

# 53. **Műszaki Kémiai Napok** Chemical Engineering Days

**KONFERENCIA KIADVÁNY  
CONFERENCE PROCEEDING**



**Absztrakt kötet  
Book of abstracts**

2025. április 15-16.

**Pannon Egyetemi Kiadó 2025**

# **53. Műszaki Kémiai Napok**

Konferencia  
Absztrakt kötet  
2025

Szerkesztette  
Bélafiné Dr. Bakó Katalin  
Klein Mónika

53. Műszaki Kémiai Napok

Konferencia  
Absztrakt kötet  
2025

Szerkesztette

Bélafiné Dr. Bakó Katalin  
Klein Mónika

Kiadja a Pannon Egyetemi Kiadó  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

ISBN 978-963-396-299-2



© Pannon Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2025

Anyanyelvi lektor: Bélafi-Zihár Dóra

Borítóterv és kiadványszerkesztés: Vipler Nikolett

A kiadásért felelős a Pannon Egyetem rektora



**Pannon Egyetem**  
University of Pannonia



**Pannon Egyetem**  
Mérnöki Kar

## **Tudományos Bizottság**

### **Elnök:**

Bélafiné Bakó Katalin

### **Tagok:**

Abonyi János

Chován Tibor

Guttman András

Gyenis János

Hanák László

Hancsók Jenő

Hodur Cecília

Horváth Krisztián

Járvás Gábor

Mika T. László

Modla Gábor

Németh Áron

Németh Sándor

Pethő Dóra

Ruppert Tamás

Szalai István

Szépvolgyi János

Varga Csilla

Vonderviszt Ferenc

### **Titkár:**

Klein Mónika

## Tartalomjegyzék

<b>Comparative Study of Commercial and Surface-modified Polyelectrolyte Multilayer Nanofiltration Membranes in Ion Rejection</b> <i>Abelneh Terefe, Áron Bóna, Tamás Kucserka, Ildikó Galambos</i>	9
<b>HKUST-1@grafénszármaszerek társított rendszerek metán tárolása</b> <b>HKUST-1@Graphene derivative associated systems for methane storage</b> <i>Altsach Vivien Barbara, László Krisztina</i>	10
<b>Polikaprolakton – gyógyszerhatóanyag rendszerek olvadási viselkedésének vizsgálata nagynyomású szén-dioxid közegben</b> <b>Investigation of polycaprolactone – active pharmaceutical ingredient systems under high-pressure carbon dioxide atmosphere</b> <i>Arany Dóra, Kurucz Noémi, Kőrösi Márton</i>	13
<b>Hidrokrakkolás modellezése populációs mérleg modellel</b> <b>Population balance modelling of hydrocracking</b> <i>Balogh László, Egedy Attila, Bárkányi Ágnes</i>	15
<b>Elemental Distribution in Apples from Different Production Regions in Hungary</b> <i>My Ban Thi, Geza Hitka, Quang D. Nguyen</i>	16
<b>Fényáteresztést növelő TiO<sub>2</sub> szol-gél bevonatok fotokatalitikus hatásának tanulmányozása színezékbontással</b> <b>Study of the photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> sol-gel coatings with enhanced light transmittance via dye molecule degradation</b> <i>Bors Adrienn, Albert Emőke, Hórvölgyi Zoltán</i>	17
<b>Alkáli aktivált cementek nyomtatására alkalmas 3D nyomtató és anyagi összetételek fejlesztése</b> <b>Development of a 3D Printer and Material Compositions for Printing Alkali-Activated Cements</b> <i>Cziráki Bálint, Dr. Egedy Attila, Kámán András</i>	18
<b>Bio-olajok minőségjavításának lehetőségei</b> <b>Possibilities for bio-oil upgrading</b> <i>Császár Kiara Atina, Zsinka Viktória, Miskolczi Norbert</i>	19
<b>Szerkezeti vasat tartalmazó kaolinit felületmódosítása: kaolinit-karbamid interkalációs komplexek előállítása</b> <b>Surface modification of a kaolinite with structural iron: synthesis of kaolinite-urea intercalation complexes</b> <i>Zsirka Balázs, Csóka Jázmin Damarisz, Vágvölgyi Veronika</i>	20
<b>Klór-alkáli elektrolízishez használt sóoldatok csapadékképzéses, flokkulációs, ülepitéses és ioncserés tisztításának optimalizálása</b> <b>Optimization of precipitation, flocculation, sedimentation and ion exchange purification of salt solutions used for chlor-alkali electrolysis</b> <i>Csorba Benjámin, Tóth Péter, Hórvölgyi Zoltán, Madarász János, Mihalkó Andrea, Farkas László, Boros Renáta Zsanett, Gresits Iván László</i>	21
<b>Gamma-dekalakton termelés: A <i>Yarrowia divulgata</i> mint biotechnológiai eszköz</b> <b>Gamma-Decalactone Production: <i>Yarrowia divulgata</i> as a Biotechnological Tool</b> <i>Eszterbauer Edina, Dr. Németh Áron</i>	23

<b>Digitális kamera alapú UV képalkotással történő koncentrációmérési technika jellemzése kimutatási határ, szelektivitás és pontosság segítségével</b> <b>Characterization of digital camera-based UV-imaging for concentration measurement with limit of detection, specificity and precision</b>	
<i>Fazekas Bettina, Galata Dorián László, Nagy Zsombor Kristóf, Mészáros Lilla Alexandra, Hirsch Edit</i>	25
<b>Extremofil mikroorganizmusok izolálása vörösiszapból és potenciális biotechnológiai hasznosításuk</b> <b>Extremophilic microorganisms isolation from bauxite residue and their potential biotechnological applications</b>	
<i>Feigl Viktória, Röhberg Melinda Zsuzsanna, Masa Kinga, Hegedűs Henrik, Deák Veronika, Medgyes-Horváth Anna</i>	26
<b>A települési szilárd hulladék keletkezésének előrejelzési módszerei</b>	
<i>Fejes Róbert, Kurdi Róbert, Sebestyén Viktor</i>	27
<b>Towards understanding how more environmentally realistic exposure modulates the toxicity of graphene oxide in the aquatic ecosystem</b>	
<i>Ildikó Fekete-Kertész, Krisztina László, Benjámín Gyarmati, Mónika Molnár</i>	28
<b>Hulladékbázison felépülő, vörösiszap tartalmú alkáli aktivált cementek fejlesztése a fenntarthatóság és a zöldgazdaság jegyében</b> <b>Development of waste-based, red mud-containing alkali activated cements focusing on sustainability and green economy</b>	
<i>Fitosné Boros Adrienn, Pintér László Kristóf, Korim Tamás</i>	29
<b>Recycling possibilities of end-of-life RO membrane modules as a low-cost alternative for water treatment</b>	
<i>Girma Daba, Áron Bóna, Ildikó Galambos</i>	31
<b>Triarylborán katalizált redukzív éteresítés fém- és hidrogéngáz mentes környezetben</b> <b>Triarylborane-catalyzed reductive etherification under metal and hydrogen free conditions</b>	
<i>Györfi Sára, Forman Ferenc, Hegedűs Kristóf, Soós Tibor</i>	32
<b>Nagynyomású áramlásos rendszerek folyamatkövetése dekonvolúcióval</b> <b>Deconvolution-assisted process analytics of high pressure systems</b>	
<i>Hegyi Mihály, Morvay Zsigmond, Székely Edit</i>	33
<b>A hidrogénezett növényolajok (HVO) szerepe a fenntartható dízelgázolajok jövőjében: technológiák és kihívások</b> <b>The Role of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) in the Future of Sustainable Diesel Fuels: Technologies and Challenges</b>	
<i>Horváth Dominik, Tomasek Szabina</i>	35
<b>Aspergillus terreus gomba pelletek előállítása és alkalmazása fermentációs célra</b> <b>Production of Aspergillus terreus pellets and their use in fermentation processes</b>	
<i>Hülberné Beyer Éva Anna, Ács Balázs László, Bocska Boglárka, Hogyor Kinga</i>	37
<b>Nagy nyelvi modell alapú tevékenységfelismerés és munkautasítások validálása</b> <b>Large language model based activity recognition and validation of work instructions</b>	
<i>Jeskó Zoltán, Ruppert Tamás</i>	39

<b>Próbatest méretének és alakjának hatása az extrúziósan 3D nyomtatott nylon szálakra</b> <b>Influence of specimen size and geometry on the tensile strength of extrusion 3D printed nylon filament</b>	
<i>Kámán András, Egedy Attila, Jakab Miklós</i>	41
<b>Leszerelt szélturbina lapát szubkritikus hidrolízisének vizsgálata</b> <b>Subcritical hydrolysis of a decommissioned wind turbine blade</b>	
<i>Kántor Petra, Képes Bence, Székely Edit</i>	42
<b>Optimization of Textile Waste Collection System by a Modified Subtractive Clustering Method</b> <b>Textilhulladék-gyűjtés optimalizálása módosított szubtraktív klaszterezési algoritmussal</b>	
<i>Éva Kenyeres, Alex Kummer, János Abonyi</i>	44
<b>Poliamid-6 félfolyamatos üzemű, szubkritikus hidrolízise</b> <b>Semi-continuous, subcritical hydrolysis of polyamide 6</b>	
<i>Képes Bence, Kántor Petra, Székely Edit</i>	45
<b>Használt lítium ion akkumulátorok újrahasznosításának vizsgálata</b> <b>Investigation of the recyclability of used lithium ion batteries</b>	
<i>Kis-Iván Alex, Zsinka Viktória, Miskolczi Norbert, Ningbo Gao, Cui Quan</i>	47
<b>Inokulálás és biofilm-fejlődés vizsgálata membrán gradosztat reaktor modellrendszerben</b> <b>Investigation of inoculation and biofilm-development in model system of membrane gradostat reactor</b>	
<i>Lajtai-Szabó Piroska</i>	49
<b>Innovatív transzdermális készítmények fejlesztése</b> <b>Development of innovative transdermal formulations</b>	
<i>Madarász-Kádár Szabina, Jaksáné Borbás Enikő, Nagy Zsombor Kristóf</i>	50
<b>Valorization of biomass-derived low-cost adsorbents for sustainable pesticide remediation from aqueous solution: A comparative study</b>	
<i>Melkamu Birlie, Nikoletta Kovács, Etelka Tombácz, Gábor Maász</i>	52
<b>Gépi látás és többváltozós adatelemzés alkalmazása tabletták minőségének vizsgálatára</b> <b>Machine vision and multivariate data analysis in the quality assessment of tablets</b>	
<i>Mészáros Lilla Alexandra, Farkas Attila, Nagy Zsombor Kristóf</i>	53
<b>Tejsav alapú komplex kutatás-fejlesztés</b> <b>Complex research and development based on lactic acid</b>	
<i>Nagy Gábor, Nemestóthy Nándor</i>	55
<b>Tejsav fermentáció <i>in vivo</i> és <i>in silico</i> tanulmányozása tejsavon</b> <b>In vivo and in silico investigation of whey based lactic acid fermentation</b>	
<i>András Vicsek, Áron Németh</i>	56
<b>Kétdimenziós populációmérleg modellezés (2D-PBM) és gépi tanuláson alapuló többcélú optimalizálás a rezveratrol hűtéses kristályosításához</b> <b>Two-Dimensional Population Balance Modeling (2D-PBM) and Machine Learning-based multi-objective optimization for the cooling crystallization process of resveratrol</b>	
<i>Orosz Álmos, Monika O. Neal, Szilágyi Botond, Nagy Zoltán</i>	57

<b>Online tanulás a helyettesítő modellek (surrogate) karbantartásához</b> <b>Online Learning for Surrogate Model Maintenance</b>	
<i>Palotai Balázs, Kis Gábor, Chován Tibor, Bárkányi Ágnes</i>	59
<b>A kinyerés módjának és a környezeti körülményeknek</b> <b>a hatása a levendula illóolajra</b> <b>Effect of the extraction method and environmental phenomena</b> <b>on lavender essential oil</b>	
<i>Preiner Sára, Dr. Pethő Dóra, Dr. Miskolczi Norbert</i>	60
<b>Elemental Distribution in Apples from Different Production</b> <b>Regions in Hungary</b>	
<i>My Ban Thi, Geza Hitka, Quang D. Nguyen</i>	61
<b>Operátor tréning szimulátor kifejlesztése kamragáz-tisztító üzemhez</b> <b>Development of operator training simulator for coke oven gas purification plant</b>	
<i>Radó-Fóty Nikolett, Egedy Attila, Nagy Lajos,</i> <i>Horváth Tibor, Balaton Miklós, Tóth László Richárd</i>	62
<b>Kétkomponensű elegyek különböző hőszivattyús desztillációs eljárással való</b> <b>elválasztásának energetikai- és költség alapú optimalizálása</b> <b>Energetic and Economic Based Optimization of the Separation</b> <b>of Binary Mixtures by Different Heat Pump-Assisted Distillation Processes</b>	
<i>Somogyvári Erik, Tóth András József</i>	63
<b>Alkáli aktivált cementek előállítása építési hulladék bázison</b> <b>Alkali activated cements derived from construction and demolition waste</b>	
<i>Soósne Balczár Ida, Nagy Gergely, Nkurikiyimana Etienne</i>	64
<b>Gyógyszerhatóanyag folyamatos segédanyagok kristályosításának fejlesztése</b> <b>Development of continuous additive-assisted crystallization of a drug substance</b>	
<i>Stoffán György Nimród, Höltzl Tibor, Lőrincz Zsolt, Pusztai Éva, Tacsí Kornélia,</i> <i>Madarász Lajos, Farkas Attila, Marosi György, Nagy Zsombor Kristóf, Pataki Hajnalka</i>	66
<b>Aromás nitrovegyületek hidrogénezésére alkalmas nemesfém tartalmú</b> <b>katalizátorok fejlesztése</b> <b>Development of precious metal containing catalysts applicable</b> <b>for hydrogenation of aromatic nitro compounds</b>	
<i>Tamás Bence Benedek, Mihalkó Andrea, Dr. Jakab Alexandra,</i> <i>Farkas László, Viskolcz Béla</i>	69
<b>Fenntartható sugárhajtómű üzemanyagok: Kihívások, technológiai innovációk</b> <b>és a fenntartható jövő</b> <b>Sustainable aviation fuel: Challenges, technological innovations</b> <b>and sustainable future</b>	
<i>Tomasek Szabina, Horváth Dominik</i>	71
<b>Az In(III)-szulfát, mint fotokatalizátor prekursor</b> <b>egy vegyes-oxid kompozit fejlesztés első lépései</b> <b>In(III) sulphate as a photocatalyst precursor</b> <b>first steps in the development of a mixed-oxide composite</b>	
<i>Vámosi Virág, Vágvölgyi Veronika, Zsirka Balázs</i>	72
<b>Kaolin alapú grafitos szén-nitrid kompozit fotokatalizátorok fejlesztése</b> <b>Development of kaolin-based graphitic carbon nitride composite photocatalysts</b>	
<i>Zsirka Balázs, Fónagy Orsolya, Vágvölgyi Veronika, Fodor Lajos</i>	74

