plastics – the Facts 2017 An analysis of European plastics production, demand and waste data,  
[https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics\\_the\\_facts\\_2017\\_FINAL\\_for\\_website\\_one\\_page.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf)
7. The global outlook for wood pellet markets WPAC Annual Conference, Ottawa, September 2017  
[http://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/03/03-Fiona\\_Matthews.pdf](http://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/03/03-Fiona_Matthews.pdf)
8. <https://futespiac.hu/az-energiahordozok-futoerteke.html>
9. <https://www.matkeramia.hu/egyeb-hu/futesi-modok-oesszehasonlitas/>
10. <https://www.mnnsz.hu/1kwh-villamos-energia-05-kg-szendioxid-kibocsatas/>

Porcsin A. – Szakálosné dr. Mátyás K.

*Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet*

## **A hazai fehér akác erdőterületeinek, az akácméz mennyiségének, illetve a méhcsaládszámok változásának vizsgálata 2000-től napjainkig**

### **ABSZTRAKT**

A fehér akác ma Magyarország erdőterületének közel 24%-án megtalálható. A fafaj erdőhasználati (fahasználati és mellékhaszonvételi) szempontból nagyon értékes. Bár alapvetően egy gyorsan növvő fafajról van szó, fája mégis kitűnő minőségű, kemény és rendkívül tartós. A leglevegőigényesebb fafajunk ebből következően a túlzott nedvességet nehezen tűri, mindezek mellett viszont a talajjal szemben tág tűrésű. Könnyű telepíthetőség és nagy sarjadzóképesség jellemzi, ezenfelül futóhomok és vízmosások megkötésére is alkalmas. Mindezek mellett nemcsak dendromasszája versenyképes más fafajokkal szemben, de méhészeti szempontból is jelentős fafaj. 1981-ben a magyar méztermelés 80%-át az akácméz adta, 2018-ra viszont a fagykár és szárazság miatt ez az arány 50%-ra csökkent. Jó minőségű akácsonál a vágásforduló összes árbevételének 4-7%-át adhatja a méztermelés, gyenge minőségű akácok esetében ez az érték akár 37-95% is lehet. Fontos tehát vizsgálni az erdőállományok elterjedésének alakulását és a méhcsaládok számának változását, illetve az akácméz hozamát évről évre, valamint feltárni az összefüggéseket vagy a befolyásoló tényezőket.

Kulcsszavak: fehér akác, terület, akácméz, méztermelés, méhcsaládszám

### **BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK**

A fehér akác, mint fafaj már régóta megosztó az erdész szakemberek véleménye tekintetében. Megítélésével kapcsolatban többféle véleményt is hallhatunk: vannak, akik ellenzik a fehér akácot és vannak, akik örömdetesnek tartják a jelenlétét és területi növekedését hazánkban. Két meghatározó szakmai vitasorozat is zajlott ez ügyben, az egyik 1955-ben, a másik 2013-ban (Söptei, 2015).

A fafaj mellett szólnak olyan érvek, mint: fájának minősége kiváló, gyors növekedésű és olyan termőhelyek is jó táptalajt biztosítanak számára, ahol az őshonos fajok nem találnák meg létfeltételeiket. Ami az alföldfásításhoz is lényeges szempont volt, hogy a futóhomok és vízmosások megkötésére is alkalmas. Elmondható az is, hogy a méhészek éves bevételének rendkívül nagy százalékát biztosítja. Ezen okok miatt „több tízezreknek biztosít megélhetést”, nyilatkozta Borovics Attila, a 2013-as akácvita kapcsán (Söptei, 2015).

Érdekesség, amely Keresztesi Béla könyvében olvasható, hogy 25% akáccal elegyítve a tulipánfa, vöröstölgy, fekete dió, amerikai ámbrafa, boróka és amerikai kőris növekedése jobb, mint anélkül. Érdemes lenne megvizsgálni, hogy mely egyéb fafajokra van még hasonlóan pozitív hatással.

Negatív következményekkel járt, hogy a kezdeti lelkesedés miatt olyan termőhelyekre is ültették, ahol vagy nem találta meg a számára optimális feltételeket, vagy őshonos növényfajokat veszélyeztet. A kései fagyokra érzékeny. Jelentkezhet egy idő után a „talajuntság” is, amelyet a túlzottan felhalmozódó nitrogén okoz, aminek következtében megindul a talaj mineralizációja. Kiirtása csak vegyszeres kombinált kezeléssel lehetséges, amely költséges és az akác pozitív tulajdonságait szemlélve nem éri meg ezt alkalmazni. Magja sebzés hatására gyorsan kicsírázik és a talajban lévő magbank nemcsak nagy, de sokáig életképes is (Bartha, Szmorad, Tímár, 2014).

Célunk feltárni az összefüggéseket a fehér akác által elfoglalt terület, a méhcsaládszám és a mézmennyiség változásai között, összevetve klimatikus adatsorokkal 2000-től 2019-ig.

## MÓDSZERTAN

Az elemzés megkezdésekor a kutatást megalapozó azon statisztikai adatok összegyűjtése zajlott, amelyek kulcsfontosságúak az összefüggések feltárásához. A méhcsaládszám, az éves mézmennyiség és akácméz mennyiségi adatai, a fehér akác területe hazánkban, illetve időjárási befolyásoló tényezők, pl. azon évek kijelölése amikor az április hónap második felében a hőmérséklet 3°C alá esett.

Elsőként számos, idegennyelvű és magyar szakirodalom, könyvek és diplomamunkák kerültek átnézésre. Söptei Gergely: „A fehér akác megítélésével kapcsolatban kialakult álláspontok elemzése, következtetések levonása” című 2015-ös diplomamunkája az akácvitasorozatokat elemzi és abból a szempontból hasznos információkat tartalmaz ateinketben, hogy látható, milyen tényezők alakították ki a különböző nézőpontokat.

A cikkben az adatok egyik fele a Központi Statisztikai Hivatalnak (továbbiakban: KSH) köszönhető, míg a másik az Országos Magyar Méhészeti Egyesülettől (továbbiakban: OMME) származik. A KSH továbbította a hazai fehér akác állományok területét éves bontásban, a méhcsaládszámokra és mézmennyiségekre vonatkozó adatokat. Az OMME-től érkeztek be mennyiségi információk szintén a méhcsaládszám és mézmennyiség tekintetében. Klimatikus adatsorok az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapján lelhetők fel. 2000-től 2019-ig összegyűjtésre került minden olyan, ahol április 15. után a hőmérséklet 3°C alá csökkent.

A kapott adatsorok évenkénti bontásban rendeztük 2000-től 2019-ig, illetve 2020-ig. A vizsgálat alapját az éves mézmennyiség adta, ezen belül pedig az akácméz százalékos megoszlása. A pontosabb kép érdekében fajlagos mézhozamot számoltunk (éves mézmennyiség/éves méhcsaládszám). Azok az évek lettek kiemelten vizsgálva április-májusi és júniusi hőmérséklet szempontjából, ahol ezek alacsony értéket mutattak.

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

### A hazai fehér akác magyarországi elterjedése

A magyarországi fehér akác területi adatai a KSH honlapján találhatóak meg. Bár több diplomamunkában, cikkben és szakdolgozatban is említésre kerültek, egyikben sem voltak összerendezett formában. A terület növekedés közel lineáris (1. táblázat). Ezen állományok viszont nagyrészt elegyetlenek és egykorúak, feltártságuk pedig alacsony, amely tulajdonságok egyike sem szolgálja a méhészek érdekeit, az ilyen erdők mellékhaszonvételi szempontból kihasználatlanok (Fritsch Ottó, 2009).

*1. táblázat*

**Fehér akác állományok területe éves bontásban 2000-től 2019-ig**

| Év   | Terület (ha) |
|------|--------------|
| 2000 | 364.585      |
| 2001 | 370.874      |
| 2002 | 383.629      |
| 2003 | 394.883      |
| 2004 | 405.145      |
| 2005 | 413.873      |
| 2006 | 422.619      |
| 2007 | 432.038      |
| 2008 | 437.435      |
| 2009 | 443.367      |
| 2010 | 446.832      |
| 2011 | 447.144      |

(1. táblázat folytatása)

| Év   | Terület (ha) |
|------|--------------|
| 2012 | 447.904      |
| 2013 | 450.114      |
| 2014 | 451.772      |
| 2015 | 455.174      |
| 2016 | 454.808      |
| 2017 | 455.457      |
| 2018 | 454.209      |
| 2019 | 454.521      |

„A jelen dokumentum a Központi Statisztikai Hivatal ([www.ksh.hu](http://www.ksh.hu)) 5.3.4. Tej-, tojás-, gyapjú-, toll- és méztermelés (1857-) egyedi kérésre összeállított táblázatos adatállomány felhasználásával készült. A dokumentumban foglalt számítások és az azokból levont következtetések kizárólag Szakálosné dr. Mátyás Katalin és Porcsin Alexandra, mint szerző szellemi termékei.”

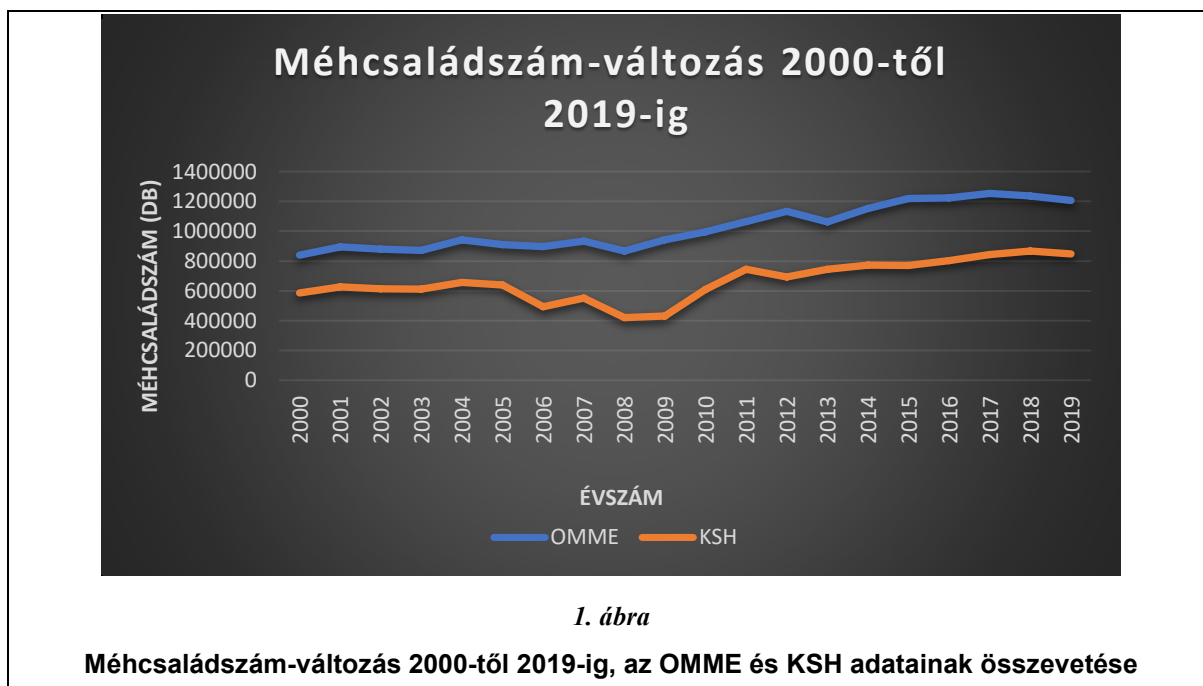
### A hazai fehér akác gazdasági jelentősége mellékhaszonvételi szempontból

A fehér akác mellékhaszonvételi szempontból az akácméz miatt kiemelkedő jelentőségű. Az akácméz éves mennyiségében szerepet játszik az időjárás, a méhcsaládszám, a méhcsaládok egészségi állapota, a terület megközelíthetősége, feltártsága, és a termőhelyi viszonyok.