<b>Evaluating the Impact of Task Sequencing on Cognitive Load Distribution Using Physiological Signals and Subjective Assessment</b>	
<i>Abdulrahman K. Eese, György Eigner, Tamás Ruppert</i>	75
<b>Munkautasítások illesztése az aktuális betanulási görbékhez</b> <b>Fitting Work Instructions to the Current Learning Curves</b>	
<i>Gugolya Mónika, Medvegy Tibor, Ruppert Tamás</i>	76
<b>Digitális Iker implementáció az Ipar 5.0 laborban</b> <b>Digital Twin Implementation in the Industry 5.0 Lab</b>	
<i>Halász Gergely Lajos, Ruppert Tamás, Medvegy Tibor</i>	77
<b>Emberi munkaerő összehangolása genetikus algoritmussal</b> <b>Human Workforce Coordination with Genetic Algorithm</b>	
<i>Horváth Judit, Darányi András, Ruppert Tamás</i>	78
<b>Work-Content Related Workload and Stress Assessment Based on Intensity Metrics from Acceleration and Heart Rate Data</b>	
<i>Tuan-anh Tran, János Abonyi, György Eigner, Tamás Ruppert</i>	79
<b>Elektrokémiai technikák integrálhatósága biotechnológiai hulladékkezelési folyamatokba: úton az elektro-biofinomítók felé</b> <b>Integrating Electrochemical Techniques into Biotechnological Waste Treatment Processes: Towards the Implementation of Electro-Biorefineries</b>	
<i>Koók László, Rózsenszerszki Tamás</i>	80
<b>Nitrogén és foszfor visszanyerése vizeletből elektrokémiai és bioelektrokémiai módszerekkel</b> <b>Recovery of Nitrogen and Phosphorous from Urine via Electrochemical and Bioelectrochemical Techniques</b>	
<i>Nagy Kristóf Bence, Koók László</i>	82
<b>Nyomásszabályozott folyadékkromatográfia</b> <b>Pressure-regulated liquid chromatography</b>	
<i>Dr. Lukács Diána, Dr. Horváth Krisztián</i>	84

# Comparative Study of Commercial and Surface-modified Polyelectrolyte Multilayer Nanofiltration Membranes in Ion Rejection

Abelneh Terefe, Áron Bóna, Tamás Kucserka, Ildikó Galambos<sup>1</sup>

## **Summary**

Nanofiltration (NF) is a promising technology employed in the field of water treatment, characteristically falling between ultrafiltration and reverse osmosis. Polyelectrolyte multilayers (PEM) NF membranes have been fabricated with layer-by-layer (LbL) assembly by tuning various parameters. Hollow fiber PEM membranes can be fabricated both commercially and in a laboratory setting using ultrafiltration membranes as support. Commercially available dNF80 membranes and laboratory-made PEM NF membranes with various bilayers were tested for pure water permeability and salt rejection. In addition, the effect of feed pH on salt rejection was explored to compare dNF80 and seven bilayer membranes. A seven-bilayer demonstrated comparable performance to the dNF80 but with lower permeability. Beyond the sixth bilayer, the salt rejection remained stable, while permeability rapidly dropped, indicating the formation of the optimum coating thickness of multilayers on support membrane pores. The primary limitation of the LbL coated membranes is their reduced permeability, which leads to low water productivity. However, they are used in various applications due to their tunable selectivity, stability in backwashing, and high separation efficiency.

## **Acknowledgements**

*This work has been implemented by the TKP2021-NKTA-21 project with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development, and Innovation Fund, financed under the 2021 Thematic Excellence Programme funding scheme.*

---

<sup>1</sup> University of Pannonia  
Soós Ernő Research and Development Center, University Center for Circular Economy  
kalabel0941@gmail.com

# HKUST-1@grafénszarmazék társított rendszerek metán tárolása

## HKUST-1@Graphene derivative associated systems for methane storage

Altsach Vivien Barbara, László Krisztina<sup>2</sup>

### Összefoglaló

A környezet szén-dioxid-terhelés csökkentésének egy lehetséges módja az alternatív üzemanyagokra való átállás. Ennek következtében a hidrogén- és metángáz biztonságosabb és gazdaságosabb tárolásának igénye is felerősödött.

A fém-organikus térhálók („metal organic frameworks” vagy MOF-ok) családjába tartozó, kiemelkedő metántároló kapacitású réz(II)-benzol-1,3,5-trikarboxilát (HKUST-1) igen ígéretes járművek üzemanyagának adszorpción alapuló, a cseppfolyós gáztárolásnál energetikailag gazdaságosabb, a nagynyomású gáztárolásnál pedig biztonságosabb tárolására. [1] Alkalmazásának azonban gátat szab vízérzékenysége [2], por formája és rossz hővezetőképessége. A technológiai szempontból kedvezőtlen por forma pelletizálással ugyan kiküszöbölhető, de tapasztalataink szerint a kristályszerkezet nyomás hatására amorfizálódik, és csökkenti az adszorpciós kapacitást. [3] Az anyag rossz hővezetése miatt a gázzal történő töltés során felszabaduló, el nem vezetett adszorpciós hő csökkenti az adszorpció mértékét, míg az endoterm deszorpció a töltet lehűléséhez és így a megkötött gáz visszatartásához vezet. Megoldást jelenthetnek a HKUST-1 jól vezető nanorészecskékkal, pl. hidrofób grafén-szarmazékokkal képzett kompozitjai, melyek a hővezetőképességet és a vízzel szembeni stabilitást egyidejűleg javíthatják.

A munkám során a HKUST-1 fémorganikus térhálót és társított rendszereit állítottam elő szolvotermális úton, a kristályosodási idő változtatásával. Négyféle grafénszarmazékot használtam: egyrétegű grafént, grafén-oxidot, nitrogénnel és kénnel dópolt grafént.

Jellemeztem a minták morfológiai (SEM, N<sub>2</sub> adszorpció, XRD) és kémiai (Raman és XPS spektroszkópia) tulajdonságait, illetve a metánmegkötő képességüket. Mivel a hővezetési és az elektromos vezetőképességi tulajdonságok általában hasonló módon változnak, ezért a laboratóriumunkban rendelkezésre álló elektromos vezetés mérést használtam a minták ezen tulajdonságának összehasonlítására [4].

A minták metán-adszorpciós kapacitását a 0 °C-on, atmoszférikus nyomáson megkötött gáz mennyiségével jellemeztem.

Valamennyi módszer azt igazolta, hogy a hűlés sebessége és a grafénszarmazék egyaránt befolyásolta a minták tulajdonságait. A lassabban hűlt minták esetén nagyobb és szabályosabb kristályokat kaptam. A grafénszarmazékok fajtájától függően változott a kristályok alakja és mérete. Az elemi kristallit méretek is nagyobbak a lassabb hűlés esetén. A HKUST-1-hez hasonlóan a kompozitok is mikropórusosak, de a hűlés sebessége jelentősen befolyásolja a társított minták nitrogéngáz adszorpciós kapacitását. A lassabb hűlés mindig nagyobb fajlagos felületet és szorpciós kapacitást eredményezett, de az átlagos pórusméretre nem volt hatással. Összességében, a gyors hűtés csökkentette, a lassú hűtés növelte az adalék nélküli MOF felületét. A hűlés és a grafénszarmazékok fajtája különbözőképpen befolyásolta a kémiai szerkezetet. Az XPS mérések alapján a grafén-szarmazékok a szolvotermális reakció során oxidálódtak, de nem tapasztaltunk változást a Raman spektroszkópiából számolható I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub> arányban. A Raman spektrumokon a HKUST-1-re és a grafén-szarmazékokra jellemző csúcsok egymástól függetlenül jellemezhetők. A grafén-szarmazékokhoz képest a kompozit minták grafénos részében kevesebb hibahely van. A hűlés sebessége befolyásolta a BTC<sup>-3</sup> aromás jellegéhez tartozó jelet: a lassabb hűlés esetében csökkent az aromás jelleg.

A grafén-szarmazék hozzáadása minden esetben javította az egyenáramú vezetőképességet a tiszta HKUST-1-hez képest. Azt tapasztaltam, hogy a lassabban hűlt minták vezetőképessége mindig meghaladta a gyorsan hűlt mintákét. Az egyrétegű grafénnel képzett kompozit mintáké lett közülük a legkedvezőbb.

<sup>2</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3-9.

Az alkalmazáshoz közvetlenül kapcsolódó atmoszférikus metánmegkötő képességet volumetrikus gázadszorpciós vizsgálattal határoztam meg. A kompozitok atmoszférikus metánfelvétele alatta maradt a HKUST-1-ének, kivéve a kénnel dópolt grafénnel képzett kompozitot, amely néhány százalékkal meg is haladta a tiszta HKUST-1-on mért értéket.

### **Summary**

One possible way to reduce the environmental carbon dioxide burden is the transition to alternative fuels. As a result, the demand for safer and more economical storage of hydrogen and methane gas has increased. Copper(II)-benzene-1,3,5-tricarboxylate (HKUST-1), a metal-organic framework (MOF) with exceptional methane storage capacity, is very promising for fuel storage in vehicles based on adsorption, as it is more energy-efficient than liquefied gas storage and safer than high-pressure gas storage. [1] However, its application is limited by its sensitivity to water [2], its powdered form, and poor thermal conductivity. Although the technological disadvantage of the powder form can be addressed by pelletization, our experience shows that the crystal structure becomes amorphous under pressure, reducing its adsorption capacity. [3] The poor thermal conductivity of the material leads to the release of uncondensed adsorption heat during the filling process, which reduces the degree of adsorption, while endothermic desorption leads to cooling of the material and thus retention of the trapped gas. A solution may lie in the composites formed with HKUST-1 using well-conductive nanoparticles, such as hydrophobic graphene derivatives, which can simultaneously improve thermal conductivity and water stability.

In my work, I synthesized the HKUST-1 metal-organic framework and its associated systems via solvothermal methods by varying the crystallization time. Four types of graphene derivatives were used: monolayer graphene, graphene oxide, and nitrogen- and sulfur-doped graphene. I characterized the samples' morphological (SEM,  $N_2$  adsorption, XRD) and chemical (Raman and XPS spectroscopy) properties, as well as their methane storage capacity. Since the thermal and electrical conductivity properties generally change in a similar manner, I used electrical conductivity measurements available in our laboratory to compare these properties of the samples.

The methane adsorption capacity of the samples was characterized by the amount of gas adsorbed at 0 °C and atmospheric pressure. All methods confirmed that the cooling rate and the type of graphene derivative both influenced the properties of the samples. For the samples cooled more slowly, larger and more regular crystals were obtained. The shape and size of the crystals varied depending on the type of graphene derivative. The elementary crystallite sizes were also larger with slower cooling. Like HKUST-1, the composites were microporous, but the cooling rate significantly influenced the nitrogen gas adsorption capacity of the associated samples. Slower cooling always resulted in a larger specific surface area and higher adsorption capacity, but it had no effect on the average pore size. Overall, rapid cooling reduced, and slow cooling increased the surface area of the unmodified MOF.

The cooling rate and the type of graphene derivative influenced the chemical structure differently. Based on XPS measurements, the graphene derivatives oxidized during the solvothermal reaction, but no change was observed in the  $I_D/I_G$  ratio calculated from Raman spectroscopy. In the Raman spectra, the peaks characteristic of HKUST-1 and the graphene derivatives could be independently identified. Compared to the graphene derivatives, the composite samples had fewer defect sites in the graphene portion. The cooling rate influenced the aromatic signal related to BTC<sup>-3</sup>: in the case of slower cooling, the aromatic signal decreased.

The addition of graphene derivatives improved the direct current conductivity in all cases compared to pure HKUST-1. I found that the conductivity of the samples cooled more slowly always exceeded that of the samples cooled quickly. Among them, the composite samples formed with monolayer graphene had the most favorable conductivity.

For the application directly related to atmospheric methane adsorption capacity, I determined it by volumetric gas adsorption measurements. The atmospheric methane uptake of the composites

was below that of pure HKUST-1, except for the composite formed with sulfur-doped graphene, which slightly exceeded the value measured for pure HKUST-1.

### ***Irodalomjegyzék/References***

[1] Ma, Charlene Tapia, Bryan G. Alamani, Tae-Hyun Bae: Enhancing hydrogen storage in MOF/graphene composites: The impact of graphene oxide and porous graphene oxide on adsorptive performance. Separation and Purification Technology

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.132313>

[2] Andrea Domán, Orsolya Czakkel, Lionel Porcar, János Madarász, Erik Geissler, Krisztina László: Role of water molecules in the decomposition of HKUST-1: Evidence from adsorption, thermoanalytical, X-ray and neutron scattering measurements, Applied Surface Science,

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.02.177>

[3] Andrea Domán, Janos Madarász, György Sáfrán, Ying Wang, Krisztina László: Copper benzene-1,3,5-tricarboxylate (HKUST-1) – graphene oxide pellets for methane adsorption. Microporous and Mesoporous Materials

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2021.110948>

[4] Márton Gál, Samantha K. Samaniego Andrade, Anna Fehér, Attila Farkas, János Madarász, Lili Horváth, Péter Gordon, Róbert Kovács, Krisztina László: Thermal diffusivity in copper benzene-1,3,5-tricarboxylate–reduced graphite oxide mechanical composites. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13021-x>

# **Polikaprolakton – gyógyszerhatóanyag rendszerek olvadási viselkedésének vizsgálata nagynyomású szén-dioxid közegben**

## ***Investigation of polycaprolactone – active pharmaceutical ingredient systems under high-pressure carbon dioxide atmosphere***

Arany Dóra, Kurucz Noémi, Kőrösi Márton<sup>3</sup>

### ***Összefoglaló***

Napjainkban kiemelt figyelem irányul a kontrollált hatóanyagleadást biztosító készítmények fejlesztésére, ahol az aktív hatóanyagot hordozó részecskék szemcseméretének precíz szabályozása kulcsfontosságú. Erre megoldást nyújthat a PGSS (*Particles from Gas Saturated Solutions*) eljárás, amelynek működése során a nagynyomású szén-dioxid okozta olvadáspont-csökkenést használják ki: a célvegyületek nyomás alá helyezett, szén-dioxiddal telített olvadékát porlasztják kisnyomású térbe. [1] Noha a legtöbb vegyület olvadási hőmérséklete a statikus nyomás növelésével emelkedik, a minta olvadékában oldódni képes közeg (például szén-dioxid) jelenlétében az olvadási hőmérséklet csökkenhet. [2] A kutatás célja polimer - gyógyszerhatóanyag rendszerek nyomás- és összetételüggő olvadási viselkedésének vizsgálata nagynyomású szén-dioxid közegben. Az így nyert termodinamikai adatok segíthetik a mikronizálási eljárások tervezését és optimalizálását.