A fehér akác és az akácméz európai szinten ismertté teszi hazánkat. 2014-ben hungarikummá nyilvánították. Az akácmézet kémiai tulajdonságai és alkotóelemei szerint is vizsgálták egy kutatás során. Magas fruktóztartalma (44,15%) miatt nehezen, csak évek múltán kristályosodik, ami a vásárlók körében fokozza népszerűségét. Az említett vizsgálat eredményeként a fehér akác a Pfund színskálán a 0-8 mm tartományba került, amit nagyjából „fehér méz”-nek fordíthatunk. Az akácméz pH értéke 3,90 körül van. A vizsgált minták 50,26% fruktózt és 36,33% glükózt tartalmaztak. Kifejezetten ajánlják köhögésre, illetve gyomorsav-túltengés csillapítására (Zs. Kasper-szél, M. Amtmann, A. Takáts, Á. Kardos-Neumann, 2003).

### Méhcsaládszám-változás a 2000-től 2019-ig

Az OMME és a KSH adatsorai eltérnek (1. ábra). Ennek fő oka az, hogy amíg az OMME a méhészekről származó bejelentések alapján készít adattáblákat és statisztikákat, addig a KSH az éves általános mezőgazdasági összeírásnál a gazdaságokat vizsgálja. Itt az ország 13633 mezőgazdasági körzetéből 648 került kijelölésre, ahol háztól-házig jártak az összeírók. Ezután kérdőív is kitöltésre került minden addigi és 2019-ben alakult új gazdaságnál. „A gazdaság olyan műszakilag-gazdaságilag önálló egység, amely egységes irányítás alatt áll, és mezőgazdasági terméket állít elő, és (...)” legalább tart 5 méhcsaládot. Emiatt a teljes mintába az összes egyéni gazdaság 5,0%-a került bele (KSH, 2019).



### ***Mézőstermelés mennyiségi változásának vizsgálata a 2000-től 2019-ig***

Az éves mézőstermelés alacsony volt a 2010-es, 2012-es, 2016-os, 2019-es és 2020-as években. Az akácméző százalékos megoszlása pedig alacsony volt 2005-ben, 2006-ban, 2010-ben, 2012-ben, 2014-ben, 2019-ben és 2020-ban (2. táblázat). Ennek az oka elsősorban a kései fagyokban, illetve a mézőstermelők fokozott rajzásában keresendő.

**2. táblázat**

### **Éves mézőstermelésből az akácméző százalékos megoszlása**

| Évszám | Mézőstermelés (tonna) |                     |                         |                             |
|--------|-----------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------|
|        | KSH adatai (tonna)    | OMME adatai (tonna) | Akácméző megoszlása (%) | Akácméző megoszlása (tonna) |
| 2000   | 15165                 | 15200               | 54                      | 8208                        |
| 2001   | 11337                 | 15300               | 54                      | 8262                        |
| 2002   | 15200                 | 18000               | 54                      | 9720                        |
| 2003   | 21000                 | 21900               | 54                      | 11826                       |
| 2004   | 19504                 | 19500               | 50                      | 9750                        |
| 2005   | 19714                 | 19700               | 32                      | 6304                        |
| 2006   | 17319                 | 22500               | 35                      | 7875                        |
| 2007   | 15996                 | 24500               | 50                      | 12250                       |
| 2008   | 22394                 | 26700               | 40                      | 10680                       |
| 2009   | 22000                 | 22500               | 55                      | 12375                       |
| 2010   | 16500                 | 16500               | 19                      | 3135                        |
| 2011   | 24500                 | 24500               | 40                      | 9800                        |
| 2012   | 17500                 | 17500               | 10                      | 1750                        |
| 2013   | 18500                 | 18500               | 40                      | 7400                        |
| 2014   | 24400                 | 24400               | 32                      | 7808                        |
| 2015   | 30700                 | 32400               | 55                      | 17820                       |
| 2016   | 24000                 | 24000               | 45                      | 10800                       |
| 2017   | 32000                 | 32000               | 45                      | 14400                       |
| 2018   | 29000                 | 29000               | 45                      | 13050                       |
| 2019   | -                     | 18000               | 27                      | 4860                        |
| 2020   | -                     | 14000               | 29                      | 4060                        |

### Fajlagos mézhozam számítása

Az éves méztermelés mennyiségi adatai önmagukban nem elegendőek ahhoz, hogy következtetéseket lehessen levonni belőlük. Annak érdekében, hogy átláthatóbb legyen az elmúlt 20 év változása a fehér akác nektártermelése tekintetében, ki kell számolni a fajlagos mézhozamot, amely alacsonynak mondható 2010-ben, 2012-ben, és 2019-ben. (3. táblázat)

3. táblázat

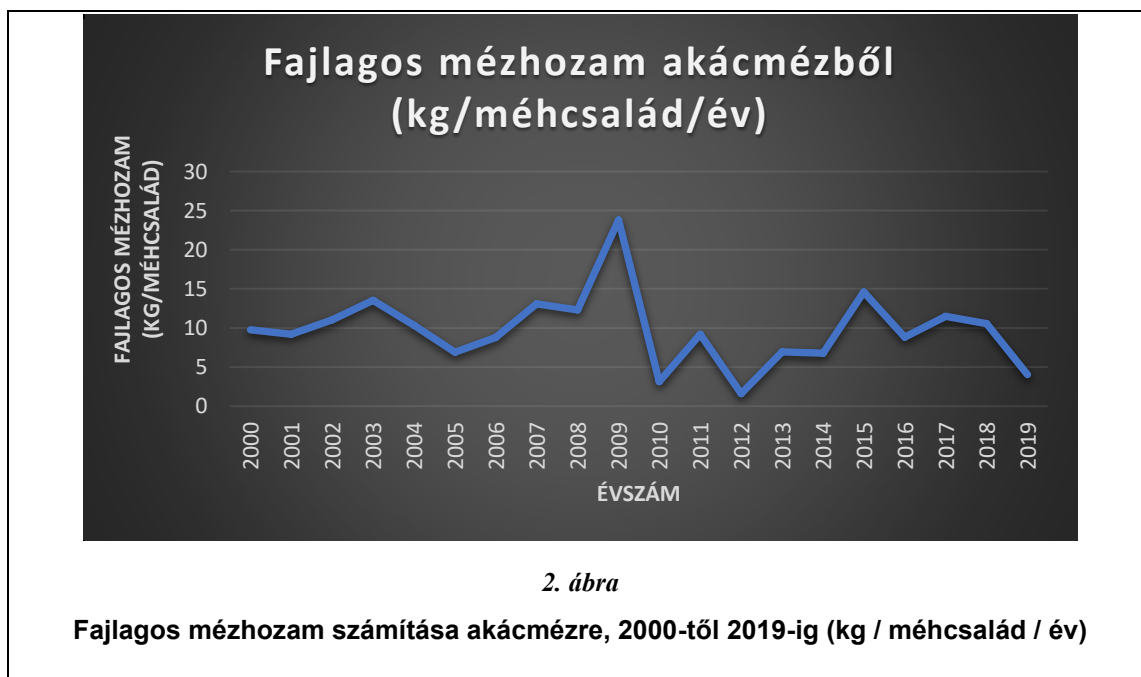
Fajlagos mézhozam számítás az OMME és a KSH adatai alapján

| Évszám | Méhesaládszám (db) (OMME) | Mézmennyiség (tonna) (OMME) | Fajlagos mézhozam (kg/család) | Méhesaládszám (db) (KSH) | Mézmennyiség (tonna) (KSH) | Fajlagos mézhozam (kg/család) |
|--------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 2000   | 840235                    | 15200                       | 18.1                          | 587121                   | 15165                      | 25.8                          |
| 2001   | 896563                    | 15300                       | 17.1                          | 627000                   | 11337                      | 18.1                          |
| 2002   | 881610                    | 18000                       | 20.4                          | 614000                   | 15200                      | 24.8                          |
| 2003   | 872650                    | 21900                       | 25.1                          | 612000                   | 21000                      | 34.3                          |
| 2004   | 942316                    | 19500                       | 20.7                          | 658000                   | 19504                      | 29.6                          |
| 2005   | 910873                    | 19700                       | 21.6                          | 641000                   | 19714                      | 30.8                          |
| 2006   | 897670                    | 22500                       | 25.1                          | 493000                   | 17319                      | 35.1                          |
| 2007   | 934486                    | 24500                       | 26.2                          | 553000                   | 15996                      | 28.9                          |
| 2008   | 868135                    | 26700                       | 30.8                          | 421000                   | 22394                      | 53.2                          |
| 2009   | 943824                    | 22500                       | 23.8                          | 432300                   | 22000                      | 50.9                          |
| 2010   | 997022                    | 16500                       | 16.5                          | 610500                   | 16500                      | 27.0                          |
| 2011   | 1065860                   | 24500                       | 23.0                          | 745700                   | 24500                      | 32.9                          |
| 2012   | 1088590                   | 17500                       | 16.1                          | 694400                   | 17500                      | 25.2                          |
| 2013   | 1063066                   | 18500                       | 17.4                          | 744600                   | 18500                      | 24.8                          |
| 2014   | 1152822                   | 24400                       | 21.2                          | 773000                   | 24400                      | 31.6                          |
| 2015   | 1219011                   | 32400                       | 26.6                          | 771600                   | 30700                      | 39.8                          |
| 2016   | 1224257                   | 24000                       | 19.6                          | 804100                   | 24000                      | 29.8                          |
| 2017   | 1253364                   | 32000                       | 25.5                          | 844000                   | 32000                      | 37.9                          |
| 2018   | 1236665                   | 29000                       | 23.5                          | 867000                   | 29000                      | 33.4                          |
| 2019   | 1206478                   | 18000                       | 14.9                          |                          |                            |                               |

„A jelen dokumentum a Központi Statisztikai Hivatal ([www.ksh.hu](http://www.ksh.hu)) Állatállomány, éves beszámoló (2000-től 2019) egyedi kérésre összeállított táblázatos adatállomány felhasználásával készült. A dokumentumban foglalt számítások és az azokból levont következtetések kizárólag Szakálosné dr. Mátyás Katalin és Porcsin Alexandra, mint szerző szellemi termékei.”

A számítások az akácmézre is elvégeztük. A méhekre jellemző az úgynevezett „virághűség”. A „virághűség”, amelyet úgy kell értelmezni, hogy a beporzó rovar - jelen esetben a házi méh –, addig látogatja egyetlen növényfaj virágait, amíg azokban elegendő táplálékot talál.

Az akácméz fajlagos mézhozama alacsonyabb volt 2005-ben, 2010-ben, 2012-ben, 2016-ban és 2019-ben is az azokat megelőző, illetve az azokat követő évekhez képest. (2. ábra)



### **Klíma adatsorok**

Ismerve a fehér akác érzékenységét a kései fagyokra és figyelembe véve, hogy a másodvirágzás már nem, vagy csak kevés nektárt hoz, érdemes vizsgálni a napi minimum hőmérsékletet az adott évben április közepétől június elejéig. A kései fagyok hatalmas anyagi károkat okoznak a méhészeknek, amelyek kiemelkedőek voltak 2010-ben, 2012-ben, 2019-ben és idén, 2020-ban is. Az adatsorokat a met.hu-ról gyűjtöttem össze, az öt mérőállomás (Budapest, Debrecen, Szeged, Pécs, Szombathely) napi bontású minimum hőmérséklet-adatait néztem, elsősorban április 15.-től kezdve.

A 2001-ben, 2005-ben, 2007-ben, 2010-ben, 2012-ben, 2016-ban, 2019-ben, 2020-ban fordultak elő jellemzően olyan napok, amikor a minimum napi hőmérséklet 3°C alatt volt.