A választott polimer a polikaprolakton, amelyet implantátumként és hatóanyag-hordozóként is alkalmaznak. [3] A hordozó mellékhatóanyagként nem szteroid gyulladáscsökkentőket választottunk. A tiszta ibuprofen, ketoprofen és polikaprolakton nagynyomású látóüveges cellában, valamint egy, a kutatócsoportban fejlesztett módszer segítségével vizsgáltuk. Az automatizálható berendezés az olvadás során bekövetkező nyomásváltozást képes detektálni precíz hőmérsékletprogram mellett. [4] Minden vegyület olvadási hőmérsékletét legalább öt különböző nyomáson, 3–20 MPa között mértük. Ezen felül vizsgáltuk a polimer - gyógyszerhatóanyag kompozitok összetételüggő olvadási viselkedését több különböző nyomáson, szén-dioxid atmoszférában.

### ***Summary***

Nowadays, particular attention is being paid to the development of controlled release formulations, where precise control of the mean particle size and size distribution of the delivery system carrying the active drug has key importance. This can be achieved by the PGSS (*Particles from Gas Saturated Solutions*) process, which exploits the melting point depression caused by high-pressure carbon dioxide: a pressurised carbon dioxide-saturated melt of the target compounds is expanded to atmospheric pressure. [1] Although the melting temperature of most compounds increases with increasing static pressure, the melting temperature may decrease in the presence of a soluble medium (e.g. carbon dioxide) in the sample. [2] The aim of this research is to investigate the pressure and composition dependent melting behaviour of polymer – pharmaceutical systems in high pressure carbon dioxide atmosphere. The resulting thermodynamic data can help in the design and optimization of micronization processes.

The polymer of choice is polycaprolactone, which is used both as an implant and as a drug carrier. [3] Non Steroidal Anti-Inflammatory Drug have been chosen as active pharmacological agents for the carrier. Pure ibuprofen, ketoprofen and polycaprolactone were measured in a high-pressure view-cell and using a method developed in the research group. The automated equipment can detect pressure difference between a reference and a sample holder cell during melting with a precise temperature program. [4] The melting temperature of each compound was measured at at least five different pressures (3 to 20 MPa). In addition, the composition-dependent melting behaviour of polymer-pharmaceutical composites at several different pressures has been investigated in a carbon dioxide atmosphere.

<sup>3</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

### **Irodalomjegyzék**

- [1] Z. Knez, M. Knez, M. Škerget, *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering* 6 379-407 (2015)
- [2] K. Fukné-Kokot, A. König, Ž. Knez, M. Škerget, *Fluid Phase Equilib* 173 297–310 (2000)
- [3] M. Rabiatul Manisah, Y. Kamal, *Advanced Materials Research*, 1134 249-255 (2016)
- [4] D. Arany, M. Kőrösi, E. Székely, *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization* 80 102663 (2024)

### **Köszönetnyilvánítás**

A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24-3-BME-370 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. K.M. hálásan köszöni a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatását (OTKA PD\_23 146145).

# Hidrokrakkolás modellezése populációs mérleg modellel

## *Population balance modelling of hydrocracking*

Balogh László, Egedy Attila, Bárkányi Ágnes<sup>4</sup>

### **Összefoglaló**

A növekvő igény a fenntartható üzemanyagok előállítására magával vonzza a minőségjavító eljárások, mint például a hidrokrakkolás fejlesztését. Ezen katalitikus eljárások fejlesztésének erős alapja lehet a berendezésben lejátszódó folyamatok modellezése. Munkánk során olyan matematikai modell megalkotásával foglalkozunk, amely a reakcióelegy kezdeti szénatomszám-összetétel függvényéből indul ki, és a változó összetételt hivatott leírni. Ehhez két módszer kínálkozik: az első esetben pszeudokomponenseket feltételezve a modell visszavezethető közönséges reakcióegyenletek sorozatára. Ezzel a megoldással a fő probléma, hogy a pszeudokomponensek számának növelése növeli a modell pontosságát, ami viszont a paraméterek számának emelkedésével jár, bizonytalanná téve a paraméter identifikációt, viszont a modell felírása és megoldása egyszerű. A másik kínálkozó lehetőség, hogy a fent említett függvényt folytonos eloszlásfüggvényre transzformáljuk, és ezen eloszlásfüggvény változására írunk fel mérlegegyenletet. Ennek fő előnye, hogy a paraméterek számát alacsonyan tartja, és nem kell ismerni a komponensek számát, ellenben a modell megoldása matematikailag és numerikusan is összetett feladat. Ezen rendszer esetén egy olyan populációs mérlegegyenlet megoldása a feladat, melyben az eloszlás lokális megváltozása a szénláncok töréséből következik, tehát egy integro-differenciál egyenlet áll elő. Ennek megoldása két részből áll: az integrális rész megoldása Gauss-kvadratura módszerrel, míg a függvényérték időbeli változásának kiszámítása Euler-módszerrel történik. Jelen kutatás keretei között olyan modell keretrendszer felállítása volt a cél, mely irodalmi eredmények alapján képes azok reprodukálására, valamint a továbbiakban alkalmas lesz a modell paraméterein keresztül történő validálásra és a modell paramétereinek az üzemeltetési paraméterekkel való összekapcsolására. A leképzett modell megoldása és identifikálása MATLAB környezetben történik.

### **Summary**

The growing demand to produce sustainable fuels is driving the development of quality improvement processes, such as hydrocracking. These models that describe the processes inside of the equipment give a strong base for the development. In our work, we are creating a mathematical model that starts from the initial carbon number - composition function of the reaction mixture and intends to describe the variable composition. Two methods are suitable for the modelling. In the first case, we assume a pseudo component for the reaction mixture's decomposition and the model derivable from the reaction among the pseudo component. The main disadvantage of the first method is the accuracy gain with the number of pseudo components, but the identifiability decreases with the large number of parameters. The other option is to transform the above-mentioned function into a continuous distribution function and write a balanced equation for the change in this distribution function. In this way, the numbers of the parameters can be held low, and the number of components cannot necessarily be determined; on the other hand, solving the model becomes more difficult mathematically and numerically. In the case of hydrocracking, the local change of the distribution depends on breaking the carbon chains, so the population balance equation is an integro-differential equation. The solution to this consists of solving the integral part using the Gauss quadrature method and calculating the change in the function value over time with the Euler method. This research aimed to establish a model framework that can reproduce literature results and is suitable for model fitting via model parameters. The solution and identification of the mapped model are performed in the MATLAB environment.

---

<sup>4</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki kar, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

# Elemental Distribution in Apples from Different Production Regions in Hungary

My Ban Thi, Geza Hitka, Quang D. Nguyen<sup>5</sup>

## **Summary**

Minerals together with vitamins play an important role in the quality of apple fruit that is main fruit product in Hungary. In this study, investigation of the levels of macro-, micro-, and some toxic trace elements in the peel, flesh, and seeds of apples from major production regions in Hungary was aimed. Additionally, the analysis of the elemental distribution and evaluation of the accumulation of toxic trace elements were also focused. Quantification of macro-elements (K, P, Ca, and Mg), micro-elements (Cu, Zn, Fe, Mn, B, Sr, Ba, Sn, Se, Co, Cr, Mo, V), and toxic trace elements (Al, Cd, Pb, As, Sb, Tl, Ag, Ni, Hg) was performed using ICP-OES and ICP-MS after sample pretreatment. The results indicated that the highest element concentrations were found in the peel, followed by the seeds, while the flesh has the lowest levels. Potassium was the most abundant mineral, with an average concentration of 8025 mg/kg dry weight, 7875 mg/kg, and 7270 mg/kg in the peel, the flesh and the seeds, respectively. The second abundant element was Calcium, with average concentrations of 3540 mg/kg in the peel, 304 mg/kg in the pulp, and 556 mg/kg in the seeds. The total mineral content was highest in apples from the Kecskemet, Nyiregyhaza, Tordas and Vamosmikola regions. The Nyiregyhaza region exhibited the lowest (K+Mg)/Ca ratio in the flesh, indicating a lower risk of bitter pit development during storage and better fruit quality. However, high concentrations of toxic elements, especially Cd and Pb, were detected in the apple pulp from the Kecskemet, Nyiregyhaza, Tordas, Vamosmikola and Zalasanto regions, raising potential concerns for consumer health. These findings emphasize the importance of continuously monitoring mineral and toxic element accumulation to ensure fruit quality and safety.

**Key words:** food quality, fruits, mineral characteristics, nutritional value

## **Acknowledgements**

*This work is supported by the New Széchenyi Plant Project No. EFOP-3.6.3.-VEKOP-16-2017-00005 and by the Projects No. GINOP-2.2.1-18-2020-00025 and No. NKFIH-831-10/2019 as well as by Doctoral School of Food Science, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences.*

---

<sup>5</sup> Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Food Science and Technology  
Hungary, Budapest 1118 Ménesi út 45.  
banthimy@gmail.com

# **Fényáteresztést növelő TiO<sub>2</sub> szol-gél bevonatok fotokatalitikus hatásának tanulmányozása színezékbontással**

## ***Study of the photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> sol-gel coatings with enhanced light transmittance via dye molecule degradation***

Bors Adrienn, Albert Emőke, Hórvölgyi Zoltán<sup>6</sup>

### **Összefoglaló**

Kutatómunkánk célja fényáteresztést növelő és fotokatalitikusan aktív titán-dioxid (TiO<sub>2</sub>) bevonatok előállítására szol-gél eljárással, amelyek fotokatalitikus hatását kívántuk továbbfejleszteni. A bevonatokat üveghordozón állítottuk elő mártásos technikával, a fotokatalitikus aktivitás megőrzésére kompakt szilika védőbevonatot alkalmaztunk, amely meggátolja az üvegben található nátrium-ionok kijutását a TiO<sub>2</sub> felületére, ezáltal csökkentve azok fotokatalitikus aktivitását. A bevonatok fajlagos felületének növelésére mezopórusos szerkezetet alakítottunk ki pórusképző anyag alkalmazásával, a fényáteresztés növelése céljából a pórusképző anyagot tartalmazó bevonatokat ammóniatartalmú vízgőztérben utólagosan öregítettük. A bevonatokat rétegenként magas hőmérsékleten kezeltük. A fotokatalitikus aktivitás növelése érdekében egyes bevonatok pórusrendszerébe ezüstionokat juttattunk, amelyeket magas hőmérsékleten fémüstté redukáltunk. A bevonatok fényáteresztését UV-látható spektrofotometriával jellemeztük a 400-800 nm hullámhossz-tartományban felvett transzmittancia spektrumok alapján. A fotokatalitikus hatás méréséhez a bevonatok pórusrendszerébe rodamin 6G, illetve metilénkék színezékmolekulákat juttattunk, amelyek UV- és látható fényű besugárzás hatására bekövetkező változását vizsgáltuk a szilárd-levegő határfelületen.

### **Köszönetnyilvánítás**

*A Doktoranduszi Kiválósági Ösztöndíj Program (DKÖP) által támogatott projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem támogatása alapján valósult meg. Albert Emőke köszönetét fejezi ki a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem „Vissza a Tudományba” ösztöndíjpályázata által nyújtott anyagi támogatásért.*

### **Summary**

In this work titanium-dioxide (TiO<sub>2</sub>) sol-gel coatings with photocatalytic activity and enhanced light transmittance were developed. The coatings were prepared by dip coating onto glass substrates. First a compact silica layer was deposited onto the glass substrate to prevent the migration of the sodium ions onto the surface of the TiO<sub>2</sub>. Otherwise sodium ions have harmful effect to the photocatalytic activity. TiO<sub>2</sub> coatings were deposited onto the silica layers. Each layer was conditioned by heat treatment at elevated temperature. Coatings with mesoporous structure were developed by applying surfactant template during the precursor sol synthesis, thus increasing the specific surface area of the coatings. In order to enhance light transmittance the coatings still containing the surfactant molecules were aged under ammonia containing humid atmosphere. The photocatalytic efficiency was improved by impregnating silver ions into the porous system, then the silver ions were reduced to metal silver by heat treatment. The light transmittance was measured by UV-Vis spectrophotometry in the wavelength range of 400-800 nm. Photocatalytic activity of the samples was measured by the degradation of rhodamine 6G and methylene blue dye molecules impregnated into the pore system. Measurements were carried out at the solid-air interface under both UV and visible light.

### **Acknowledgements**

*The project supported by the Doctoral Excellence Fellowship Programme (DCEP) is funded by the National Research Development and Innovation Fund of the Ministry of Culture and Innovation and the Budapest University of Technology and Economics. Emőke Albert acknowledges the financial support of the “Parents Back to Science” grant of the Budapest University of Technology and Economics.*

<sup>6</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

# **Alkáli aktivált cementek nyomtatására alkalmas 3D nyomtató és anyagi összetételek fejlesztése**

## ***Development of a 3D Printer and Material Compositions for Printing Alkali-Activated Cements***

Cziráki Bálint, Dr. Egedy Attila, Kámán András<sup>7</sup>

### ***Összefoglaló***

Az alkáli aktivált cementek (AAC), közismert nevükön geopolimerek kutatása mára olyan szintre fejlődött, hogy annak gyakorlati felhasználási lehetőségeinek vizsgálata is szükségszerűvé vált. Ennek kapcsán kerül előtérbe az AAC massa alakadásának problémája, egy adott termék végső formájának kialakítása. Erre az egyik legkorszerűbb módszer, a 3D nyomtatás kínál lehetőséget. Egy olyan 3D nyomtatót terveztem és építettem, amely alkalmas geopolimerek alakadására. A geopolimer 3D nyomtató vázának és hajtásainak elvi működése megegyezik a hagyományos műanyag FDM nyomtatókéval, azonban adagolórendszere egy teljesen új fejlesztési és kutatási terület. További feladat volt olyan AAC összetételek kidolgozása, amelyek kielégítik az alapvető nyomtathatósági feltételeket (kötésidő, folyósság, extrudálhatóság, alakmegtartó képesség). Nyomtatási kísérletek és az ott kapott tapasztalatok alapján, elvégezve a szükséges visszacsatolásokat, az alapvető fejlesztési irány a megfelelő anyag-adagolórendszer páros megtalálására fókuszálódott. Többféle adagolórendszert terveztem, ezek közül a vízszintes extrudálás bizonyult a legmegfelelőbbnek, amelyet speciális kevertető-vibráltató rendszerrel láttam el az anyag megfelelő továbbíthatósága érdekében. Az adagolórendszer evolúciója és az anyagfejlesztés egy párhuzamos folyamat; a munka végső célja egy optimálisan működő, speciálisan AAC-ek alakadására kialakított 3D nyomtató építése és megfelelő anyagi összetételek meghatározása.

### ***Summary***

The research on alkali-activated cements (AAC), commonly known as geopolymers, has advanced to a level where investigating their practical applications has become essential. One of the key challenges in this regard is the shaping of AAC mixtures and refining the final form of a given product. One of the most advanced methods available for this purpose is 3D printing.

I have designed and built a 3D printer capable of shaping geopolymers. The structural framework and drive mechanisms of the geopolymer 3D printer operate similarly to those of conventional plastic FDM printers. However, the material feeding system represents an entirely new field of research and development. Another crucial task was to develop AAC compositions that meet the fundamental printability requirements, including setting time, flowability, extrudability, and shape retention. Based on printing experiments and the feedback from these tests, the primary development focus was on finding the optimal combination of material and feeding system. I designed several types of material feeding systems, and among them, horizontal extrusion proved to be the most effective. To ensure proper material flow, I equipped it with a special mixing and vibrating system. The co-evolution of the material feeding system and material development is a parallel process. The ultimate goal of this project is to construct a fully optimized 3D printer specifically designed for shaping AACs, along with determining the most suitable material compositions.

---

<sup>7</sup> Pannon Egyetem  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

## **Bio-olajok minőségjavításának lehetőségei** *Possibilities for bio-oil upgrading*

Császár Kiara Atina, Zsinka Viktória, Miskolczi Norbert<sup>8</sup>

### **Összefoglaló**

A különböző hulladékok újrahasznosítása nemcsak környezetvédelmi, hanem gazdasági szempontból is kiemelten fontos tématerület. Éves szinten jelentős mennyiségű biomassza, települési szilárd hulladék és egyéb, polimereket is tartalmazó hulladék keletkezik. A polimer hulladékok pirolízissel történő újrahasznosításakor szénhidrogéneket is tartalmazó gáztermék, bio-olaj és szilárd maradék keletkezik. A bio-olaj a szénhidrogének mellett jelentős mennyiségű aldehidet, ketont, karbonsavat, fenol származékokat, alkoholt és egyéb oxigéntartalmú szerves vegyületet tartalmaz. Ezek a vegyületek, savas tulajdonságuk miatt, jelentősen rontják a bio-olajok további felhasználhatóságát. Emiatt nagy jelentősége van azoknak az eljárásoknak, amelyekkel a bio-olajok savassága csökkenthető. A bio-olajok minőségjavítása a pirolízis paramétereinek megfelelő megválasztásával, vagy azt követő kémiai átalakításokkal lehetséges. A minőségjavítás során a bio-olajok savszáma csökken, korróziós, szállítási és tárolási tulajdonságaik pedig javulnak. Kutatómunkánk során biomasszából előállított bio-olajok minőségjavításának lehetőségeit vizsgáltuk. Meghatároztuk azokat a paramétereket, melyekkel a bio-olajok tulajdonságváltozásai nyomon követhetők. A minőségjavítás során a biomasszából előállított olajok szénhidrogén-összetétele jelentősen megváltozott, amelynek eredményeképpen a hosszú távú alkalmazás szempontjából fontos jellemzők nagymértékben javultak.

### **Köszönetnyilvánítás**

*Ez a projekt az Európai Unió Horizont 2020 kutatási és innovációs programjából kapott finanszírozást a 872102. számú támogatási megállapodás alapján.*

### **Summary**

Recycling of various wastes has a significant importance not only from environmental but also from economic aspects. Significant amount of biomass, municipal solid waste and other waste containing polymers is generated annually. Recycling polymer wastes by pyrolysis results gas product containing hydrocarbons, bio-oil and solid residue. In addition to hydrocarbons, bio-oil contains significant amount of aldehydes, ketones, carboxylic acids, phenol derivatives, alcohols and other oxygen-containing organic compounds. Due to their acidic properties, these compounds significantly deteriorate the further applicability of bio-oils. For this reason, the processes by which the acidity of bio-oils can be reduced has a great importance. The quality of bio-oils can be improved by optimal pyrolysis parameters or by post-situ chemical transformations. During the upgrading, the acid number of bio-oils decreases, and the corrosion, transport and storage properties can be improved. During this work, the possibilities for biomass sourced bio-oils upgrading had been investigated. The main parameters had been determined, with which the changes in the properties of bio-oils can be followed. During the quality improvement, the hydrocarbon composition of the biomass sourced oils changed significantly, as a result of which the properties important for long-term application were also improved.

### **Acknowledgements**

*This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 872102.*

---

<sup>8</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ  
MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék  
Veszprém, Egyetem u. 10.

**Szerkezeti vasat tartalmazó kaolinit felületmódosítása:  
kaolinit-karbamid interkalációs komplexek előállítása**  
*Surface modification of a kaolinite with structural iron:  
synthesis of kaolinite-urea intercalation complexes*

Zsirka Balázs, Csóka Jázmin Damarisz, Vágvölgyi Veronika<sup>9</sup>

**Összefoglaló**

A könnyen hozzáférhető, természetes agyagásványok kedvező fizikai és kémiai tulajdonságaik, valamint környezetbarát jellegük következtében széleskörben alkalmazott ipari nyersanyagok. Az agyagásványok tulajdonságai mesterséges eljárások (pl. interkaláció) alkalmazásával módosíthatók. Egy ilyen mesterséges felületmódosítás az interkaláció, amely során az agyagásványok rétegei expandálhatók, többlépéses csereinterkaláció esetén akár rétegenként is szétválaszthatók lehetnek (exfoliáció, nanostruktúra szintézis). A felületmódosított agyagásványok, főként adszorbensként és nanokatalizátorként történő környezettechnológiai alkalmazása kedvező, és jelenleg intenzíven kutatott. A közelmúlt kutatási eredményei alapján a szerkezeti vasat tartalmazó kaolinit fotokatalitikus alkalmazása különösen kedvező lehet, azonban a nanotekercsek előállítása gátolt és nem megfelelő hatékonyságú (Zsirka et al., 2022). Az exfoliációs gátlás új szintézisút és külső energiaközlés alkalmazásával csökkenthető lehet. A többlépéses csereinterkaláció hatékonyságát alapvetően meghatározza az első lépésben előállított prekursor hatékonysága. Eredményeink alapján a szerkezeti vasat tartalmazó kaolinit-karbamid prekursor előállítási hatékonysága elmaradt a várttól (<90%), ezért szükségessé vált annak optimalizálása.

A poszter munkán egy magyarországi lelőhelyről származó, magas vastartalmú kaolin karbamidos interkalációs felületmódosításának eredményeit mutatjuk be. A kaolin szerkezetvizsgálatát és a kaolinit interkalációs hatékonyságának meghatározását porröntgendiffrakció (XRD) segítségével végeztük. A kaolin kaolinit tartalmát termikus analízis (TG/DTG) segítségével határoztuk meg, a szerkezetvizsgálatokat infravörös spektroszkópiával (FTIR-ATR) egészítettük ki. Vizsgáltuk a karbamidos interkalációs komplex kialakításának körülményeit, köztük (1) a hőntartási hőmérsékletet (80, 100 °C), (2) hőntartási időt (24-144 óra), valamint (3) az eltérő interkalálószer és víz arányok hatását az interkalációs hatékonyságra. A kísérleti eredményeink alapján meghatározott optimális paramétereket tervezzük a jövőben alkalmazni a szerkezeti vasat tartalmazó kaolinit nanostruktúrák exfoliációs szintézisének.

**Irodalomjegyzék**

Zsirka, B., Gyórfi, K., Yamaguchi, T., Táborosi, A., Vágvölgyi, V., Parameswary, C., Homonnay, Z., Kuzmann, E., Horváth, E., Kristóf, J., 2022. Effect of structural iron on nanoscroll formation via exfoliation of a high iron-content kaolin. *J. Mater. Res.* <https://doi.org/10.1557/s43578-022-00768-y>

---

<sup>9</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar  
Természettudományi Központ, Analitikai Kémia Kutatócsoport  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.  
zsirka.balazs@mk.uni-pannon.hu

# **Klór-alkáli elektrolízishez használt sóoldatok csapadékképzéses, flokkulációs, ülepitéses és ioncserés tisztításának optimalizálása** *Optimization of precipitation, flocculation, sedimentation and ion exchange purification of salt solutions used for chlor-alkali electrolysis*

Csorba Benjám<sup>10</sup>, Tóth Péter<sup>11</sup>, Hórvölgyi Zoltán<sup>12</sup>, Madarász János<sup>13</sup>,  
Mihalkó Andrea<sup>14</sup>, Farkas László<sup>15</sup>, Boros Renáta Zsanett<sup>16</sup>, Gresits Iván László<sup>17</sup>

## **Összefoglaló**

A klór-alkáli iparban korábban elterjedt Hg-cellás elektrolízist a Minamata-egyezmény révén a jelenlegi BAT-technológiának minősülő membráncellás elektrolízis váltotta fel. Ezen technológia azonban jelentősen érzékenyebb a nyersanyagként használt sóoldat fémszennyezőire, így azok hatékonyabb eltávolítása új mérnöki kihívásként jelentkezett. Az alkáliföldfémek és a vas eltávolítása szélesebb körben tanulmányozott terület volt, így a legnagyobb kihívást az Al-tartalom 0,1 ppm alá történő csökkentése okozta. Munkánk során előbb spektrofotometriai módszert fejlesztettünk ki tömény sóoldatok ppb szintű Al-tartalmának mérésére, majd széleskörű kísérleti optimalizációt folytattunk a fémszennyezők eltávolítására, kiemelt hangsúlyt fektetve az alumíniumra. Vizsgáltuk a szennyezők csapadékképzéses eltávolítását, majd a koaguláció, flokkuláció és szedimentáció folyamatát, feltérképezve többek között a pH, az egyes flokkulálószerkezetek, a hőmérséklet és az oldat kezdeti összetételének hatását. Az alumínium mellett a kalcium, magnézium, vas és a szilícium eltávolítását is vizsgáltuk. A maradék, oldott ionok formájában jelenlévő szennyezést ioncsere útján távolítottuk el, feltérképezve a hőmérséklet, a pH, a gyanta telítettségi fokának, a regenerációs módnak és egyéb paramétereknek a hatását, több különböző ioncserélő gyantát megvizsgálva. Kísérleti munkánkat szimulációs érzékenységvizsgálatokkal egészítettük ki. Végeredményként sikerült elérnünk a stabilan 0,05 ppm alatti Al-koncentrációt a tisztított sólében, miközben a további szennyezők koncentrációja is kedvezően alacsony, így hozzájárulva az elektrolízis-membránok hosszabb élettartamához, a kisebb fajlagos villamosenergia-fogyasztáshoz és a nagyobb terméktisztasághoz.

## **Köszönetnyilvánítás**

*A C1340882 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2021 pályázati program finanszírozásában valósult meg.*



## **Summary**

Hg-cell electrolysis, previously prevalent in the chlor-alkali industry, has been replaced by membrane-cell electrolysis, which is now a BAT technology, by the Minamata Convention. This technology is, however, significantly more sensitive to metal contaminants in the brine used as a raw material, and their more efficient removal has become a new engineering challenge. The removal of alkaline earth metals and iron was a more widely studied area, so the main challenge was to reduce Al content below 0.1 ppm. In our work, we first developed a spectrophotometric method to measure the Al content of concentrated brines at ppb level, and then carried out extensive experimental optimization for the removal of metal contaminants, with a particular

10 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, H-1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.

BorsodChem Zrt., H-3700 Kazincbarcika, Bolyai tér 1.

11 BorsodChem Zrt., H-3700 Kazincbarcika, Bolyai tér 1.

12 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, H-1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.

13 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, H-1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.

14 BorsodChem Zrt., H-3700 Kazincbarcika, Bolyai tér 1.

15 BorsodChem Zrt., H-3700 Kazincbarcika, Bolyai tér 1.

16 BorsodChem Zrt., H-3700 Kazincbarcika, Bolyai tér 1.

17 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, H-1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.

focus on aluminum. We have investigated the removal of contaminants by precipitation, followed by coagulation, flocculation and sedimentation, exploring the effects of pH, flocculants, temperature and initial solution composition, among others. In addition to aluminum, the removal of calcium, magnesium, iron and silicon was also investigated. Residual contamination in the form of dissolved ions was removed by ion exchange, exploring the effects of temperature, pH, resin saturation, regeneration mode and other parameters, by testing several different ion exchange resins. Our experimental work was supplemented by simulation sensitivity studies. As a final result, we have achieved a stable Al concentration below 0.05 ppm in the purified brine, while the concentration of other contaminants is also favorably low, thus contributing to longer electrolysis membrane lifetime, lower specific electricity consumption and higher product purity.

#### ***Acknowledgements***

Project no. C1340882 has been implemented with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the KDP-2021 funding scheme.



# Gamma-dekalakton termelés: A *Yarrowia divulgata* mint biotechnológiai eszköz

## Gamma-Decalactone Production: *Yarrowia divulgata* as a Biotechnological Tool

Eszterbauer Edina, Dr. Németh Áron<sup>18</sup>

### Összefoglaló

A  $\gamma$ -decalakton (GDL) az egyik barackízű lakton, amelyet az FDA élelmiszer-adalékanyagként engedélyezett. Az aromák mikrobiális előállítását a növényekből történő kivonás vagy a kémiai szintézis alternatívájaként nagy figyelmet kapott [1]. A gamma-dekalakton ( $C_{10}H_{18}O_2$ ) egy intramolekuláris 4-hidroxi-dekánsav-észter. Olajos, színtelen folyadék, intenzív krémes-barack illat jellemzi, amely már nagyon alacsony koncentrációban is érzékelhető - vizes oldatban körülbelül 88  $\mu\text{g/L}$ . A biotechnológiai módszerek alacsony hatékonyságuk ellenére lehetővé teszik a kívánt enantiomer (R) szintézisét, és megfelelnek a természetes összetevők élelmiszerekben való felhasználása iránti fogyasztói igényeknek. A gamma-dekalakton szintézisének biotechnológiai módszerei főként az élesztő peroxisómáiban előforduló zsírsavak oxidatív lebontási folyamatain alapulnak. A legtöbb kutatás a ricinolsav  $\beta$ -oxidációjával foglalkozik, amely körülbelül 80%-ban van jelen a növény magjából nyert ricinusolajban [2]. *Y. lipolytica* DSM 3286 törzssel ricinolsav szubsztráton 62,4 mg/l gamma-dekalakton termelt [1]. Egy másik kutatásban összehasonlították a *Y. lipolytica* CCMA 0242 törzs ricinusolajon és glicerinen végzett gamma-dekalakton termelését, és azt kapták eredményül, hogy 30% ricinusolajat tartalmazó tápközegen 75,8 mg/l gamma-dekalakton termelődött, 10% glicerinen pedig 2,5 mg/l [3].