### **KONKLÚZIÓ**

Azokban az években, ahol az akácméz százalékos megoszlása a teljes mézmennyiségben alacsony volt (~30%), ott kimutatható, hogy voltak 3°C alatti napok április második hetétől kezdődően (2005, 2006, 2010, 2012, 2014, 2019). Ezzel szemben például hiába voltak 3 °C alatti napok 2001-ben, 2007-ben és 2017-ben, sem az akácméz százalékos megoszlása, sem a fajlagos akácmézhozam nem volt alacsony ezekben az években. Ez azzal magyarázható, hogy a hűvös áprilisi időjárást ellensúlyozni tudja a melegebb májusi-júniusi hőmérséklet (4. táblázat). Mivel az elfagyásból következő kevés akácméz mennyisége nagy bevételkiesést okoz, érdemes lenne kutatni, hogy lehet-e és milyen módon szelektálni a fehér akácot fagyűrész és nektárhozam tekintetében.

A hazai fehér akác állományok teljes kihasználtsága érdekében törekednünk kell nemcsak a fehér akác számára optimális termőhelyre ültetésére, de a többkorú állományok kialakítására és feltártságuk növelésére is. Frisch Ottó – Méhlegelő, akác (2009) című könyvében kifejti, hogy a virágzás időtartama akár 4 nappal is megnövelhető az árnyékos oldal és a hőktalan hatás következtében eltérő virágnyílás kezdési időpontja miatt.

Összesítő táblázat az eddig összegyűjtött adatokból

| Vizsgálandó<br>évszám | Akácmez %-os<br>megoszlása a teljes<br>mézmennyiségből | Fajlagos<br>mézhozam<br>(kg/család) az<br>OMME adatai<br>alapján | Fajlagos<br>mézhozam<br>(kg/család) a<br>KSH adatai<br>alapján | Fajlagos<br>akácmez-<br>hozam<br>(kg/család) az<br>OMME adatai<br>alapján |
|-----------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 2001                  | 54%                                                    | 17,1                                                             | 18,1                                                           | 9,2                                                                       |
| 2005                  | 32%                                                    | 21,6                                                             | 30,8                                                           | 6,9                                                                       |
| 2007                  | 50%                                                    | 26,2                                                             | 28,9                                                           | 13,1                                                                      |
| 2010                  | 19%                                                    | 16,5                                                             | 27,0                                                           | 3,1                                                                       |
| 2012                  | 10%                                                    | 16,1                                                             | 25,2                                                           | 1,6                                                                       |
| 2016                  | 45%                                                    | 19,6                                                             | 29,8                                                           | 8,8                                                                       |
| 2017                  | 45%                                                    | 25,5                                                             | 37,9                                                           | 11,5                                                                      |
| 2019                  | 27%                                                    | 14,9                                                             | 21,2                                                           | 4,0                                                                       |

A táblázatban megjelenített években mind voltak 3°C alatti minimum hőmérsékletű napok áprilisban, amelyek okozhattak volna elfagyást.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## HIVATKOZÁSOK

1. **Keresztesi B.:** „Az akác” 1984.
2. **Tompai K. – Sziklai O.:** „Erdészeti növénynevelés” 1981.
3. **Söptei G.:** „A fehér akác megítélésével kapcsolatban kialakult álláspontok elemzése, következtetések levonása” 2015., 17-62.
4. **Országos Meteorológiai Szolgálat:** 2020.  
<http://www.met.hu>
5. **NFK:** 2020.  
([https://nfk.gov.hu/Magyarország\\_erdeivel\\_kapcsolatos\\_adatok\\_news\\_513](https://nfk.gov.hu/Magyarország_erdeivel_kapcsolatos_adatok_news_513) )
6. **KSH:** 2020.  
[http://www.ksh.hu/docs/hun/agrar/html/tabl1\\_5\\_3\\_4.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/agrar/html/tabl1_5_3_4.html)  
[http://statinfo.ksh.hu/Statinfo/help/KSH\\_Statinfo\\_Felhasznaloi\\_Kezikonyv.pdf](http://statinfo.ksh.hu/Statinfo/help/KSH_Statinfo_Felhasznaloi_Kezikonyv.pdf)  
[http://www.ksh.hu/apps/shop.lista?p\\_lang=HU&p\\_temakor\\_kod=KSH&p\\_kapcsolodo=allat](http://www.ksh.hu/apps/shop.lista?p_lang=HU&p_temakor_kod=KSH&p_kapcsolodo=allat)  
[http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_ome002a.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ome002a.html)  
[http://www.ksh.hu/apps/shop.kiadvany?p\\_kiadvany\\_id=1052179&p\\_temakor\\_kod=KSH&p\\_lang=HU](http://www.ksh.hu/apps/shop.kiadvany?p_kiadvany_id=1052179&p_temakor_kod=KSH&p_lang=HU)
7. **Országos Magyar Méhészeti Egyesület** (email konzultáció), 2020.  
<http://www.omme.hu/wp-content/uploads/2014/10/Monitoring-2019.pdf>
8. **Bartha D., Szomorad F., Tímár G.:** A fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) hazai helyzetének elemzése, 2014., 9-12.
9. **Zs.Kasper-Szél, M. Amtmann, A. Takáts, Á. Kardos-Neumann:** A comparative analysis of hungarian robinia and milkweed honeys based on their chemical and physical characteristics, 2003., 4



## **A BIOMETÁN ÉS A HIDROGÉN HATÁSA A FÖLDGÁZRA BESZABÁLYOZOTT GÁZKÉSZÜLÉKEKBEN**

### **BEVEZETÉS**

Napjaink egyik legsürgetőbb globális kihívása az éghajlatváltozás megállítása. A hatást okozó, légkörbe kibocsátott gázok egyik jelentős csoportja az energiatartalomhoz, és ez által a végfelhasználó tüzelőberendezésekhez köthető. Európai szinten egyre erősödik az a törekvés, hogy a hagyományos fosszilis energiahordozókat egyre nagyobb mértékben helyettesítsük megújuló forrásból származókkal, az ipari méretű villamos energia termeléstől kezdődően a kommunális és lakossági szektorokig bezárólag. A közvetlen eltüzelésen alapuló gázfogyasztó készülékek legnagyobb mértékű ÜHG kibocsátása az eltüzelés során keletkező szén-dioxidból származik. A gázhálózatba bevezetendő megújuló gázok a földgáz legígéretesebb helyettesítői, a biometán és a hidrogén jogos prioritást kap a kormányzat részéről is, azonban meg kell vizsgálni, hogy a földgázra szabályozott készülékekre ez pontosan milyen hatást gyakorol. A biometán a szén körforgása miatt karbon-semlegesnek tekinthető, a hidrogén eltüzelésekor pedig eleve nem képződik szén-dioxid. Az Európai Unióban számos projektről hallani, mely a kérdés vizsgálatát tűzte ki célul, de konkrét, akár a hazai gyakorlatba is bevezethető eredmények még nincsenek. [9] A szerzők ennek a témakörnek az elemzését, probléma felvetését tűzték ki célul a hidrogénnel kevert biometán esetében, ugyanis az eddigi szakirodalmi tapasztalatok alapján a hidrogén csak igen korlátozott mennyiségben lesz a földgázrendszerbe keverhető, ellentétben a földgáz minőségével megegyező biometánnal. A legjobb, legnagyobb betáplálási hányadot képviselő alternatíva tehát a két forrás összekapcsolása.

**Kulcsszavak:** biometán, hidrogén, földgáz, energiatartalom, gázkeverék, tüzeléstechnikai jellemzők

### **PROBLÉMA FELVETÉS**

A földgázszektor egyik legnagyobb felhasználói szegmense az EU-ban, és Magyarországon is a lakossági szegmens. Az a szektor, mely a 3,26 millió lakossági fogyasztót 2018-ban 3,35 millió m<sup>3</sup> földgázzal látta el itthon. [1] A számokból érezhető a probléma súlya, hiszen a lakosságnál található gázfogyasztó készülékek igen jelentős számban vannak jelen, és nem állíthatók át, illetve csak jelentős gazdasági beruházás mellett, más gázminőség eltüzelésére. A kérdés tehát adott, mi az a még megengedhető gázminőség, mely a földgázra szabályozott készülékekben megfelelő energiahatékonysággal és biztonsággal eltüzelhető. Nem beszélve arról a további előnyről, hogy ezek a gázok a földgázhálózatba táplálva tárolhatóak is, ellentétben például a villamos energiával.

Az eltüzelési technológiák tehát adottak, a vizsgálatok célja, hogy összehasonlításra kerüljenek az új üzemanyag keverékek tüzeléstechnikai paraméterei. Ezekből megkaphatók azok az előzetes válaszok, hogy milyen készülék üzemi paraméterek területén jelezhető előre probléma, és melyeknél nem valószínűsíthető. Jelen szakmai cikk nem hivatott vizsgálni a hidrogénnel kevert biometán szerkezeti anyagokra gyakorolt hatását, kizárólag a

tüzeléstechnika paraméterek viselkedésére irányul, azaz az égésméleti ismeretek alapján von le bizonyos következtetéseket.

Az alábbi 1. táblázat egy 2013-as kutatás eredményeit szemlélteti, melyet mi is kiindulási alapként vettünk a vizsgálataink során.

1. táblázat [2] [3]

**A hidrogén hatása a földgázra beszabályozott készülékekben**

| Fogyasztói berendezések                  | Probléma                                                                                                   |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Háztartási készülékek                    | Vélhetően nem okoz problémát 10% H <sub>2</sub> -tartalomig, azonban kismértékű módosítás lehet szükséges. |
| Ipari előkeveréses égők                  | Vélhetően nem okoz problémát 10% H <sub>2</sub> -tartalomig, azonban kismértékű módosítás lehet szükséges. |
| Előkeverés nélküli égők (kazán, kemence) | 5% H <sub>2</sub> -tartalom felett módosítás lehet szükséges és eseti értékelés szükséges.                 |
| Gázmotor és gázturbina                   | Fejlesztések lehetnek szükségesek a megváltozott gázösszetétel és a H <sub>2</sub> jelenléte miatt.        |
| CNG tartályok                            | 2% H <sub>2</sub> -tartalom felett anyagprobléma jelentkezhet.                                             |

A fentiek alapján az alábbi megállapítások, következtetések tehetők:

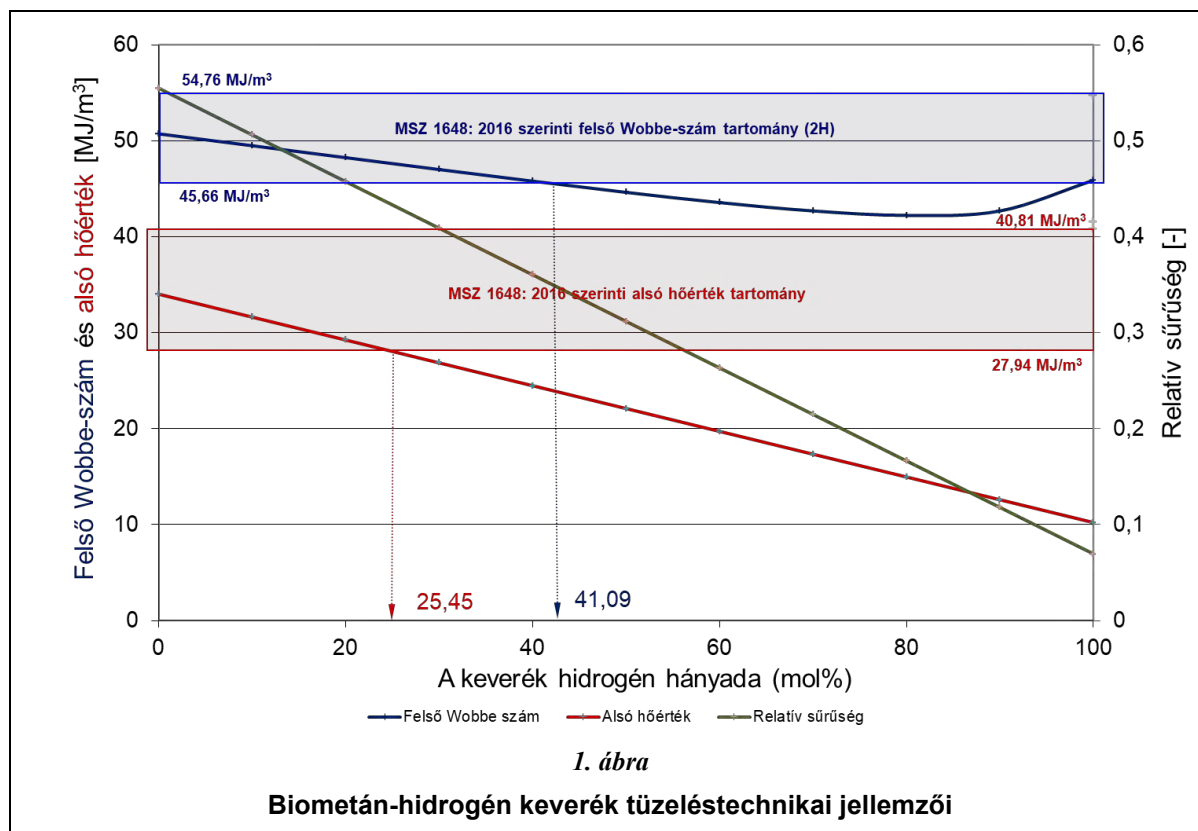
- A háztartási és kommunális gázfogyasztó készülékek nagy része vélhetően probléma nélkül képes kezelni a földgáz-hidrogén gázkeveréket minimális (5-10%) bekeverési arány esetében;
- Külön kell vizsgálni az atmoszférikus levegő előkeveréses, valamint a ventilációs égők viselkedését;
- Az ipari égőkben vélhetően nem okoz problémát a 10% alatti hidrogén részarány, de minden esetben egyedi, a gyártó előírásait is figyelembe vevő felülvizsgálat, átszabályozás lehet szükséges;
- A legérzékenyebbek a H<sub>2</sub>-tartalomra vonatkozóan a gázmotorok és gázturbinák, esetükben mindig egyedi mérlegelés, eseti alapú vizsgálat, átszabályozás lehet szükséges;
- A gázmotorokban a hidrogéntartalom hatására bekövetkező növekvő reakcióképesség és lángterjedési sebesség növeli az égési csúcsnyomást, illetve a hidrogéntartalom csökkenti a metánszámot. Ez teljesítménycsökkenéshez, megnövekedett motorkopáshoz, megnövekvő NO<sub>x</sub> kibocsátáshoz, valamint a kopogásállóság csökkenéséhez vezet;
- A gázturbinák nagyon érzékenyek a hidrogén jelenlétére, általánosságban 5 tf% alatti hidrogéntartalmat határoznak meg a gyártók határértékként;
- Megállapítható, hogy a 10% hidrogéntartalmú földgáz gázfogyasztó készülékekre vonatkozó kockázata két tényezőtől függ alapvetően: a primer levegőmennyiségtől, valamint a földgáz Wobbe-számától;
- A legérzékenyebbek a hidrogén tartalom változására az atmoszférikus égők;
- Az eddigi nemzetközi vizsgálati eredmények alapján nem tehető általános érvényű megállapítás a maximálisan megengedhető hidrogéntartalomra vonatkozóan!

A problémát alapvetően két szemszögből kell vizsgálni, a készülék technika, valamint a hálózati gáz minőségének oldaláról.

A készülék technika oldala jelenti azon gázkészülék vizsgálatokat, melyeket tanúsító és minősítő szervezetek végeznek a gázkészülékek adott országban történő forgalomba hozatala előtt meghatározott vizsgálati szabványok alapján. A gázkészülék vizsgálatok azon az elven alapulnak, hogy a készülék működését meghatározott minőségű referenciagázzal, valamint az

ahhoz tartozó, a szélsőséges gázminőségeket jelző határgázokkal és vizsgálynymásokkal vizsgálják. Amennyiben ezen gázokkal a készülék működése kielégítő, akkor a célországban az adott, arra szabályozott gázcsoport gázával működtetve forgalomba hozható. Itt azért meg kell említeni, hogy a kérdés ettől összetettebb, hiszen a fogyasztóknál működnek 20-30 évvel ezelőtt beüzemelt készülékek is, és sokszor azok karbantartási gyakoriságát sem ismerjük. A kockázat tehát adott. Az egyre növekvő hidrogén részarány egyre növekvő lángterjedési sebességet is jelent, fokozatosan megnövelve az égőbe történő lángvisszagyulladás kockázatát. Sajnos előfordulhatnak olyan koros készülékek is a fogyasztóknál, melyekben nincs, vagy nem működőképes az égésbiztosító, lángőr egység.

A gázminőségi előírások oldaláról közelítve a kérdést megállapítható, hogy a földgázhálózaton keresztül szolgáltatott gáz minőségének szűk határok között való tartása a rendszerüzemeltetők alapvető érdeke. A gáz minőségében bekövetkező zavaró változások a végfelhasználó berendezések biztonságos és energiahatékony működését tennék kérdésessé. A földgáztól eltérő minőségű éghető gázok földgázrendszerbe történő betáplálásának szabályozása során a követelményrendszer középpontjában továbbra is a szolgáltatott gáz(keverék) minőségi paramétereinek kell állni. Az Európában leginkább használt szabványok és előírások az EN 437 jelű szabványra, azaz a Wobbe-számnak való megfeleltetésre épülnek. [4] A szabvány azt az elvet követi, hogy egy földgázcsoporton belül a földgáz égési jellemzőinek csak olyan mértékű változása engedhető meg, amely a gázkészülékek működését nem befolyásolja, a készülék vagy az égő átalakítását nem teszi szükségessé. Az eredeti minőségi csoportba tartozó földgáztól eltérő gázt csak a készülék megfelelő átállítása (alkatrészcsere, átszerelés, szabályozás) után szabad szolgáltatni. A Magyarországon is döntően szolgáltatásra kerülő H gázcsoport esetében a szabvány a visszagyulladás határgázában 23%-os hidrogén tartalommal történő vizsgálatot ír elő 1999 óta, azonban ez nem jelent szorosan vett garanciát arra, hogy az azt követően üzembe állított készülékek ezt a hatást folyamatosan és hosszú távon képesek lennének elviselni.



Amennyiben egy tiszta biometán-hidrogén gázkeveréket veszünk alapul, akkor a keverékben legfeljebb 25,45 mol% hidrogén lehet, hogy a keverék még éppen megfeleljen a H gázcsoportra vonatkozó hőérték, és 41,09 mol% hidrogén lehet, hogy még éppen megfeleljen a Wobbe-szám követelményeinek, azaz a gázcsoportra megengedett tartományokon belül maradjon. (1. ábra) Mindebből következik, hogy egy átlagos összetételű biometán esetében megközelítőleg 25 mol% körül van az a maximálisan betáplálható hidrogén részarány, mely még a H gázcsoporton belüli gázkeveréket eredményez, azaz nem történik csoportváltás. Mindezt visszaigazolja az EN 437 szabványban szereplő határgázok 20, illetve 23 mol%-os maximális részarányát is. Megjegyezzük, hogy ez az elméleti szám csupán a gázminőség oldaláról közelített, a készülék működési oldaláról, annak viselkedéséről (kiemelten a megváltozó lángterjedési sebességről) nem ad információt!

## A HIDROGÉN, A BIOMETÁN ÉS A FÖLDGÁZ GÁZMINŐSÉGI JELLEMZŐI

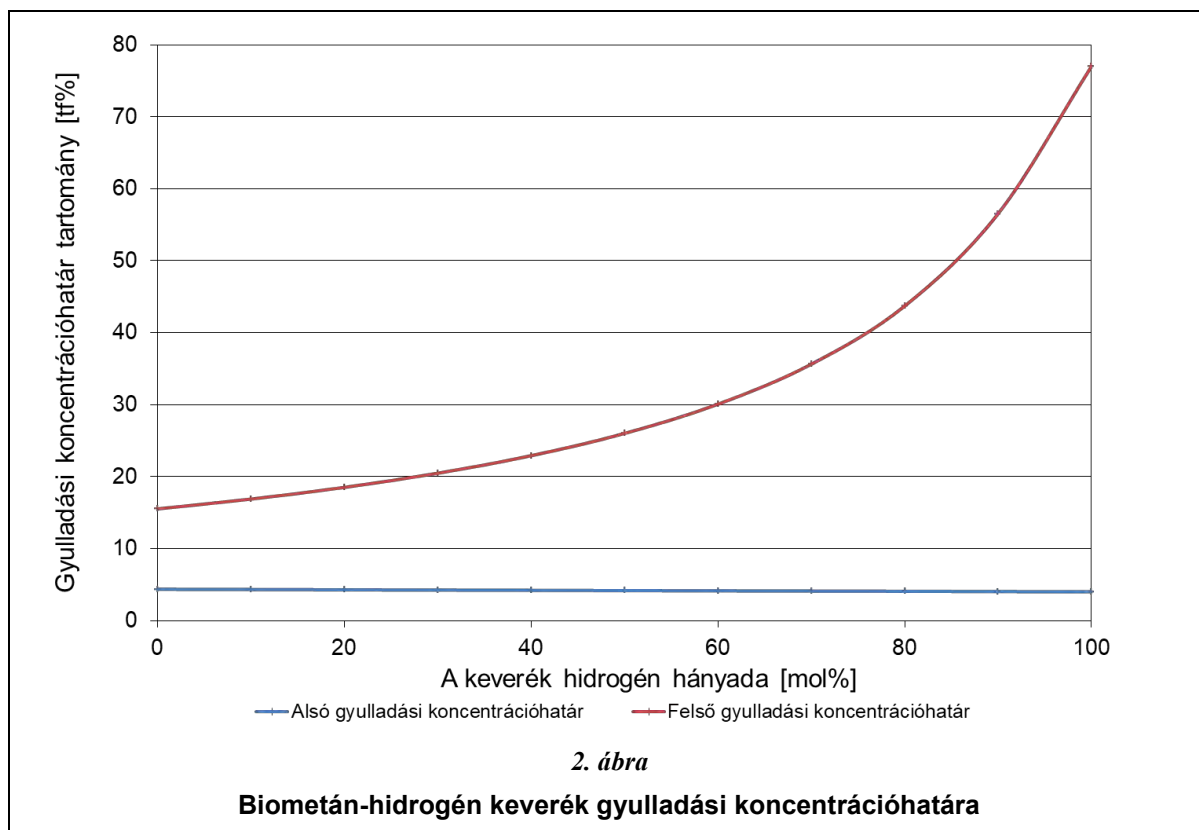
A 2. táblázat a hidrogén, egy nagy tisztaságú biometán, és egy tipikus orosz földgáz fizikai és tüzeléstechnikai tulajdonságait mutatja. A táblázatból egyértelműen kitűnnek azok a paraméterek, melyek az eltüzelés során probléma forrásai lehetnek. Mivel a hidrogénnek nagyon kicsi a relatív sűrűsége a levegőhöz képest (lásd. 1. ábra), ezért szivárgás esetén sokkal könnyebben szétválhat a metántól, és robbanóképes közeget képezhet a felállítási helyiségben. Egységnyi térfogatra vetített energiatartalma csupán harmada a biometánénak, azonban Wobbe-száma, mely a gázkeverékek cserélhetőségének egyik legjellemzőbb paramétere, 9,5%-ban marad csupán el. A leglényegesebb különbség a gázok lángterjedési sebességében és gyulladási koncentráció tartományában keresendő, mivel a hidrogén 10,5-ször gyorsabban ég levegőben, mint a biometán, vagy a földgáz. A gázkészülékekben történő eltüzeléskor ez lesz az egyik legmeghatározóbb változó, mely erősen lekorlátozza a megengedhető bekeverhető mennyiségeket.

2. táblázat [5] [6]

### A hidrogén, a biometán és az orosz földgáz tüzeléstechnikai jellemzőinek összehasonlítása

| Tulajdonság                          | Mértékegység                               | Hidrogén (H <sub>2</sub> ) | Biometán (CH <sub>4</sub> ) | Földgáz (2H orosz) |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Moláris tömeg                        | kg/kmol                                    | 2,016                      | 16,043                      | 16,409             |
| Sűrűség (15 °C; p <sub>n</sub> )     | kg/m <sup>3</sup>                          | 0,090                      | 0,717                       | 0,695              |
| Relatív sűrűség                      | -                                          | 0,070                      | 0,555                       | 0,567              |
| Alsó hőérték (15/15 °C)              | MJ/m <sup>3</sup><br>(kWh/m <sup>3</sup> ) | 10,223<br>(2,840)          | 34,016<br>(9,449)           | 34,205<br>(9,501)  |
| Felső hőérték (15/15 °C)             | MJ/m <sup>3</sup><br>(kWh/m <sup>3</sup> ) | 12,102<br>(3,362)          | 37,781<br>(10,495)          | 37,973<br>(10,548) |
| Alsó Wobbe-szám                      | MJ/m <sup>3</sup><br>(kWh/m <sup>3</sup> ) | 38,758<br>(10,496)         | 45,668<br>(12,686)          | 45,406<br>(12,613) |
| Felső Wobbe-szám                     | MJ/m <sup>3</sup><br>(kWh/m <sup>3</sup> ) | 45,880<br>(12,744)         | 50,724<br>(14,090)          | 50,407<br>(14,002) |
| Lángterjedési sebesség               | cm/s                                       | ~267                       | ~35                         | ~34                |
| Gyulladási koncentrációhatár (20 °C) | tf%                                        | 4,0-77,0                   | 4,4-15,0                    | 4,3-15,6           |
| Öngyulladási hőmérséklet             | °C                                         | 560                        | 595                         |                    |
| Fajl. elméleti oxigénszükséglet      | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>             | 0,499                      | 2,003                       | 2,014              |
| Fajl. elméleti levegőszükséglet      | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>             | 2,383                      | 9,565                       | 9,614              |
| Keletkező CO <sub>2</sub>            | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>             | 0,001                      | 0,998                       | 1,009              |
| Metánszám                            | -                                          | 0,0                        | 100,0                       | 92,5               |

A gyulladási koncentrációhatár igen jelentős eltolódása a felső határok irányába, az elégtelenül környezetbe, vagy tüztérbe áramló hidrogén gáz veszélyességét mutatja. (2. ábra) Látható, hogy az alsó gyulladási koncentrációhatár szinte nem változik, azonban a felső határérték exponenciálisan növekedik a hidrogén dúsulásával.



A hidrogén minimális gyújtási energiája körülbelül tízszer alacsonyabb, mint a metáné, azaz sokkal könnyebben meggyújtható, azonban az öngyulladási hőmérsékletük meglehetősen hasonló ( $H_2$ : 560 °C;  $CH_4$ : 595 °C) [7]. Ennek következtében a biometán-hidrogén keverékek könnyebben begyulladhatnak, mint a metán, tehát robbanásveszély szempontjából nagyobb kockázatot jelentenek.

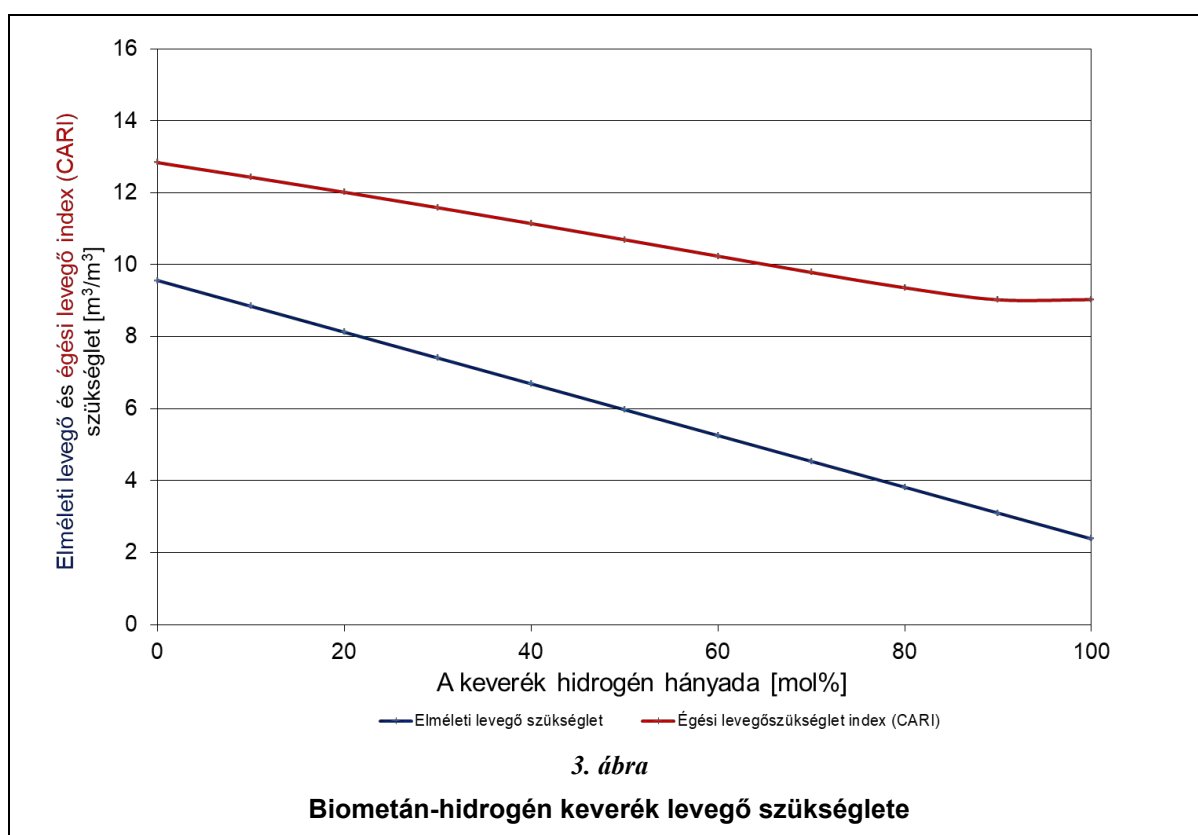
A metánszám a belső égésű gázmotorokban való eltűzelhetőség jellemző mutatószáma, mely szintén jelentős eltérést mutat, ugyanis a tiszta biometán metánszáma 100, míg a hidrogéné 0. Ebből adódik, hogy a gázmotorokban és gépjárművekben történő eltűzeléskor ennek kiemelt szerepe lesz, ugyanis a nem elégséges metánszámú tüzelőanyag kopogást, hatásfok csökkenést és megnövekedő károsanyag kibocsátást is eredményez.

## A VIZSGÁLT GÁZOK ELTÜZELÉSÉNEK JELLEMZŐI

A biometán tulajdonságai közel megegyeznek a hálózatban szolgáltatott  $H_2$  gázminőséggel, azaz a biometán korlátozás nélkül betáplálható a földgázrendszerbe. A hidrogén esetében ezt már nem mondhatjuk el, mivel fizikai és kémiai tulajdonságai a korábban bemutatott módon jelentősen eltérnek a földgázétól. Mindez azt jelenti, hogy ha ezt a gázt hozzákeverjük a biometánhoz, akkor megváltozik maga az égési folyamat is. Gyakorlatilag ma az EU-ban telepített valamennyi lakossági és kereskedelembe forgalmazott gázkészülék földgázzal való üzemelésre terveztek. Éppen ezért a hidrogén biometánba történő bekeverése során az égési folyamatokra gyakorolt hatása igen fontos kritérium, melyek elméleti vizsgálata az alábbiakban található.

A szakirodalmi háttér bemutatásakor már felszínre került, hogy a hidrogénes biometán gázfogyasztó készülékekre vonatkozó kockázata két tényezőtől függ alapvetően: a földgáz Wobbe-számától, valamint az eltüzeléshez igénybe vett primer levegőmennyiségtől. A Wobbe-szám kérdése már tisztázásra került, a H gázminőségi csoportnál legfeljebb 25 mol% hidrogén keverhető a biometánhoz. Bár a Wobbe-szám megfelelő lenne 41 mol% hidrogén esetén is, de a gáz egységnyi energiatartalma már nem érné el a H gázminőség alsó határát.

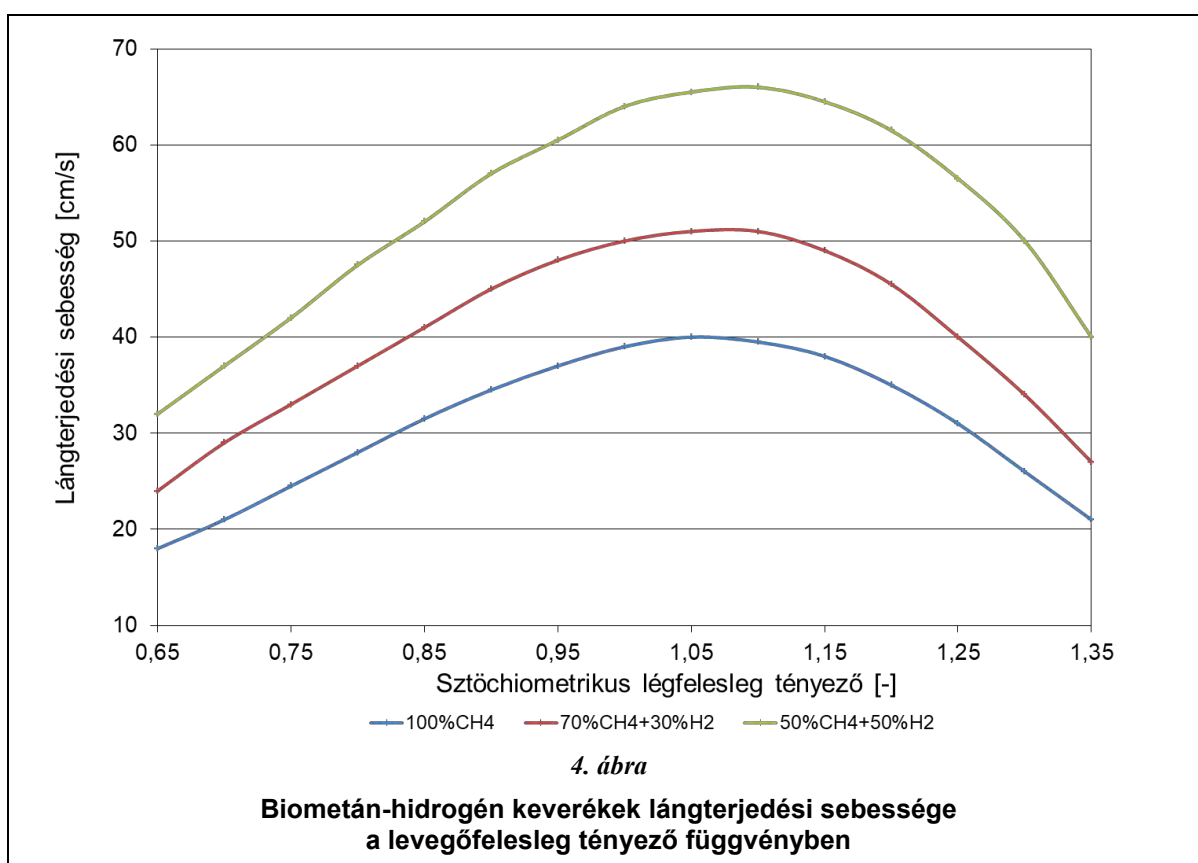
A 3. ábra a gázkeverék eltüzeléséhez szükséges elméleti sztöchiometrikus levegőmennyiséget, és az elméleti égési levegő indexet (CARI - Combustion Air Requirement Index) tartalmazza, mely jelzi, hogy mennyi levegőre van szükség a tüzelőanyag-gáz sztöchiometrikus elégetéséhez. A mértékegység nélküli CARI mutatószám matematikailag korrelál a Wobbe-indexhez, mivel az adott összetételű gáz elméleti levegőszükségletének és a relatív sűrűség négyzetgyökének hányadosaként áll elő. Látható, hogy míg az elméleti levegőszükséglet lineárisan csökken a növekvő hidrogén részarány mellett, addig a CARI index ettől kisebb mértékben csökken. [8]