A mi kutatásunk fókuszában a *Y. lipolytica* közeli rokona, a *Y. divulgata* áll, amely GDL termelését még nem írták le. A *Y. lipolytica*-val leírt ricinusolajon végzett GDL fermentációt adaptáltuk a *Y. divulgata*-ra is, ahol nyomon követtük a sejtömeg növekedést optikai denzitás méréssel a fermentáció során, szárazanyag méréssel a végső sejtömeget, és tervezzük a minták analizisét elvégezni műszeres analitikai vizsgálatokkal (GC, HPLC).

### Summary

The  $\gamma$ -decalactone (GDL) is one of the peach-flavoured lactones approved by the FDA as a food additive. The microbial production of flavourings as an alternative to extraction from plants or chemical synthesis has received much attention [1]. Gamma-decalactone ( $C_{10}H_{18}O_2$ ) is an intramolecular 4-hydroxy-decanoic acid ester. It is an oily, colourless liquid with an intense creamy-peach odour, detectable at very low concentrations - about 88  $\mu\text{g/L}$  in aqueous solution. Biotechnological methods, despite their low efficiency, allow the synthesis of the desired enantiomer (R) and meet consumer demand for the use of natural ingredients in food. The biotechnological methods for the synthesis of gamma-decalactone are mainly based on oxidative degradation processes of fatty acids occurring in yeast peroxisomes. Most research has focused on the  $\beta$ -oxidation of ricinoleic acid, which is present in about 80% of castor oil obtained from the seeds of the plant [2]. *Y. lipolytica* strain DSM 3286 produced 62.4 mg/l of gamma-decalactone on ricinoleic acid substrate [1]. In another study, the production of gamma-decalactone by *Y. lipolytica* strain CCMA 0242 on castor oil and glycerol was compared and it was found that a medium containing 30% castor oil produced 75.8 mg/l gamma-decalactone and 10% glycerol produced 2.5 mg/l [3].

Our research focused on the closed relative of *Y. lipolytica* i.e. *Y. divulgata*, of which GDL production was not described yet. Therefore, the castor oil based and described process of *Y. lipolytica* was adapted to *Y. divulgata*, where we monitored cell weight growth, measured final cell weight by dry weight measurement, and planned to determine GDL via instrumental analysis of GC and HPLC..

<sup>18</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék  
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

### ***Irodalomjegyzék/References***

- [1] Moradi, H., Asadollahi, M. A., & Nahvi, I. (2016). Optimaztion of gamma-decalactone production by yeast *Yarrowia lipolytica* using the taguchi method. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci*, 6, 685-688.
- [2] Małajowicz, J., Nowak, D., Fabiszewska, A., & Iuliano, A. (2020). Comparison of gamma-decalactone biosynthesis by yeast *Yarrowia lipolytica* MTLY40-2p and W29 in batch-cultures. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 34(1), 330-340.
- [3] de Andrade, D. P., Ferreira Carvalho, B., Freitas Schwan, R., & Ribeiro Dias, D. (2017). Production of  $\gamma$ -decalactone by yeast strains under different conditions. *Food Technology and Biotechnology*, 55(2), 225-230.

# **Digitális kamera alapú UV képalkotással történő koncentrációmérési technika jellemzése kimutatási határ, szelektivitás és pontosság segítségével**

## ***Characterization of digital camera-based UV-imaging for concentration measurement with limit of detection, specificity and precision***

**Fazekas Bettina, Galata Dorián László, Nagy Zsombor Kristóf,  
Mészáros Lilla Alexandra, Hirsch Edit<sup>19</sup>**

### **Összefoglaló**

Napjainkban a gyógyhatású készítmények iránti kereslet megköveteli azt, hogy olyan jól működő minőségbiztosítási rendszereket fejlesszenek és alkalmazzanak a gyógyszeriparban, amelyekkel gyorsan, olcsón és hatékonyan tudják a késztermékek minőségét ellenőrizni. Azonban a leggyakrabban erre a célra felhasznált módszerek, mint például a nagynyomású folyadékkromatográfia (HPLC) vagy ennek kapcsolt változatai nemcsak időigényesek, de drágák is, és kizárólag destruktív vizsgálatra képesek. Így kutatásom során egy olyan alternatív, roncsolásmentes, gépi látáson és mesterséges intelligencián alapuló rendszert hoztam létre, amellyel a gyógyszeripari tabletták hatóanyag koncentrációja UV fényű megvilágítás segítségével megbecsülhető. A kidolgozott módszerrel a fluorofór csoportot tartalmazó hatóanyagok-koncentrációja könnyedén meghatározható, ugyanis az eltérő hatóanyag-tartalmak eltérő fényemissziót okoznak. Azonban ahhoz, hogy a gyakorlatban is alkalmazható legyen az UV-képalkotás, elengedhetetlen a módszer kimutatási és meghatározási határának definiálása. Emellett a módszer specifikusságát és pontosságát is meghatároztam annak érdekében, hogy információt kapjak a technika megbízhatóságáról és alkalmazhatóságáról eltérő körülmények között.

### **Köszönetnyilvánítás**

*Az egyik szerző, Fazekas Bettina által elnyert Doktorandusz Kiválósági Ösztöndíj Program (DKÖP-25-1-BME-13) által támogatott projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alaphól nyújtott, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem támogatása alapján valósult meg.*

### **Summary**

Nowadays, the demand for medicinal products requires the development and implementation of well-functioning quality assurance systems in the pharmaceutical industry that allow for the rapid, cost-effective, and efficient quality control of final products. However, the most commonly used methods for this purpose, such as high-performance liquid chromatography (HPLC) and its coupled versions, are not only time-consuming and expensive but also limited to destructive testing. In my research, I developed an alternative, non-destructive system based on machine vision and artificial intelligence. This system enables the estimation of the active ingredient concentration in pharmaceutical tablets by analysing different active substances under UV light illumination. The developed method allows for the easy determination of the concentration of active ingredients containing fluorophore groups, as different active ingredient contents result in different light emissions. However, for UV imaging to be practically applicable, it is essential to define the limit of detection and limit of quantification of the method. Additionally, I evaluated the specificity and accuracy of the method to gain insights into its technical reliability and applicability under different conditions.

### **Acknowledgements**

*One of the authors Bettina Fazekas, would like to express her gratitude for the financial support received. The project supported by the Doctoral Excellence Fellowship Programme (DKÖP-25-1-BME-13) is funded by the National Research Development and Innovation Fund of the Ministry of Culture and Innovation and the Budapest University of Technology and Economics.*

<sup>19</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Szerves Kémiai és Technológiai Tanszék, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar  
H-1111 Budapest, Hungary 3. Műegyetem rkp. 3.

**Extremofil mikroorganizmusok izolálása vörösiszapból  
és potenciális biotechnológiai hasznosításuk**  
*Extremophilic microorganisms isolation from bauxite residue  
and their potential biotechnological applications*

Feigl Viktória<sup>20</sup>, Röhberg Melinda Zsuzsanna<sup>21</sup>, Masa Kinga<sup>22</sup>,  
Hegedűs Henrik<sup>23</sup>, Deák Veronika<sup>24</sup>, Medgyes-Horváth Anna<sup>25</sup>

**Összefoglaló**

A vörösiszap (bauxit maradék) a timföldgyártás hulladéka, amely a Bayer-folyamat (bauxit lúgos feltárása nagy hőmérsékleten) során keletkezik. A világszinten hatalmas mennyiségekben keletkező hulladék (hazánkban lerakott mennyisége 50 millió tonna) extrém élőhely a mikroorganizmusok számára lúgos pH-ja, só- és toxikus elemtartalma, valamint a szerves tápanyagok hiánya miatt. Magyar és görög vörösiszapból hagyományos és alkalofil mikrobiológiai táptalajokon számos baktérium- és gombatorzset sikerült izolálni és azonosítani. A legfontosabb azonosított gombafajok az *Aspergillus*, *Gibellulopsis*, *Acrostalagmus* és *Sarocladium* nemzetségbe tartoznak. Az *Aspergillus iizukae* M001-es törzs különlegessége, hogy akár 26% NaCl tartalmat is elvisel a tápközegben, ezzel extrém halotoleránsnak minősíthető. Emellett alkalotoleráns, 15–37 °C-on is tenyészthető, nagy mennyiségben termel sziderofórokat, ecetsavat és oxálsavat, valamint többféle szerves szénforrás (pl. glükóz, xilóz, cellulóz, keményítő) bontására is képes. A baktériumok között *Micrococcus*, *Dietzia*, *Peribacillus*, *Nesterenkonionia*, *Nocariopsis* és *Pseudomonas* fajokat találtunk. A *Micrococcus luteus* és a *Nesterenkonionia massiliensis* törzsek extrém halotoleránsak (sótűrés 16%-ig), alkalofilek és sziderofór termelők. Az izolált mikroorganizmusok többségét sikerült a metagenomi elemzés során is kimutatni. A metagenom elemzés alapján a mikrobiális összetétel különbözik a friss, illetve az 1 és 3 hónapja szabadban tárolt görög vörösiszap mintákban. Az izolált törzsek alkalmazhatóak lehetnek pl. alkalofil enzimek termeléséhez, a kozmetikai iparban, vagy a talajok javítására. Kiemelkedő felhasználási lehetőségük a vörösiszapból kritikus fontosságú nyersanyagok, mint a Sc, Ga, Ti, V és ritkaföldfémek kinyerésére való felhasználásuk biológiai kioldási eljárásokban.

**Köszönetnyilvánítás**

A kutatás támogatója a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal, OTKA FK 146542 „Vörösiszapban található kritikus fontosságú nyersanyagok biológiai kioldásának mechanizmusai” című projekt.

20 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

21 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

22 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

23 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

24 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

25 Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Fizikai és Csillagászati Intézet, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

## A települési szilárd hulladék keletkezésének előrejelzési módszerei

Fejes Róbert, Kurdi Róbert, Sebestyén Viktor<sup>26</sup>

### *Összefoglaló*

A települési szilárd hulladék mennyiségének növekedése és összetételének változása jelentős kihívást jelent a hulladékgazdálkodási rendszerek számára. A hatékony tervezés érdekében elengedhetetlen a hulladéktermelődés előrejelzése, amely lehetővé teszi az optimális kapacitáskihasználást és a fenntartható erőforrás-gazdálkodást. A pontos előrejelzési modellek hozzájárulnak a hosszú távú hulladékkezelési stratégiák kidolgozásához és a gazdasági, valamint környezeti hatások csökkentéséhez.

Kutatásunk célja olyan prediktív modellek kidolgozása, amelyek a települési szilárd hulladék keletkezésének tendenciáit a legnagyobb pontossággal írják le. A modell bemenetét egy 30 változóból álló készletből választjuk ki, amely magában foglalja a népességi, gazdasági (GDP, fogyasztási szokások), infrastrukturális és környezeti indikátorokat. A legjobb változók kombinációját statisztikai és gépi tanulási alapú módszerekkel határozzuk meg, és ennek alapján állítjuk fel az optimális előrejelzési modellt. Az alkalmazott modellek között szerepelnek regressziós technikák és prediktív algoritmusok, amelyek különböző megközelítéseket kínálnak a hulladékkeletkezés dinamikájának leírására.

A modellek teljesítményének összehasonlítása és értékelése révén célunk olyan módszertani ajánlások kidolgozása, amelyek támogatják a hatékony hulladékgazdálkodási döntéshozatalt. Az eredmények segíthetnek a fenntartható stratégiák megalkotásában és a hulladékkezelési rendszerek hosszú távú fejlesztésében.

---

<sup>26</sup> Pannon Egyetem  
H-8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

# Towards understanding how more environmentally realistic exposure modulates the toxicity of graphene oxide in the aquatic ecosystem

Ildikó Fekete-Kertész<sup>27</sup>, Krisztina László<sup>28</sup>, Benjámín Gyarmati<sup>29</sup>, Mónika Molnár<sup>30</sup>

## Summary

While graphene oxide (GO) is widely used in various applications, there are still significant knowledge gaps in its ecotoxicology and environmental risk assessment [1]. As standardized single-species-based assays fail to represent toxicological pathways implying interactions between organisms [2], trophic transfer studies are essential for investigating environmentally realistic effects. The occurrence and accumulation of carbon-based nanomaterials in the aquatic environment are undeniable [3]. Graphene-based materials can enter the environment through intentional applications, such as in environmental remediation, agricultural practices, and consumer products, as well as unintentional releases during production, use, and disposal [4]. Approximately 1.4% of annual GBM production is predicted to end in the environment. Projections also indicate that the expected release concentrations in Europe in 2030 will be 1.4 ng/L in surface water and 20 µg/kg in soil treated with sludge [5]. The importance of the applied feeding strategy of the primary consumers by algae-GO aggregates has been reported [6].

In this study a pre-treatment with different unicellular freshwater algal species was introduced before the ecotoxicity tests to mimic environmentally more realistic conditions. To investigate changes in toxicity profiles induced by algae pre-treatment of a well-characterized GO product, a comprehensive ecotoxicological evaluation was performed with *Daphnia magna*. This included conventional lethality and immobilization tests, along with sublethal endpoints such as heart rate and feeding activity.

As a result of the algae pre-treatment of GO, algae species-dependent mitigation of acute toxicity for *Daphnia magna* was observed. Our results proved that GO poses a different extent of toxicity in complex aquatic environments because its acute toxicity can successfully be mitigated through the interaction with algae, even at very high concentrations (25 mg/L). Thus, more realistic experimental studies should verify and help better understand whether and how trophic transfer could mitigate GO toxicity in aquatic ecosystems.