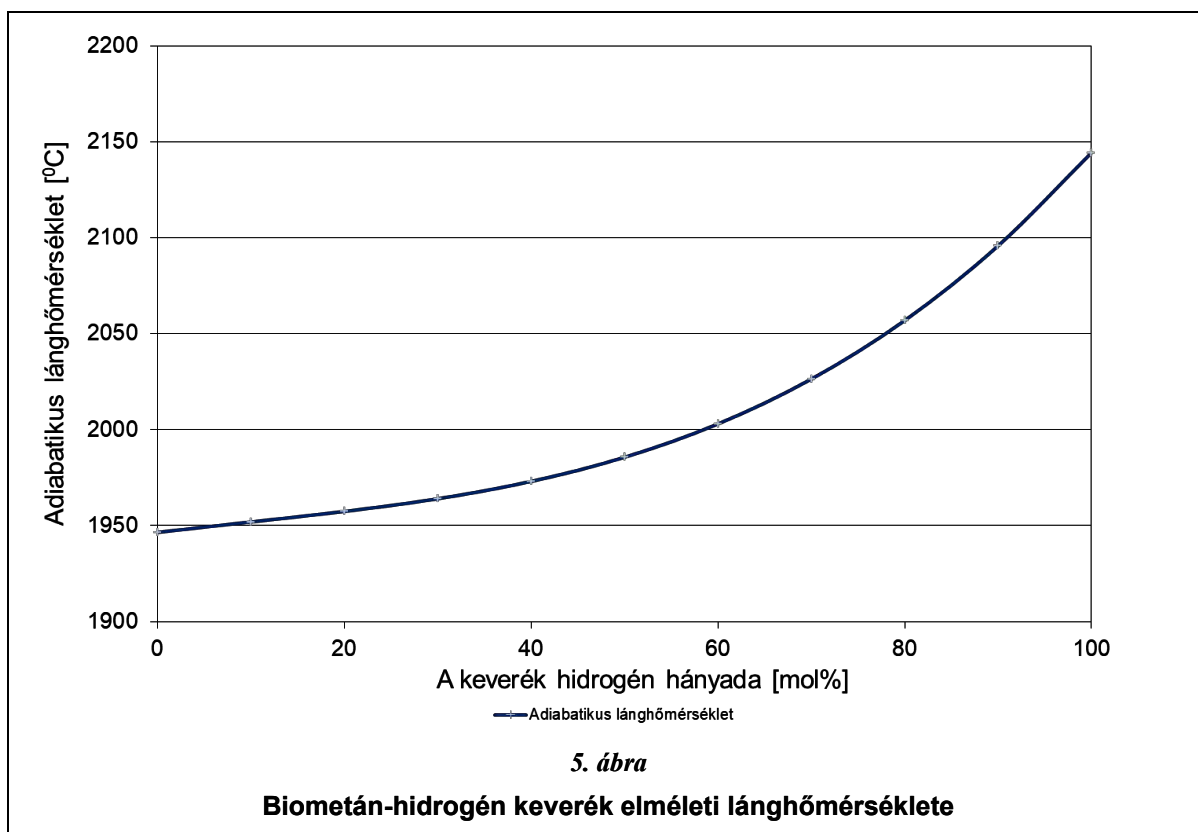
A gázkészülék legnagyobb darabszámban a lakossági szektorban található. Ezekben a készülékekben jellemzően kis sebességgel áramlik a gáz az égőkiömlő felülethez, ez által lamináris égési sebességről kell beszélni. Az égőhöz hozzávezetett gáz sebességének egybe kell esnie az adott gázra jellemző lamináris égési sebességgel, ellenkező esetben a láng leszakad, vagy visszagyullad az égőbe, károsítva annak szerkezetét. A készülékek biztonságos üzeme szempontjából ez lényeges kérdés, tehát érdemes vizsgálat alá vonni. Nem szabad továbbá arról a hatásról sem elfeledkezni, amit ún. „kioltási átmérőnek” neveznek. Az előkeveréses (injektoros) égőknél az égési reakció zóna viszonylag közel helyezkedik el az égő kiömlő felületéhez, mely egyben hőt is von el a lángtól. A gáz összetételéből adódó növekvő égési sebesség a lángot egyre jobban közelíti az égőfejhez, mely egyre nagyobb mértékű hőelvonást is jelent. Ha az égőfejen lévő kiáramlási

keresztmetszet túl nagy, akkor az visszagyulladást eredményez. Ennek megfelelően, ha elég kicsi az átmérő, a visszagyulladás megelőzhető. A minimális „kioltási átmérő” a biometán esetében 3,5 mm, a hidrogénél mindössze 0,8 mm. [8]

A 4. ábra mutatja egy biometán, egy 70% biometán és 30% hidrogén, valamint egy 50% biometán és 50% hidrogén összetételű gáz esetében a lángterjedési sebesség értékeit. Látható, hogy a legnagyobb értékek 10% légfesleg körül adódnak, azaz itt a legideálisabb a gáz és a levegő keveréke a tüzeléstechnikai folyamatok szempontjából. Egyértelmű, hogy a kialakuló legmagasabb lángterjedési sebesség a biometán esetében 40 cm/s körüli, de egy 50-50%-os elegy esetében ez már 1,6-szoros érték, melyet a készülék égője már nem képes tolerálni, és a láng visszagyulladhat. Megállapítható, hogy a lángterjedési sebesség vizsgálata elengedhetetlen követelmény. [9]



Az 5. ábra az elméleti adiabatikus lánghőmérsékletet mutatja a biometán és hidrogén különböző arányú keverékeiben. Értékének a meghatározásakor nem kerül figyelembe vételre a rendszer térfogatának változása (növekedése) a hőmérséklet emelkedés hatására. Látható, hogy a tiszta metán és a tiszta hidrogén lánghőmérsékletek között közel 200 °C különbség adódik, mely nem lineárisan változik. A korábban vizsgált, maximum 25 mol% bekeverési aránynál ez az érték még viszonylag alacsony, 10-20 °C, mely a gázkészülékek szempontjából elhanyagolható hatást eredményez. [9]

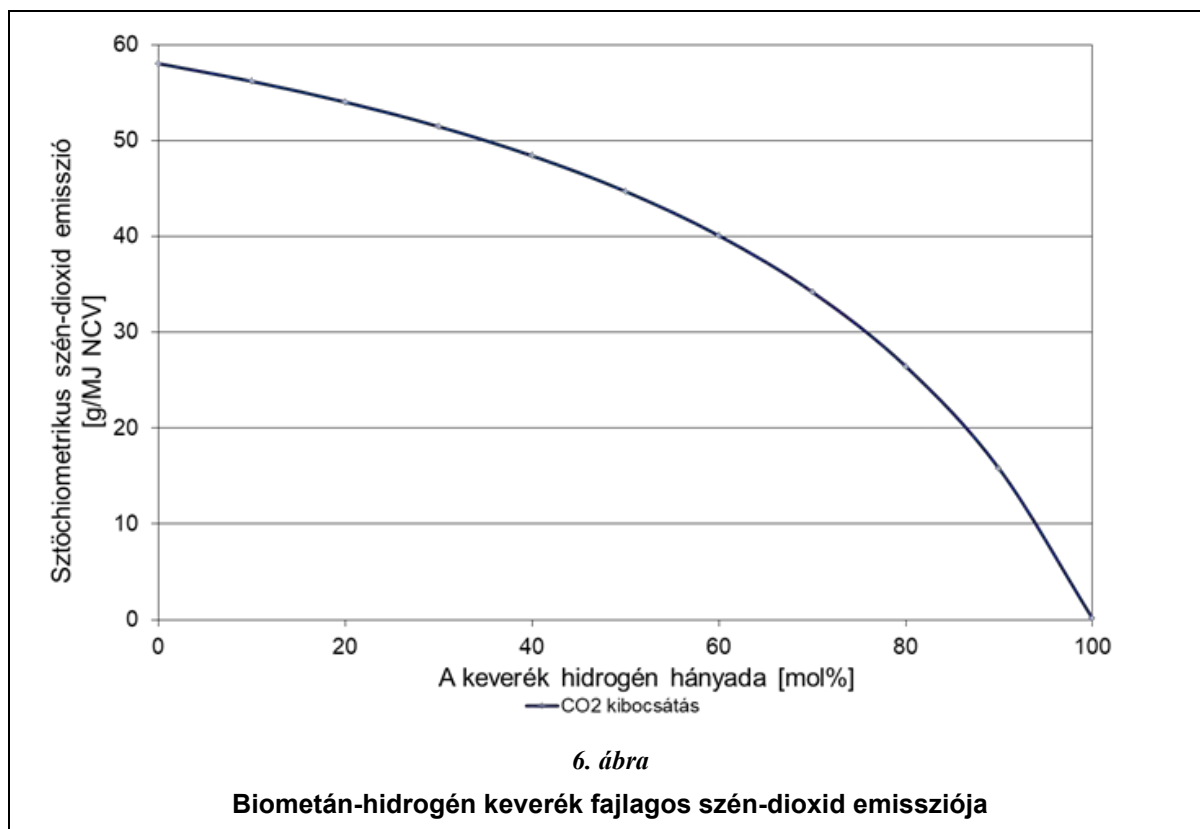


## SZENNYEZŐANYAG KIBOCSÁTÁS

A készülékek üzemeltetése során azért lenne célszerű alkalmazni biometán-hidrogén keveréket, hogy csökkenthető legyen a fosszilis földgáz elégetéséből a légkörbe kerülő szén-dioxid mennyisége. A 6. ábra az elméleti levegőmennyiség és a gáz alsó hőértéke alapján kalkulált szén-dioxid emissziót mutatja g/MJ mértékegységben. A tiszta metán 58,03 g/MJ  $\text{CO}_2$  kibocsátási értéke (15°C;  $p_n$ ) 0,13 g/MJ-ra csökkenthető a tiszta hidrogén alkalmazásával. Megjegyzés: a hidrogén égéstermék minimális szén-dioxid tartalma az égéshez felhasznált levegő szén-dioxid tartalma miatt nem zérus. Az általunk vizsgált max. 25 mol%-os bekeverési aránynál 52,73 g/MJ érték érhető el, mely 5,3 g/MJ megtakarítást eredményez. Ha figyelembe vesszük, hogy a biometán „zérósemleges” kibocsátással rendelkezik, akkor valójában -5,3 g/MJ értékkel kell figyelembe vennünk előjel helyesen a környezeti terhelés szempontjából.

Az égetéssel kapcsolatos szennyezőanyag-kibocsátás tekintetében a szén-dioxidon túl csak a szén-monoxid és a nitrogén-oxid kibocsátás releváns. A szén-monoxid alapvetően a tökéletlen égés, azaz a túl kevés égési levegő többlet, vagy a túl magas tüztérhőmérséklet miatt képződik. Ha ezeket a tényezőket ki tudjuk szűrni a folyamatból, akkor képződési mennyisége nem lesz meghatározó. Amennyiben nem szabályozzuk át a készülék levegő ellátását a hidrogénes gáz betáplálása esetén, akkor a többlet levegőfelesleg nem engedi majd a szén-monoxid képződését. A tüztér hőmérséklete arányos a láng hőmérséklettel, melynél láttuk, hogy a max. 25 mol% hidrogén bekeverés mellett nem emelkedik jelentősen, azaz ez a tényező sem igazán releváns. Nem szabad viszont figyelmen kívül hagyni, hogy a túl magas levegőfelesleg viszont hűti a tüztér, ez által a láng egyre instabilabbá válik, ami lokálisan tökéletlen égéshez, azaz szén-monoxid képződéshez vezethet.