## References

- [1] Malhotra, N., Villaflores, O.B., Audira, G., Siregar, P., Lee, J.-S., Ger, T.-R., Hsiao, C.-D., *Molecules*, 25, 3618 (2020)
- [2] Carboni, A., Slomberg, D.L., Nassar, M., Santaella, C., Masion, A., Rose, J., Auffan, M., *Environmental Science and Technology*, 55, 16270-16282 (2021)
- [3] Arvidsson, R., Boholm, M., Johansson, M., De Montoya, M.L., *NanoEthics*, 12, 199-210 (2018)
- [4] Ding, X., Pu, Y., Tang, M., Zhang, T., *Nano Today*, 42, 101379 (2022)
- [5] Hong, H., Part, F., Nowack, B., *Prospective Environmental Science and Technology*, 56, 13798-13809 (2022)
- [6] Malina, T., Maršáľková, E., Holá, K., Zbořil, R., Maršáľek, B., *Journal of hazardous materials*, 399, 123027 (2020)

<sup>27</sup> Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, Department of Applied Biotechnology and Food Science, Environmental Microbiology and Biotechnology Group, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., Hungary

<sup>28</sup> Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, Department of Physical Chemistry and Materials Science, Surface Chemistry Group, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., Hungary

<sup>29</sup> Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, Department of Physical Chemistry and Materials Science, Soft Matters Group, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., Hungary

<sup>30</sup> Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, Department of Applied Biotechnology and Food Science, Environmental Microbiology and Biotechnology Group, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., Hungary

# **Hulladékbázison felépülő, vörösiszap tartalmú alkáli aktivált cementek fejlesztése a fenntarthatóság és a zöldgazdaság jegyében**

## ***Development of waste-based, red mud-containing alkali activated cements focusing on sustainability and green economy***

Fitosné Boros Adrienn, Pintér László Kristóf, Korim Tamás<sup>31</sup>

### **Összefoglaló**

Korunk építőiparának nem csupán az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások betartásával kell megküzdenie, hanem a nyers- és adalékanyagok hiányával is. Kritikus fontosságú, hogy olyan új forrásokat és anyagrendszereket keressünk, amelyekkel a körforgásos gazdaság és a zero waste szemlélet megvalósítható. Ígéretes jelöltjei ennek a törekvésnek az alkáli aktivált cementek (AAC-ek), amelyek lehetőséget biztosítanak az ipari melléktermékek és hulladékanyagok hasznosítására. A vörösiszap mennyisége évről évre nő, hasznosítása még ma is megoldatlan kérdés, tárolása pedig világméretű probléma. A legnagyobb gondot a vörösiszap erősen lúgos kémhatása okozza. A nagy pH rövid idő alatt korrodálja a gépek, berendezések, főként a vastartalmú szerkezeti részeit, így a gyártás rentabilitása kérdésessé válik. Azonban AAC-ekben történő alkalmazás esetén ez a probléma nem jelentkezik, így ez a terület biztató lehetőségeket kínál. A kutatás elsődleges célja a „hulladékból haszon” elv követése mentén olyan nagyobb hozzáadott értékű termékek fejlesztése, amelyek figyelemreméltó potenciállal rendelkeznek mind a klasszikus építőipari alkalmazások terén („tömör” próbatetek), mind pedig az egyedi felhasználási területeken (könnyített/habosított szerkezeti elemek). Az ipari hulladékanyagok (kohósalak, üveghulladék, vörösiszap) társításával előállított AAC-ek fizikai sajátságai a klasszikus kötőanyagok releváns értékeivel versenyképesek, adszorpciós kapacitásuknak köszönhetően pedig alkalmasak lehetnek az ipari eredetű szennyvizek nehézfém tartalmának megkötésére. Továbbá a habosított AAC-ek hőszigetelő sajátságainak köszönhetően az eddig használt gyúlékony, illetve szerves hőszigetelő anyagok alternatíváiként szolgálhatnak, és ennél fogva közreműködhetnek az épületek energiavesztésének visszafogásában.

### **Köszönetnyilvánítás**

*A Kulturális és Innovációs Minisztérium 2024-2.1.1-EKÖP kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alaphól finanszírozott szakmai támogatásával készült.*

### **Summary**

Today's construction industry not only has to challenge increasingly strict environmental regulations but also has to deal with a shortage of raw materials and additives. It is critical to find new sources and material systems that can achieve a circular economy and zero-waste approach. One promising candidate is alkali activated cements (AACs), which offer the possibility of using industrial by-products and waste materials.

The amount of red mud is increasing every year; its recovery is still an unsolved problem, and its storage is a global issue. The main concern is the highly alkaline chemistry of the sludge. The high pH corrodes the mainly iron-containing structural parts of equipment in a short time, making the profitability of production questionable. However, when red mud is used in AAC, this problem does not arise, so this area offers promising opportunities.

The main objective of the research is to develop, according to the principle of “waste-to-benefit”, higher added value products with remarkable potential both in classical construction applications (“solid” specimens) and in specific applications (lightweight/foamed structural elements). The physical properties of AAC produced by combining industrial waste materials (blast furnace slag, glass waste, and red mud) are competitive with those of traditional binders.

<sup>31</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Műszaki Tudományok Kutató-Fejlesztő Központ, AMIT  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

Their adsorption capacity may also make them suitable for binding heavy metals in industrial effluents. Furthermore, foamed AAC can be used as an alternative to commercially available flammable or organic insulation materials due to its thermal insulation properties. They can therefore help to reduce energy losses in buildings.

***Acknowledgements***

*Funded by the Research Fellowship Programme (Code: 2024-2.1.1-EKÖP) of Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Fund for Research, Development and Innovation*

## **Recycling possibilities of end-of-life RO membrane modules as a low-cost alternative for water treatment**

Girma Daba, Áron Bóna, Ildikó Galambos<sup>32</sup>

### ***Summary***

The reverse osmosis (RO) membrane plays a vital role in water treatment, but the limited lifespan of membrane modules presents environmental and economic challenges. RO membrane modules consist of multiple layers, including polymeric membranes, support materials, and adhesives, often combined with fiberglass or metal housings, making individual materials separation and recovery difficult. Currently, most end-of-life membranes are sent to landfills or incinerated, resulting in ecological issues and the loss of valuable resources. Therefore, attempts to recycle and reuse end-of-life membranes have been made in recent years for optimized resource utilization and minimal environmental impact. The best solution is to reuse the membrane modules' end-of-life RO membranes downcycled to membranes with nanofiltration (NF) or ultrafiltration (UF) characteristics. This provides a promising outcome by delivering membranes with satisfactory water permeability and pollutant rejection, comparable to commercial membrane products.

### ***Acknowledgements***

*This work has been implemented by the TKP2021-NKTA-21 project with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development, and Innovation Fund, financed under the 2021 Thematic Excellence Programme funding scheme.*

---

<sup>32</sup> University of Pannonia  
University Center for Circular Economy  
girmishdeme@gmail.com

**Triarylborán katalizált redukív éteresítés fém-  
és hidrogéngáz mentes környezetben**  
*Triarylborane-catalyzed reductive etherification under metal  
and hydrogen free conditions*

Györfi Sára, Forman Ferenc, Hegedüs Kristóf, Soós Tibor<sup>33</sup>

**Összefoglaló**

Az aldehidek és éterek egyaránt elterjedt funkciós csoportok a szerves kémiában, számos iparágban – többek között az illatszer- és az üzemanyagiparban – kiemelt jelentőséggel bírnak. A széles körben hozzáférhető aldehidek éterekké történő átalakítása különösen fontos szerepet játszik az illékony illatanyagok előállításában és az üzemanyag-adalékok fejlesztésében. Míg a redukív aminálás jól bevált szintetikus eljárásként terjedt el, a redukív éteresítés továbbra is egy megoldandó probléma a szerves kémiai szintézisben. Bár az elmúlt évtizedekben számos eljárást dolgoztak ki ennek megoldására, azonban egyik eljárás sem terjedt el igazán a kémiai szintézisekben, részben a drága vagy nehezen hozzáférhető reagensek és katalizátorok miatt. Munkám során egy új, hidrogéngáz- és fémmentes, organokatalizált redukív éteresítési eljárás fejlesztésére fókuszáltam. A cél egy olyan hatékony és fenntartható módszer kidolgozása volt, amely egyszerre ötvözi a zöldkémiai szempontokat és az ipari alkalmazhatóságot. A reakció egyszerre Brønsted- és Lewis-sav katalizált, miközben a szubsztituensből képződő köztitermék hidridforrásként szolgál. Ez a megközelítés lehetővé teszi a redukció és az éteresítés egy lépésben történő megvalósítását, elkerülve a többlépéses, idő- és anyagigényes hagyományos eljárásokat. A reagensként alkalmazott ortoformátok különösen előnyösek, mivel olcsók és széles körben elérhetőek. A fejlesztett eljárással változatosan szubsztituált étereket állítottam elő egy könnyedén méretnövelhető, robusztus szintetikus átalakítással.

**Summary**

Aldehydes and ethers are both prevalent functional groups across all branches of organic chemistry. The interconversion of functional groups from the former to the latter has garnered interest in both the fragrance and fuel industries. However, unlike reductive amination, reductive etherification remains a synthetic challenge. Despite the emergence of numerous procedures in past decades, none have gained significant traction in fine chemical synthesis. In my work, I focused on developing a novel, hydrogen gas-free and metal-free organocatalyzed reductive etherification process. The goal was to design an efficient and sustainable method that integrates green chemistry principles with industrial applicability. Organocatalysts offer several advantages over traditional metal-based catalysts, including lower toxicity, lower cost, easier preparation, and greater structural diversity. Additionally, they tend to be more robust, meaning they are less sensitive to changes in reaction conditions, which is a key benefit for large-scale industrial applications.

The reaction is catalyzed by both Brønsted and Lewis acids, while the intermediate formed from the substituent serves as a hydride source. This approach enables the reduction and etherification steps to occur in a single operation, avoiding the multistep, time-consuming, and resource-intensive conventional methods. Orthoformates were used as reagents due to their affordability, broad availability, and well-established role in acetal synthesis, as well as their function as dehydration agents.

---

<sup>33</sup> HUN-REN TTK Organokatalízis Kutatócsoport  
1117 Budapest, Magyar Tudósok Körútja 2.

# Nagynyomású áramlásos rendszerek folyamatkövetése dekonvolúcióval

## *Deconvolution-assisted process analytics of high pressure systems*

Hegyi Mihály, Morvay Zsigmond, Székely Edit<sup>34</sup>

### **Összefoglaló**

A nagynyomású műveletek alkalmazása számos ipari eljárás esetében teremt lehetőséget arra, hogy toxikus vagy veszélyes oldószereket zöldebb alternatívára cseréljünk. A nagynyomású technológiák fejlesztése során azonban kihívást jelent a laboratóriumi fázisban a folyamatkövetés a nagynyomású térben, különösen áramlásos rendszerek esetében. Míg egy reakció vagy anyagátadási művelet követése egyszerűbb a készülék végpontján, a nyert eredményeket terheli a központi műveleti egységet követő berendezések hatása; az így nyert információ az egyedi készülékkialakításból következően nehezen általánosítható.

Számos esetben a követő berendezések hatása leírható azok tartózkodási idő eloszlásával (TIE). A készülék egyes szakaszai TIE-nak ismeretében így a követő berendezések hatása leválasztható a készülék végi mérési eredményekből, a központi műveleti egység folyamatparaméterének időbeli alakulása megismerhető annak közvetlen mérése nélkül.

A követő berendezések TIE-nak leválasztására a dekonvolúció művelete alkalmas. A kihívást az jelenti, hogy a dekonvolúció a legtöbb esetben matematikailag problémás, és nincs általánosan alkalmazható számítási algoritmus, különösen, ha nem tehetünk előzetes feltételezést a kiszámítandó függvény (esetünkben például valamely anyag koncentrácioprofilja a központi műveleti egységben) alakjára.

Munkánkban egy iteratív, globális optimumkeresésen alapuló, nyílt hozzáférésű Python könyvtárakat alkalmazó számítási eljárást prezentálunk, amellyel a dekonvolúció műveletének eredménye hatékonyan becsülhető. A dekonvolúció működését a lamináris csőben való áramlás speciális esetét leíró Taylor-diszperzió példáján mutatjuk be, amellyel az anyagok diffúziós együtthatója becsülhető az anyag TIE-a alapján.

### **Köszönetnyilvánítás**

*A Doktoranduszi Kiválósági Ösztöndíj Program (DKÖP) által támogatott projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alaphól nyújtott, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem támogatása alapján valósult meg.*

### **Summary**

Application of high pressure processes in technologies presents an opportunity to substitute currently applied, toxic or harmful solvents to greener options. An important challenge in the process of development of high pressure processes during laboratory phase is process analytics in the high pressure environment, especially so in flow systems. It is much easier to follow a reaction or a mass-transfer process at the end of the experimental setup, however, the data gathered is affected by any units following the central unit operation. Owing to the usually applied unique experimental setups, it is challenging to acquire generally applicable information based on the determined process parameters.

The effect of these following units is often describeable by their residence time distribution (RTD). The effect of the following units on the measured data in these cases is separable by deconvolution. The main challenge is that deconvolution is usually an ill-posed problem without a generally applicable algorithm to use, especially if there are no applicable prior assumptions on the shape of the functions (in our case for example the time dependent concentration profile in the central unit operation).

In our work we present an iterative, global optimisation-based calculation method based on open-source Python libraries, with which the result of deconvolution can be approximated effectively. We present the workings of the algorithm on the example of Taylor-dispersion, which describes a

<sup>34</sup> H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

special case of flow in a tube with a laminar flow profile. With this model, the diffusion coefficient of materials can be approximated by examining their RTD.

***Acknowledgements***

*The project supported by the Doctoral Excellence Fellowship Programme (DCEP) is funded by the National Research Development and Innovation Fund of the Ministry of Culture and Innovation and the Budapest University of Technology and Economics.*

# **A hidrogénezett növényolajok (HVO) szerepe a fenntartható dízelgázolajok jövőjében: technológiák és kihívások**

## ***The Role of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) in the Future of Sustainable Diesel Fuels: Technologies and Challenges***

Horváth Dominik, Tomasek Szabina<sup>35</sup>

### ***Összefoglaló***

Bár az elektromobilitás egyre erősödő térnyerésének köszönhetően a szénhidrogénekkal működő belsőégésű motorok aránya csökken, a dízelgázolaj a jövőben is nagy jelentőségű marad. Ez a tendencia elsősorban a nehézgépjárművek és mezőgazdasági gépek, valamint a teherhajók Diesel-motorral történő meghajtásának tudható be, mely ágazatokban a nagy energiasűrűség, a hosszú hatótáv és a hatékony üzemelés döntő tényező. A fosszilis forrásból származó hajtóanyagok környezetkárosító hatása mára már egyértelművé vált, ezért a dízelgázolajok egy részének alternatív, biológiai forrásból származó, kis emissziójú komponensekkel való kiváltása kulcskérdés. A növényolajokból átészterezéssel előállítható biodízel (más néven zsírsav-metil-észter) széles körben elterjedt és alkalmazott biokomponense a gázolajoknak. A jelenleg érvényben lévő szabvány azonban 7 V/V%-ban maximalizálja azok bekeverhetőségét a számos, működés szempontjából előnytelen tulajdonságuk miatt. A biodízelnél előnyösebb alternatíva lehet az ún. bio-gázolaj vagy megújuló gázolaj. A bio-gázolaj a biodízellel ellentétben paraffin szénhidrogének elegyéből áll, amelyek a hagyományos dízelgázolajok legkedvezőbb szénhidrogén-komponensei. Ennek köszönhetően elkerülhetők az észterek eltérő molekulaszervezetéből adódó problémák. Ezen kívül a bio-gázolaj korlátozás nélkül bekeverhető. A bio-gázolaj ráadásul hulladék alapanyagokból, pl. állati zsiradékból, hulladék zsírsavakból és használt sütőolajból is előállítható. Előállításához az említett alapanyagok hidrogénezésével, pontosabban azok speciális hidrokrakkolásával történik, ezért szokás HVO-nak, vagyis hidrogénezett növényolajnak is nevezni. Külön előny, hogy már meglévő üzemekben el lehet végezni ezen alapanyagok hidrogénezését önmagukban vagy más finomítói áramokkal együtt. A sok előny ellenére a HVO előállítás előtt számos technológiai nehézség áll. A meglévő technológiák bemutatása mellett ezekre a nehézségekre keresünk választ előadásunkban.

### ***Köszönetnyilvánítás***

*A kutatómunka a TKP2021-NKTA-21 számú projekt keretében, a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2021. évi Tématerületi Kiválóság Program pályázati program finanszírozásában valósult meg.*

### ***Summary***

Although the share of hydrocarbon-fueled internal combustion engines is decreasing due to the increasing expansion of electromobility, diesel fuel will remain highly significant in the future. This trend is primarily attributed to the use of diesel engines in heavy-duty vehicles, agricultural machinery, and cargo ships, where high energy density, long range, and efficient operation are crucial. The environmental impact of fossil fuel-based energy sources has become evident, making the partial replacement of diesel fuels with alternative, bio-based, low-emission components a key issue. Biodiesel, produced from vegetable oils through transesterification (also known as fatty acid methyl ester, FAME), is a widely used and applied biocomponent in diesel fuels. However, the currently applicable standard limits its blending to a maximum of 7 V/V% due to several operational disadvantages. A more favorable alternative to biodiesel is the so-called bio-gas oil or renewable diesel. Unlike biodiesel, bio-gas oil consists of a mixture of paraffinic hydrocarbons, which represent the most favorable hydrocarbon components of conventional diesel gas oil. As a

<sup>35</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ,  
MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

result, issues arising from the different molecular structure of esters can be avoided. Additionally, bio-gas oil can be blended without restrictions. Furthermore, bio-gas oil can also be produced from waste-based feedstocks such as animal fats, waste fatty acids, and used cooking oil. Its production involves the hydrogenation—more precisely, the specialized hydrocracking—of these feedstocks, which is why it is also referred to as HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). A particular advantage of this process is that it can be carried out in existing refineries, either using these feedstocks alone or with other refinery streams. Despite its many advantages, HVO production faces several technological challenges. In our presentation, we will introduce the existing technologies and explore potential solutions to these challenges.

***Acknowledgements***

*This work has been implemented by the TKP2021-NKTA-21 project with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the 2021 Thematic Excellence Programme funding scheme.*

***Aspergillus terreus* gomba pelletek előállítása  
és alkalmazása fermentációs célra**  
***Production of Aspergillus terreus pellets and their use in fermentation processes***

Hülberné Beyer Éva Anna, Ács Balázs László,  
Bocska Boglárka, Hogyor Kinga<sup>36</sup>

**Összefoglaló**

Az *Aspergillus terreus* gomba törzsei ipari szempontból releváns mennyiségben képesek kiválasztani többféle értékes vegyületet, mint például a lovastatint vagy az itakonsavat. A fonalas gomba fermentációk folyamatában meghatározó a kialakuló micéliumtömeg morfológiája. A micélium morfológiáját számos körülmény befolyásolja. A pelletes növekedésre jellemző, hogy a micélium hálózat tömör csomókba rendeződik. A pelletek formáját és méretét az alkalmazott tápoldat és a reaktorban fellépő nyíróerők befolyásolják. A pelletes forma előnye, hogy a fermentlé szűrhetősége javul.

Kutatásunk során vizsgáltuk egy itakonsav túltermelő *Aspergillus terreus* törzs tenyésztését a pelletes növekedés kiváltására fókuszálva, majd a nyert pelletek alkalmazhatóságát itakonsav fermentáció megvalósítására. A pelletes növekedés kiváltásához komplex nitrogén-tartalmú tápanyagok szükségesek. Rázott lombikos kísérleteinkben kukorica lekvárt, illetve szójafeptont alkalmaztunk.

A gombapelletekkel rázott lombikos itakonsav fermentációkat valósítottunk meg. Megállapítottuk, hogy a kísérleteinkben alkalmazott, pelletes növekedést serkentő fermentációs körülmények után az itakonsav termelésre optimált körülményekre való átállás hosszabb adaptációs szakaszt eredményez a gombaspórákkal közvetlenül történő inokuláláshoz képest. A glükóz koncentrációja – melyből az itakonsav keletkezik – a szakirodalom alapján 120 g/L érték felett optimális az itakonsav fermentációban a magas hozam eléréséhez. Az átálláskor erre a magas glükózkoncentrációra a gombapelleteket jelentős ozmózis stressz éri, kiegészülve a tápközeg jelentősen eltérő, ásványi nitrogéntartalma jelentette metabolikus átállási kényszerrel. Kísérleteink azt mutatták, hogy egy adaptációs lépés beiktatásával, amelyben alacsony glükóz koncentrációt alkalmaztunk, a sejttömeg produktivitása kétszeresére nőtt. Ebben az esetben az elért itakonsav-koncentráció 24,8 g/L volt, az eredő hozam pedig 0,78 mol/mol.

**Summary**

Strains of *Aspergillus terreus* fungus produce valuable metabolites in industrially relevant concentration, i.e. lovastatin or itaconic acid. The processes of fermentations based on filamentous fungi are strongly affected by the morphology of developing mycelial biomass. Mycelial pellets are characterized by densely interwoven hyphae, creating compact, spherical, or ellipsoidal biomass aggregations. Among other parameters, the composition of culture medium and shearing forces in submerged cultivation during mixing affect the shape and size of pellets. An important advantage of pellet form is that the biomass can be easily removed from the fermentation broth.

In our research, we cultivated an itaconic acid overproducing *Aspergillus terreus* strain with a focus on pellet growth induction and the applicability of the obtained pellets for itaconic acid fermentation. Complex nitrogen-containing nutrients are required for pellet growth induction. In shake-flask experiments, we tested corn-steep liquor and peptone from soy.

Shake-flask itaconic acid fermentations were carried out with mycelial pellets. We found that inoculating with pellets results in a longer adaptation phase compared to inoculation directly with fungal spores. The concentration of the glucose substrate above 120 g/L is optimal for itaconic acid fermentation, according to the literature, to obtain high yields. Switching to this high glucose concentration, the pellets are exposed to an osmotic stress, in addition to the need of metabolic

<sup>36</sup> Pannon Egyetem

Mézőgazdasági Kar, BKV-KFK, Biomézőgazdasági, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatócsoport  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

adaptation imposed by the mineral nitrogen source of the culture medium. Our experiments have shown that by introducing an adaptation step with low glucose concentrations, productivity of the pellets can be doubled. In that case, the achieved itaconic acid concentration was 24,8 g/L and the product yield was 0,78 mol/mol.

# Nagy nyelvi modell alapú tevékenységfelismerés és munkautasítások validálása

## *Large language model based activity recognition and validation of work instructions*

Jeskó Zoltán, Ruppert Tamás<sup>37</sup>

### **Összefoglaló**

Az elmúlt években a nagy nyelvi modellek (LLM) olyan hatékony eszközökké váltak, amelyek képesek átalakítani különböző területeket, a természetes nyelvi feldolgozástól az összetett döntéshozatalig. A modellek egyre szélesebb körben váltak elérhetővé, és fokozatosan beépültek a modern emberek hétköznapijaiba. Folyamatos fejlődésük, az új, state-of-the-art megoldások, valamint multimodális és érvelési képességeik lehetővé teszik, hogy célspecifikus eszközként ipari környezetben előforduló (alacsony hozzáadott értékkel rendelkező) feladatokban kerüljenek alkalmazásra. Az általunk kidolgozott koncepció képes a nagy nyelvi modellek segítségével multimodális, struktúrátlan adatokból a tevékenységfelismerés szempontjából lényeges, szemantikailag gazdag információkat kinyerni és feldolgozni. A kinyert információk segítségével az azonos tárgykörben végzett narrált videófelvételeken tevékenységfelismerést és predikciót valósítunk meg. A nagy nyelvi modellek pre-trained tudásának kihasználásával, az LLMOps technikák és prompt sablonok együttes alkalmazásával egyedi domainek különböző modalitású, rendezetlen szemantikus adataiból célzott, iteratív információ-tömörítéssel cselekménycímkék nyerhetők ki. A kinyert cselekménycímkék az egyes tevékenységek végrehajtásához szükséges általános cselekménysorozat elemei, amelyek az ipari folyamatokban munkautasításokként képeződnek le. A multimodális információ-tömörítéssel a munkautasítások reverse engineering módon elkészíthetők dolgozói elbeszélés, videófelvételek vagy narrációval rendelkező videófelvételekből. Az így előállt leiratok használhatók a munkautasítások validálására vagy a dolgozói aktivitásfelismerésére, mint felismerhető alapigazság címkék. Az iteratív információ-tömörítéssel feltárt általános cselekménysorozatok és az LLM multimodális alkalmazása lehetővé teszi, hogy új, korábban nem látott, azonos tárgykörben rögzített videófelvételeken a tevékenységek felismerhetővé váljanak. A Bayes-tétel iteratív alkalmazása pedig a nagy nyelvi modellekből származó prior információ és a felismert tevékenységszekvenciák segítségével lehetővé teszi a tevékenységsorozat következő lépésének becslését. A prediktív tevékenységbecslés lehetőséget teremt az Ipar 5.0 irányelvei mentén az emberközpontú folyamatfejlesztési megközelítés alkalmazására. Az anomáliadetekcióval támogatott folyamatfelügyelet lehetővé teszi az emberek és gépek közötti együttműködés optimalizálását, valamint a váratlan események gyors és hatékony kezelését.

### **Summary**

In recent years, large language models (LLMs) have become powerful tools capable of transforming various fields, from natural language processing to complex decision-making. These models have become increasingly accessible and gradually integrated into the everyday lives of modern humans. Their continuous development, the introduction of new state-of-the-art solutions, and their multimodal and reasoning capabilities enable them to be deployed as task-specific tools (for low-value-added tasks) in industrial environments. The concept we have developed is capable of extracting and processing semantically rich information essential for activity recognition from multimodal, unstructured data using large language models, and utilizing this extracted information to perform activity recognition and prediction on narrated video recordings within the same domain.

By leveraging the pre-trained knowledge of large language models and combining it with prompt templates and LLMOps technologies, targeted, iterative information compression can extract action

---

<sup>37</sup> Pannon Egyetem  
Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék

labels from unstructured semantic data of various modalities in specific domains. The extracted action labels represent the general sequence of actions required for executing individual tasks, which are reflected as work instructions in industrial processes. Through multimodal information compression, work instructions can be reverse-engineered from employee narratives, video recordings, or narrated videos. The resulting transcripts can be used to validate current work instructions or for employee activity recognition as recognizable ground truth labels.

The general action sequences revealed through iterative information compression and the multimodal application of LLMs make it possible for activities to be recognized in new, previously unseen video footage. The iterative application of Bayes' theorem, using prior information from large language models and recognized activity sequences, allows for the estimation of the next step in the activity sequence.

Predictive activity estimation creates the opportunity to apply the human-centered process development approach under the guidelines of Industry 5.0. Process supervision supported by anomaly detection enables the optimization of collaboration between humans and machines, as well as the fast and effective handling of unexpected events.

**Próbatest méretének és alakjának hatása  
az extrúziósan 3D nyomtatott nylon szálakra**  
*Influence of specimen size and geometry on the tensile  
strength of extrusion 3D printed nylon filament*

Kámán András, Egedy Attila, Jakab Miklós<sup>38</sup>

**Összefoglaló**

Ahogy egyre több és több tanulmány jelenik meg a 3D nyomtatás, vagy más néven additív gyártástechnológia területén, az összehasonlíthatóság kérdése felmerül, ugyanis egy 3D nyomtatott test felépítése nagyban eltér egy hagyományosan készült test struktúrájától, mint például a fröccsöntött alkatrész. Egy 3D nyomtatott alkatrész általában 3 részből épül fel: horizontális vázból (alsó/felső rétegek), vertikális vázból (falak) és a belső kitöltésből ezeknek a vázoknak. Egy másik befolyásoló tényezője az extrúziós 3D nyomtatásnak a természetéből ered, mégpedig, hogy egy alkatrész tömör részei egyéni szálakból épülnek fel, amelyek különbözhetnek mind méretükben, mind alakjukban.

Ezen aspektusok miatt az összehasonlíthatóságát vizsgáltam a különböző struktúrával vagy alakkal rendelkező próbatestek között, ezért próbatesteket készítettem különböző mérettel és alakkal a két leggyakrabban használt fúvóka mérettel és struktúratípussal, amelyeket a valójában és tanulmányokban használnak.

Az eredeti várakozásokkal ellentétben a különböző próbatest csoportok nem mutattak semmiféle trendet szakítószilárdságukban; helyette az értékeik többnyire az átlaguk körül voltak, a szóráson belül, néhány kieső értéket leszámítva. Összefoglalásként a próbatestek mérete és alakja nem játszott szerepet azok szakítószilárdságában, azonban a két struktúra és fúvóka átmérő között megfigyelhető volt a különbség.

**Summary**

With the increasing number of papers researching in the field of 3D printing or additive manufacturing, the question of comparability arises as the structure of a 3D printed object differs highly from the traditionally manufactured parts like injection moulding. A 3D printed object is usually consists of 3 different parts, which is a horizontal shell (top/bottom layers), vertical shell (walls), and an inner infill of the outer shell. Another influencing factor is in the nature of the extrusion-based 3D printing, that the solid parts of an object is made up from individual layers of varying shapes and sizes.

For these aspects the comparability between differently structured or shaped specimens is in question that this study aimed to remedy, for this reason specimens of varying sizes and geometries were tested with the two most common nozzle diameters and structure types used either during real-world application or scientific studies.

Contradictory to initial expectations the specimen groups have not shown any kind of trend and instead hovered around the same mean value while staying inside the standard deviation save a few outliers. To conclude the size and shape of the specimen did not play a role in the tensile strength of the specimens, however differences between the two structures and nozzle sizes have been observed.