Földgáztüzelésnél a termikus, azaz a magas tüztér hőmérséklet miatt megjelenő nitrogén-oxidok képződése lehet meghatározó. A keverékben a hidrogén megjelenése magasabb égési hőmérsékletet és magasabb levegőfelesleget eredményez, így több oxigén áll rendelkezésre a reakciózónában. Mivel a hidrogén részarány növekedése az egységnyi energiatartalmát is csökkenti a gáznak, ezért a felszabaduló energia, és ezzel együtt a tüztérhőmérséklet is alacsonyabb lesz, ha nem változtatunk az égőhöz vezetett gáz mennyiségén. Tipikus helyzet lehet a lakossági szektorban. Mindez a nitrogén-oxidok képződésének valószínűségét is csökkenti. Nem igaz ez viszont azokra az égésszabályozással ellátott berendezésekre, melyek beavatkoznak a levegőellátásba is. Itt a helyi hőmérséklet növekedése miatt akár magasabb  $\text{NO}_x$  emisszió is várható. [9]

## KÖVETKEZTETÉSEK

A biometán-hidrogén keverék megfelelő környezetbarát alternatívája lehet a földgáz részbeni kiváltásának, azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni a keverék földgáztól akár jelentősen eltérő fizikai-kémiai, valamint tüzeléstechnikai tulajdonságait, valamint biztonsági feltételeit. Az égésméleti vizsgálatok előre mutatnak az alkalmazhatóság szempontjából, de önmagukban csak támpontot és iránymutatást adhatnak, a tényleges készülék vizsgálatokat nem tudják kiváltani. Nyilvánvaló, hogy a kérdést még az előtt meg kell válaszolni, mielőtt ténylegesen alkalmazásra kerül a lakossági gázfogyasztói szektorban.

Meg kell különböztetnünk azon gázkészülék technikákat, melyek automatikus tüzelés szabályozó rendszerrel vannak ellátva, azaz bizonyos mértékben igazodni tudnak a változó gázminőséghez, valamint azt a nagyszámú, főként lakossági gázkészülék parkot, melyekben egyrészt semmilyen automatikus szabályozó rendszer nincs, másrészt részleges előkeveréses égőket tartalmaz jelentős számban. Ekkor a megváltozó gázösszetétel mellett a légszükséglet

nem, vagy csak minimális mértékben változik, miközben a tüzelőanyag energiatartalma akár jelentősebb mértékben is.

Nagy valószínűséggel kijelenthető, hogy a biometán-hidrogén keverékek meghatározott mértékben alkalmasak a lakossági energiaszektor dekarbonizációjára, de erőteljesen figyelembe kell venni a meglévő gázkészülék park által diktált korlátozó követelményeket is. Bizonyos összetétel határértékig a metán-hidrogén keverékek nem okoznak biztonsági és tüzeléstechnikai kockázatot, de a magas hidrogén részarány egyértelműen csak a meglévő készülékpark lecserélésével lesz járható út. Ezekhez, a tisztán hidrogénnel üzemeltetett gázkészülékekhez is elindultak az előkészületek, például hamarosan megjelenik a hidrogénre, mint tüzelőgázra vonatkozó európai szabvány, mely a tisztán hidrogén üzemű kazánok biztonságos alkalmazását fogja előre vetíteni.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOM

1. **MEKH** Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal: A magyar földgázrendszer 2018. évi adatai; <http://www.mekh.hu/a-magyar-foldgazrendszer-2018-evi-adatai>
2. **Smith, Byrne, Coates, Linton, van Alphen:** Identifying the commercial, technical and regulatory issues for injecting renewable gas in Australian distribution gas networks, Research Report, 2017.
3. **Altfeld, K. , Pinchbeck, D.:** Admissible Hydrogen Concentrations in Natural Gas Systems, HIPS – the paper, 2013.
4. **MSZ EN 437:2019** Vizsgálógázok, vizsgálónyomások, készülékkategóriák.
5. **Szunyog, I.:** A biogázok földgáz közszolgáltatásban történő alkalmazásának minőségi feltételrendszere Magyarországon; PhD értekezés, 2009.
6. **Galyas A.B.:** Hidrogén a földgázhálózatban – Fikció vagy már a valóság?, 26. Dunagáz Konferencia és Kiállítás, Visegrád, 2018.
7. **Schröder, V., Askar, E., Tashqin, T., Habib, A.K.:** „Sicherheitstechnische Eigenschaften von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen“, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 2539, 2016.
8. **Jones, H.R.N.:** The Application of Combustion Principles to Domestic Burner Design. Taylor & Francis, 1989.
9. **THyGA project** Testing Hydrogen admixture for Gas Applications: Impact of hydrogen admixture on combustion processes – Part I: Theory Deliverable: D2.2 Status: Final, 27th of June, 2020.

Zsófia Kóczán

*University of Sopron, Paper research institute,*

## **APPLICABILITY OF AFM IN PAPER RESEARCH**

### **ABSTRACT**

Nowadays, there is a growing demand for paper to be used ever in different areas of industry/ To solve this, paper needs to be endowed with different properties that will make it more applicable in each area. In the paper industry there are a lots of materials and technologies which can increase the advantageous properties of paper, such as fillers, sizing agents, or smoothing. All these properties can be observed with machines which have been developed to test paper. In this study, we deviated from the general equipment which used for paper examinations. We used atomic force microscopy (AFM) to examine surface of paper in the nanometer size range.

### **INTRODUCTION**

#### **Atomic Force Microscopy**

The AFM is a very-high-resolution type of microscope, with a final resolution equal to a fraction of a nanometer. The mechanical probe “touches” the surface of the sample, to gather information. The AFM was invented in 1982 by IBM scientists. The first AFM which was available commercially was introduced in 1989. [1]

The AFM has three, main functions: force measurement, topographic imaging, and material manipulation. [1]

In the case of force measurement, the AFM can be used to measure the forces between the probe and the sample. Using force spectroscopy, we can examine the mechanical properties of the material, like the Young's modulus, which measures stiffness.

For imaging purposes, it can create a high-resolution three-dimensional image of the surface (topography) from the forces exerted by the surface on the probe. [1]

The forces between tip and sample can be used to change the properties of the sample with a controlled way. For example, it can use atomic manipulation, scanning probe lithography and the cells local stimulation. [1]

The major difference between AFM and other microscopy technologies is that AFM does not use lenses or electron beams. Therefore, it is not limited in spatial resolution due to diffraction or aberrations. It is not necessary to prepare the space for guiding the electron beam (by creating a vacuum) or marking the sample. [1]

### **Paper research**

AFM has already been used for various studies in the field of paper research. In one research, thermal aging studies were made on the cellulose insulation paper of a power transformer using AFM. [2] In another study examined pulp. In this case they examined the surface properties of spruce kraft pulp cooked for different times as well as the bleached pulps. [3] In another research, the AFM was used to examine the cellulosic fibres from bleached Eucalyptus globulus kraft pulp. [4]

### **Overall objectives**

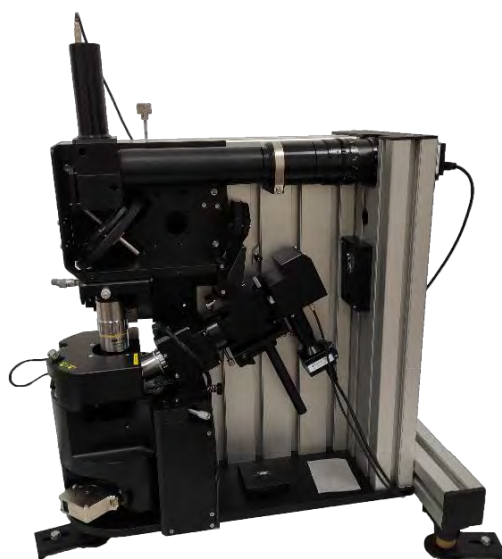
In this study we explored the use of AFM in Paper investigation which is a key element of paper research studies focusing on the components and the geometry of the surface.

## **MATERIALS AND METHODS**

We used an AFM produced by Horiba France SAS to examine paper samples It included an AFM head and the AFM Smart SPM.

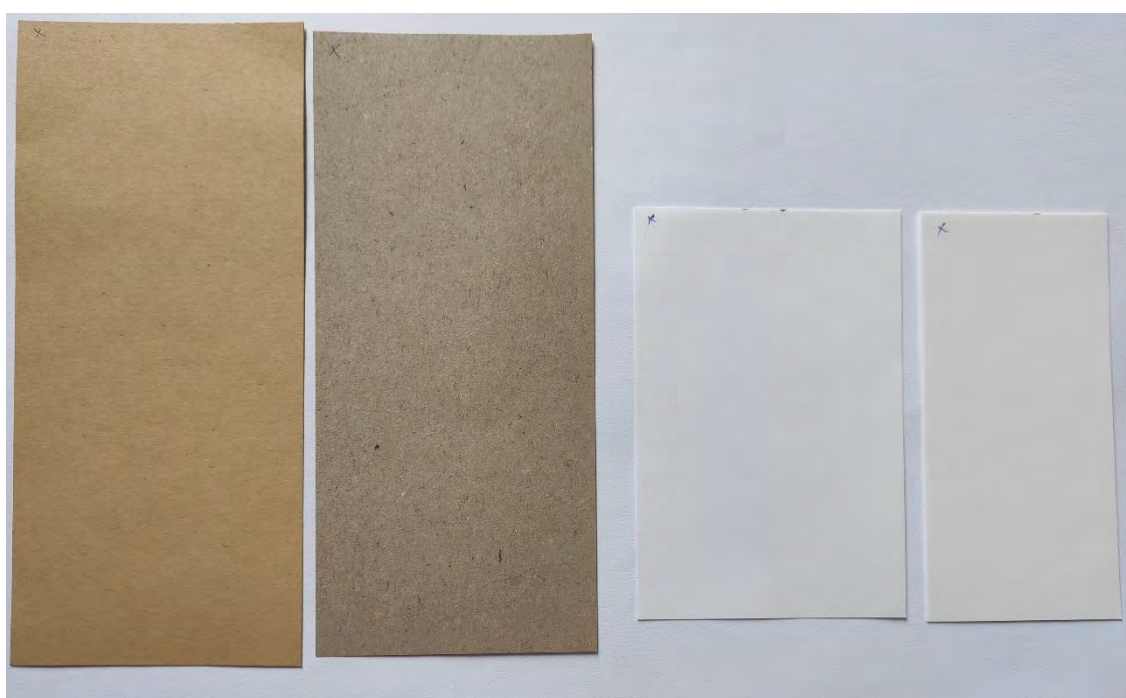
*Fig 1*

**Atomic Force Microscopy by Horiba.**



For AFM imaging we used aluminum tips. Our tips were made by MikroMasch.

In this study we examined four different types of paper. The paper samples are shown in Fig. 2. The samples are shown from left to right. First is a brown paper with a  $150 \text{ g/m}^2$  grammage, which seems to be made from secondary fiber material. The next type is a  $90 \text{ g/m}^2$  paper made from recycled materials., making its color greyish. Third type is a  $120 \text{ g/m}^2$  smoothed paper. which is very soft paper to the touch. The fourth type is a thicker paper, with  $230 \text{ g/m}^2$  grammage. This is a coated paper because of the surface is very shiny. For each sample, the test was performed on a  $5 \times 5 \text{ }\mu\text{m}$  surface.



*Fig. 2*

**The types of the examined paper samples.**

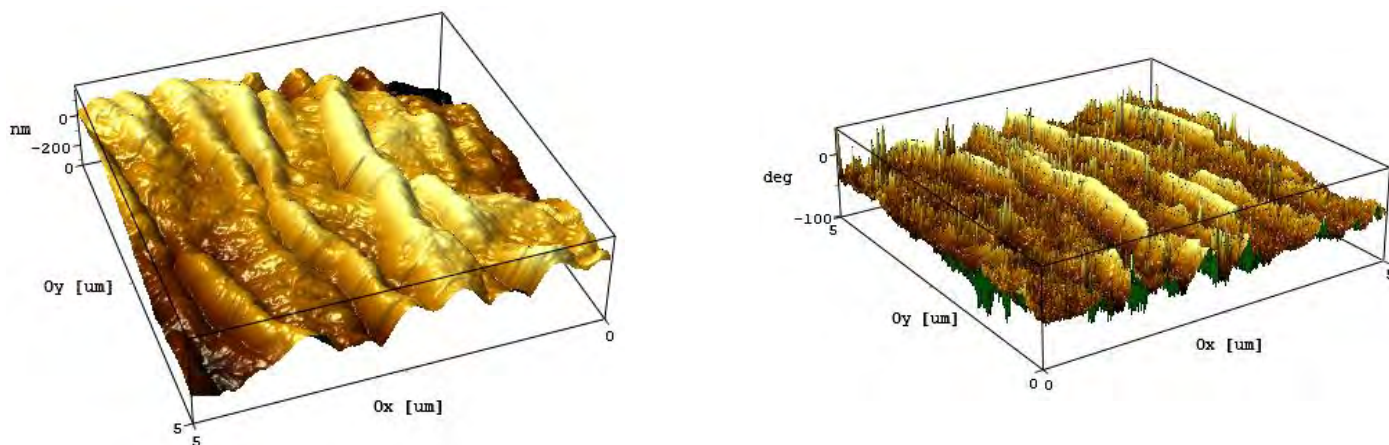
## RESULTS

### The examination

Fig. 3 on the far left shows the height of the brown paper sample height, while the picture on the right shows the phase of the sample. The surface is not too smooth. The picture shows that there are a lot of different components. The related parts that are deeper in the dark places, while higher in lighter parts. If we compare the height of the picture with the phase image, we also see these related parts. We assumed that these are portions of the fiber. Between the fibers there are different materials. These can be fillers and starch particles.

The phase image depends on the interaction between the tip of the probe and surface of the paper sample. It depends on the properties of the surface, like adhesive or stiffness properties.

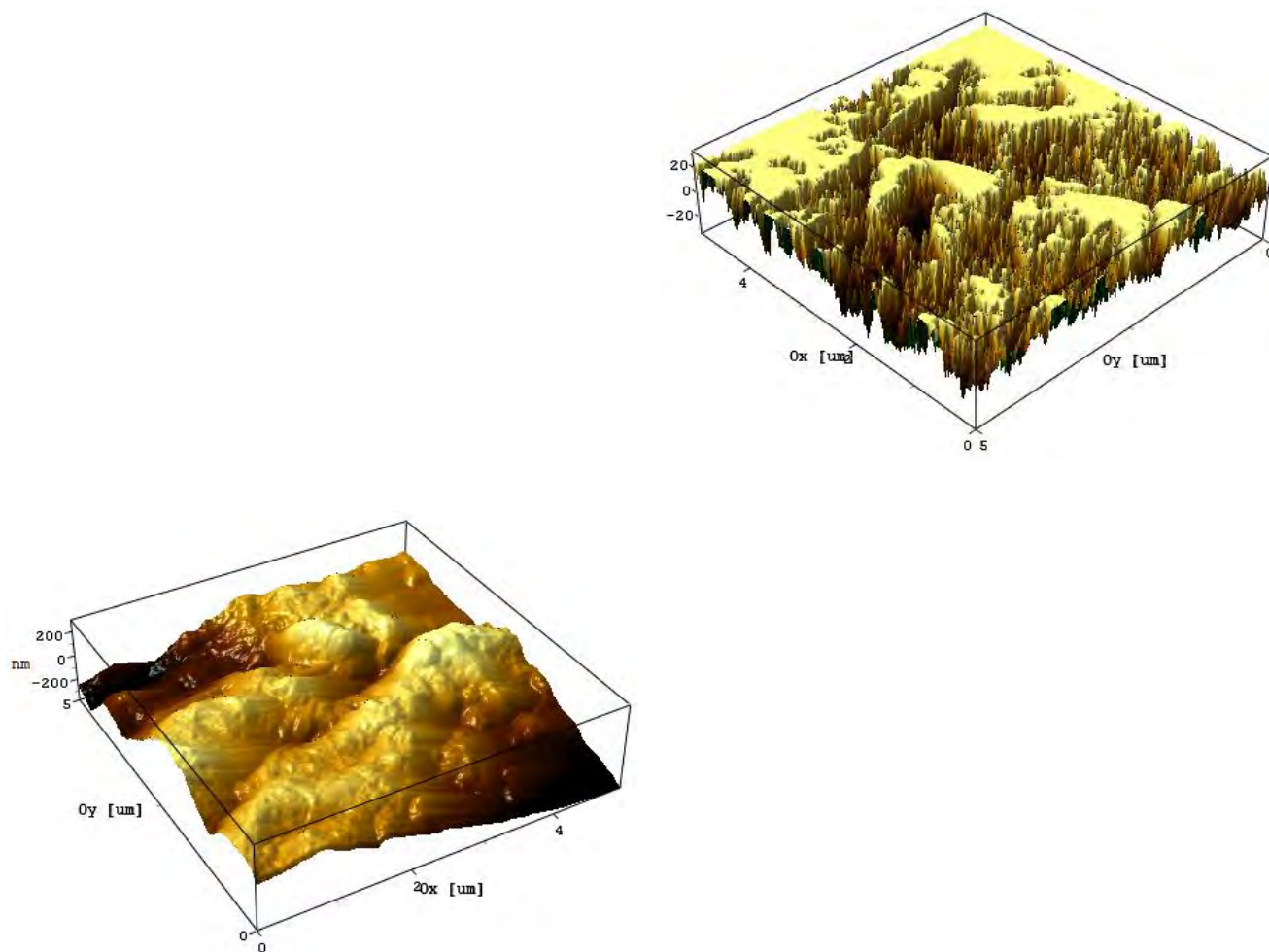
[5]



*Fig. 3*

**Picture of the height of the first sample (left) and its phase (right).**

The Fig. 4 shows the second, gray sample's height and phase. We can see this sample has rougher surface than the previous sample. using a scale of values ranging from -200 to 200 nm. On the picture of phase, we can observe large contiguous areas. These may indicate fillers which form an even part of the paper. Other areas where we see fluctuations may be starch granules and other additives of the paper.

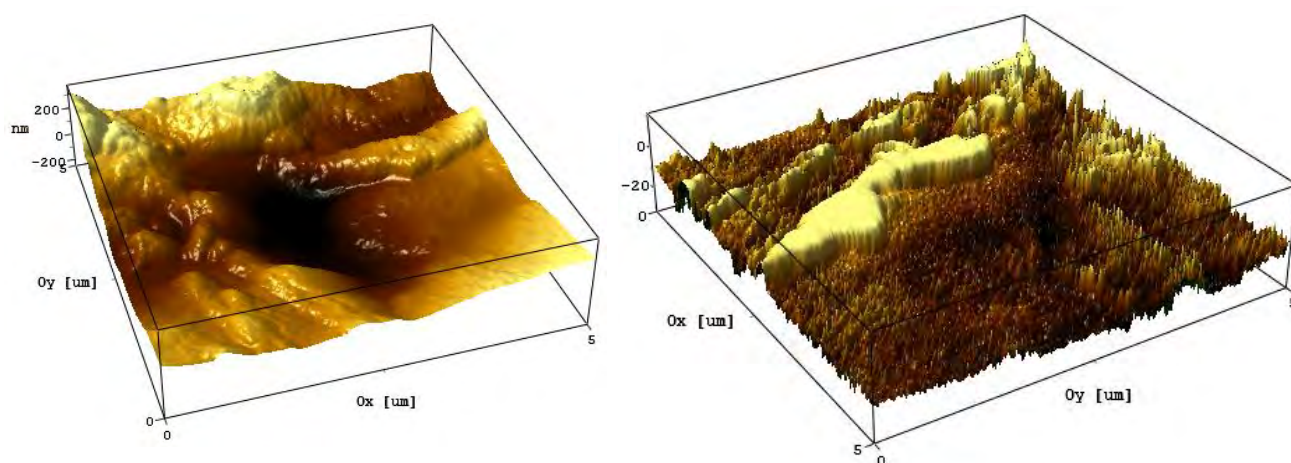


*Fig. 4*

The picture of the second sample height (left) and phase (right).



The next sample is a white smoothed paper. If we touch this paper, we feel it is very soft, but in the picture, we see that at the nanometres size it has a varied surface. In the picture of phase, we see a contiguous area, which can be a fiber or fillers, starch grains, and sizing agents.



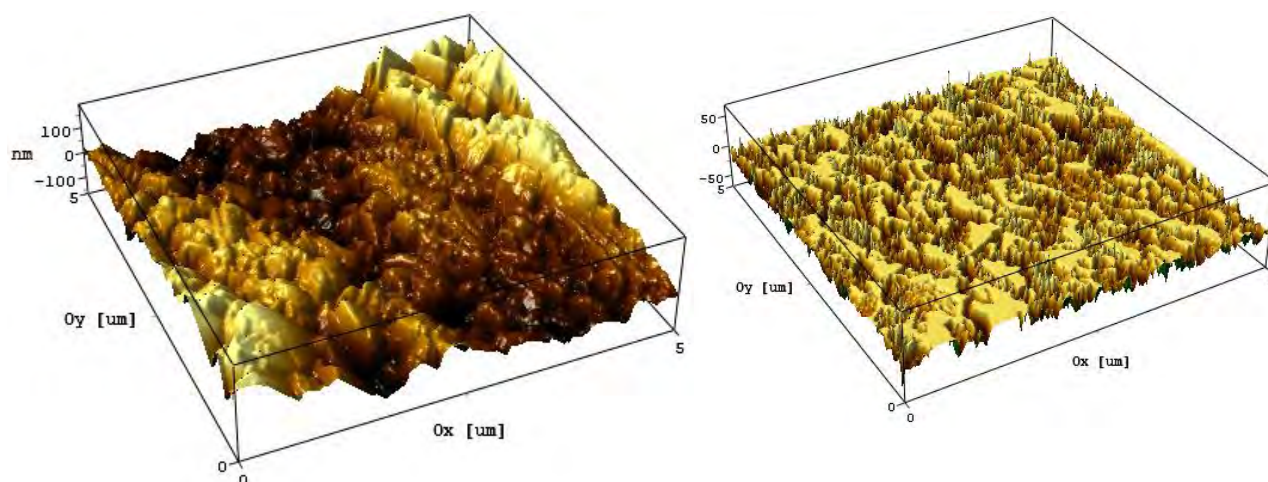
The fourth sample shows its height and phase. the height pictures shows many more mounds than in the previous samples. There is a sizing agent on the surface of the paper. On closer inspection we can see that the coating cannot create a perfectly smooth surface. The surface irregularities of the uncoated paper remain to some extent after coating. In the picture of phase, we can notice that the sizing agent did not create a completely connected surface. The

numerous yellow parts are the sizing material, and the other areas between them show the uncoated or less coated parts of the paper.

**Fig. 5**

**The picture of the third sample height (left) and phase (right).**





## CONCLUSION

The AFM can be used for research on the surface characteristics and the materials of paper. In addition, AFM may be suitable for examining the various coatings which are created on paper. Furthermore, AFM could be used to examine paper fibers. The fibers can be analyzed in the pulping phase, and the results can be used to draw conclusions about the properties of the paper that will be made.

*Fig. 6*

**The picture of the fourth sample height (left) and phase (right).**

## ACKNOWLEDGEMENT

The work was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## REFERENCES

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic\\_force\\_microscopy](https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_force_microscopy)
2. Liao Ruijin, Tang Chao, Yang Lijun and Chen Huanchao „Thermal Aging Studies on Cellulose Insulation Paper of Power Transformer Using AFM”, 2006.

3. Johanna Gustafsson, Laura Ciovica, Jouko Peltonen „ The ultrastructure of spruce kraft pulps studied by atomic force microscopy (AFM) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)”, 2003.
4. A. T. Paiva, S. M. Sequeira, D. V. Evtuguin, A. L. Kholkin, and I. Portugal „Nanoscale Structure of Cellulosic Materials: Challenges and Opportunities for AFM”, 2007.
5. <https://www.icspicorp.com/blog/phase-images>