---

<sup>38</sup> Pannon Egyetem  
8200, Veszprém, Egyetem u. 10

# Leszerelt szélturbina lapát szubkritikus hidrolízisének vizsgálata

## *Subcritical hydrolysis of a decommissioned wind turbine blade*

Kántor Petra, Képes Bence, Székely Edit<sup>39</sup>

### **Összefoglaló**

Munkánk során epoxigyanta és egy nagy volumenben használt üvegszálás kompozitjának, a szélturbina lapátnak kezelési lehetőségét vizsgáltuk szubkritikus víz alkalmazásával. Az életciklusa végére ért kompozit kezelése számos kihívással néz szembe, hiszen hőre keményedő mátrixa nem olvasható újra, illetve még kémiai módszerekkel történő újrahasznosítása során is számos termék elegye érhető el. A problémára megoldást jelenthet a szubkritikus hidrolízis alkalmazása félfolyamatos rendszerben. A nyomás, a hőmérséklet és a tartózkodási idő hatását Box-Behnken típusú kísérletterv segítségével vizsgáltuk a teljes konverzióhoz szükséges idő meghatározására, ahol szignifikáns paraméternek bizonyult a hőmérséklet és a tartózkodási idő, amelyek a keletkező termékprofil is jelentősen befolyásolták. A bemutatott módszer kiemelkedően szelektív, hiszen mindössze három főkomponens keletkezik, melyek kvalitatív azonosítása GC-MS alkalmazásával történt, míg a kvantitatív analízishez gázkromatográfiás eljárást fejlesztettünk. A vizsgált Biszfenol-A-diglicidil-éter – izoforon-diamin gyanta lebontása kevesebb, mint 10 perc alatt lehetséges 360 C°-on, 2 perces tartózkodási idő mellett.

A méréseket kiterjesztve leszerelt szélerőmű lapát alapanyagra 99%-ot elérő TGA tisztaságú szálak érhetőek el, míg a mátrixból értékes, csak kőolajipari alapon elérhető komponensek nyerhetők vissza.

### **Köszönetnyilvánítás**

*A TKP2021-EGA-02 projekt a TKP2021-EGA finanszírozási program keretében valósult meg. KP munkáját a DKÖP-25-1-BME-1 pályázat, míg KB munkáját az ÚNKP-23-6-II-BME-477 pályázat támogatta, mindhárom a Kulturális és Innovációs Minisztérium Új Nemzeti Kiválósági Programjának részeként, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alaphól finanszírozott szakmai támogatásával készült. KP munkáját továbbá a Varga József Alapítvány doktorandusz kiegészítő ösztöndíj pályázata (2024/007) is támogatta. Hálásak vagyunk az Anmet Co.-nak a leszerelt szélturbina lapát minta biztosításáért.*

### **Summary**

In our study, we investigated the treatment possibilities of epoxy resin and a widely used fiberglass composite, wind turbine blades, utilizing subcritical water. The end-of-life management of such composites poses significant challenges due to the thermosetting nature of the matrix, which prevents remelting, and even chemical recycling methods yield a mixture of various products. Subcritical hydrolysis in a semi-continuous system presents a potential solution to this issue. We examined the effects of pressure, temperature, and residence time using a Box-Behnken experimental design to determine the time required for complete conversion. Temperature and residence time were identified as significant parameters, influencing both the degradation efficiency and the resulting product profile. The presented method exhibits outstanding selectivity, as only three main components are formed. Their qualitative identification was performed using GC-MS, while a gas chromatographic method was developed for quantitative analysis. The decomposition of bisphenol A diglycidyl ether – isophorone diamine resin was achieved in less than 10 minutes at 360 °C with a 2-minute residence time.

Extending the experiments to decommissioned wind turbine blade materials, we obtained fibers with up to 99% purity, proved by thermogravimetric analysis (TGA). Additionally, valuable matrix-derived components—typically sourced from petrochemical feedstock—were successfully recovered.

<sup>39</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Kémiai és Környezeti és Folyamatmérnöki Tanszék  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 1-3.

**Acknowledgements**

*Project no. TKP2021-EGA-02 has been implemented with the support financed the research under the TKP2021-EGA funding scheme, the work of PK was supported by DKÖP-25-1-BME-1 grant and the work of BK was supported by the ÚNKP-23-6-II-BME-477, both of the New National Excellence Program of the Ministry for Culture and Innovation from the source of the National Research. The work of PK was also supported by the József Varga Foundation's PhD student Scholarship 2024/007. We are grateful to Anmet Co. to providing the decommissioned wind turbine blade sample.*

**Optimization of Textile Waste Collection System by a  
Modified Subtractive Clustering Method**  
*Textilhulladék-gyűjtés optimalizálása módosított szubtraktív  
klaszterezési algoritmussal*

Éva Kenyeres, Alex Kummer, János Abonyi<sup>40</sup>

**Summary**

The European Commission highlights the need for increasing the recycling rate of textiles over landfilling and incineration in its Strategy for Sustainable and Circular Textiles. Hungarian textile waste collection system is immature, however, to achieve these goals. For remedying this shortage, we are proposing a methodology for optimizing Hungarian textile waste collection system using subtractive clustering technique integrated with road network analysis. Textile waste collection in Hungary is performed by a container system. People should collect their textile waste selectively at home, and deliver it to a container, those however, settled only in larger municipalities at the moment. Thereby, significant amount of textile waste cannot be gained back from the users in an appropriate state for recycling. The selective collection of textile waste is planned to be enhanced in accordance with the EU strategy by installation of additional containers, thus increasing their availability and overall capacity. In order to maximize efficiency, the task is to determine the optimal locations of new containers, so that the most people could be reached.

We propose here a technique involving subtractive clustering to solve the above-mentioned problem. Thus, a potential for becoming a cluster center (new container) is assigned to each municipalities, based on the number of people in the neighborhood can be reached. In every step, the municipality with the highest potential is chosen as a new container location, while potential of the others are reduced accordingly. People willingness for selective collection of textile waste strongly depends on the availability (distance) of the closest container, that is modeled by an exponential trend. Distances between municipalities and potential container locations are determined based on the road network of Hungary.

The proposed method makes it possible to visualize the coverage of the collection system by a potential surface, as well as to indicate high-potential points belonging to the not covered areas. The created algorithm can be easily tuned regarding attractiveness of cities or mobility of people, and is flexible regarding considering differences in generated waste amount per person between regions as well as traveling times.

The applicability of the proposed method will be introduced through a case study about determining optimal positions of potential new containers in Hungary considering the ones that have already been settled, and the real container distribution at the moment will be compared to the optimal one as well. The results are validated by using the Wasserstein distance metric.

---

<sup>40</sup> Pannon Egyetem  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

# **Poliamid-6 félfolyamatos üzemű, szubkritikus hidrolízise** *Semi-continuous, subcritical hydrolysis of polyamide 6*

Képes Bence, Kántor Petra, Székely Edit<sup>41</sup>

## **Összefoglaló**

A 2019-ben útjára indult Európai Zöld Megállapodás célul tűzi ki, hogy 2030-ra elérjük az 1990-es szinthez képest nettó 55%-os üvegházhatású gázkibocsátás csökkenést, illetve 2050-re a klímasemlegességet. Ennek egyik alapköve a körforgásos gazdaság, melynek célja a nyersanyagigény csökkentése és a keletkező hulladékok alapanyagként történő hasznosítása. A műanyagok újrahasznosítása között megkülönböztethetünk fizikai, kémiai és termikus módszereket. A fizikai újrahasznosítás poliamidok esetében újraolvasztással és formázással is lehetséges, azonban ehhez tiszta műanyag szükséges, és minden egyes újrafeldolgozási ciklus során romlik az anyagminőség. A termikus módszereknek nagy energiaigényük és jelentős károsanyag-kibocsátásuk van, azonban robusztusak, így jóval kevesebb előválogatást és tisztítást igényelnek, ezért viszonylag olcsók. A kettő között helyezkednek el a kémiai újrahasznosítási módszerek.

A kémiai újrahasznosítás során lehetőség nyílik monomerek előállítására, ezzel új, hozzáadott értékű alapanyagok előállítására. Ezen belül a hidrotermális bontás magas hőmérsékletű és nagy nyomású vizet alkalmaz, mint oldószert és reagenst, hiszen ezen körülmények között a víznek megemelkedik vízionszorzata és lecsökken a dielektromos állandója a normál körülményekhez képest, melynek köszönhetően a kritikus pont alatt gyorsított hidrolízist lehet végrehajtani. Munkánk során a poliamid-6 katalízis nélküli hidrotermális bontását vittük véghez félfolyamatos üzemben. Vizsgáltuk a hőmérséklet hatását a bontás konverziójára, illetve a monomerhozamra 300-360 °C tartományban. Az előzetes eredmények alapján a hőmérséklet függvényében a konverzió telítésbe hajlik, és 350 °C-on eléri a 98%-ot, míg a monomerhozam 87%-nál egy maximumot mutat 350 °C-on, ami a monomer tovább bomlását jelentheti a kritikus hőmérséklethez (374 °C) közeledve.

## **Köszönetnyilvánítás**

*A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24-1-BME-243 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának részeként, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alaphól finanszírozott szakmai támogatásával készült.*

## **Summary**

Beginning in 2019, the European Green Deal is aiming for 55% less greenhouse gas emission by 2030 compared to the level in 1990, alongside with reaching climate neutrality by 2050. A pillar stone in this fight is the circular economy, whose purpose is to decrease the raw material need, via recycling and incorporating valorised materials produced from waste streams. Among polymer recycling methods we can differentiate physical, chemical and thermic methods. The physical recycling of polyamides can happen through remelting however this requires clean feedstock and with each remelting cycle the properties of the polymer degrade. Even though thermic methods are robust and relatively cheap, they have substantial energy demand and harmful gas emissions. In between the previous two there is chemical recycling via which there are opportunities to produce new, value-added chemicals like monomers or their derivatives. Among chemical recycling methods hydrothermal treatment is advantageous because it only needs water (under high temperature and pressure) both as a reagent and as a solvent. High temperature and pressure water has increased ionic product and decreased dielectric constant which are both beneficial for the decomposition of polymers.

<sup>41</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 1-3.

In our work we carried out the subcritical hydrolysis of polyamide 6 without catalysis, in a semi-continuous system. We investigated the effect of temperature (300 – 360 °C) on the conversion of the decomposition and the monomer yield. According to the preliminary results the temperature dependency reaches a plateau at 350 °C, with 98% conversion, the monomer yield however has a maximum at 350 °C with 87% yield suggesting further decomposition of the monomer as we approach the critical temperature of 374 °C.

***Acknowledgements***

*Supported by the EKÖP-24-1-BME-243 University Research Scholarship Program of the Ministry for Culture and Innovation from the source of the National Research, Development and Innovation Fund.*

# Használt lítium ion akkumulátorok újrahasznosításának vizsgálata

## *Investigation of the recyclability of used lithium ion batteries*

Kis-Iván Alex<sup>42</sup>, Zsinka Viktória<sup>43</sup>, Miskolczi Norbert<sup>44</sup>, Ningbo Gao<sup>45</sup>, Cui Quan<sup>46</sup>

### **Összefoglaló**

Az elektromos közlekedés és a különféle elektronikai berendezések egyre nagyobb elterjedése miatt a világon felhasznált lítiumakkumulátorok száma és tömege jelentősen növekszik. Az akkumulátorok előállításának gazdasági szinten is stratégiai fontosságú. Bennük több olyan komponens található, amelyek ellátási láncra sérülékeny, és jelentős kihívásokkal kell a jövőben szembenéznie. Részből emiatt, részben környezetvédelmi és gazdasági szempontok miatt az életciklusuk végére ért lítiumakkumulátorok újrahasznosítása nagy jelentőséggel bír. Más részből a hidrogén kiemelten fontos az ipar és a gazdaság számára. A hidrogén energiaforrásként történő alkalmazása intenzíven kutatott tématerület, ami több szempontból is további fejlesztéseket igényel. A használt lítiumakkumulátorok újrahasznosítására vonatkozóan több kutatás is létezik, de a legtöbben elsősorban a fémek visszanyerésével foglalkoznak, és csak kevesen vizsgálják a fémeken kívüli alkotók újrahasznosíthatóságát. Az elhasznált lítiumakkumulátorokból megfelelő körülmények között hidrogén is előállítható. Kutatómunkánk során elhasznált lítiumion akkumulátorok újrahasznosíthatóságát vizsgáltuk pirolízissel. Elsődleges célunk az akkumulátor szerves alkotóinak értékesebb termékekké történő átalakításának vizsgálata volt, amelyek könnyen integrálhatók meglévő infrastruktúrákba a körforgásos gazdaság irányelveit szem előtt tartva.

### **Köszönetnyilvánítás**

*A 2024-1.2.5-TÉT-2024-00025 számú projektet a Kulturális és Innovációs Minisztérium a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozta, a 2024-1.2.5-TET program keretében.*

### **Summary**

Due to increasing application of electric vehicles and various electronic devices, the number and weight of lithium batteries used worldwide is increasing significantly. The production of batteries is also has strategic importance for economy. Batteries contain many components whose supply chain has some limitations and have to solve significant challenges in the future. For this reason, and for environmental and economic aspects, the recycling of used lithium batteries has a great importance. On the other hand, hydrogen has also particular importance for industry and the economy. The use of hydrogen as an energy source is an intensively investigated topic, which requires further development in several aspects. There are several research groups focussing to the recycling of used lithium batteries, but most of them focus on the recovery of metals and only few groups investigate the recyclability of non-metal components. Hydrogen can also be produced from used lithium batteries under the appropriate conditions. In this work, the recyclability of used lithium-ion batteries was investigated by pyrolysis. The primary goal was to

42 Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ,  
MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10

43 Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ,  
MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10

44 Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ,  
MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10

45 Xi'an Jiaotong University  
School of Energy and Power Engineering  
Xi'an, 710049, P.R. China

46 Xi'an Jiaotong University  
School of Energy and Power Engineering  
Xi'an, 710049, P.R. China

investigate the conversion of the organic components of the battery into more valuable products that can be easily integrated into existing infrastructures, keeping in mind the principles of the circular economy.

***Acknowledgements***

The project No. 2024-1.2.5-TÉT-2024-00025 was financed by the Ministry of Cultural and Innovation from the National Research Development and Innovation Fund, within the 2024-1.2.5-TET program.

**Inokulálás és biofilm-fejlődés vizsgálata  
membrán gradostat reaktor modellrendszerben**  
*Investigation of inoculation and biofilm-development  
in model system of membrane gradostat reactor*

Lajtai-Szabó Piroska<sup>47</sup>

**Összefoglaló**

A membrán gradostat reaktor (MGR) olyan biofilm-reaktor, mely egyedi kialakításának köszönhetően lehetővé teszi a szekunder metabolitok folyamatos üzemmódú termelését. Kutatásom során megalkottam az MGR egyszerűsített modelljét, mellyel nagyszámú párhuzamos rendszert lehet egyidejűleg vizsgálni. A kísérleteket *Streptomyces coelicolor* micéliumképző talajbaktériummal végeztem, melynek szekunder metabolitja egy antibiotikus hatású pigment, az aktinorodin. Az elsődleges célom a sejtek megtapadásának és a biofilm kialakulásának nyomon követése volt.

A sejtadhézió elősegítése céljából háromféle segédanyagot – agar, karboximetil-cellulózt és tween 80-at – teszteltem, különböző koncentrációkban adagolva a spóraszuszpenzióhoz. A főkomponens-analízis alapján a biofilm vastagságát és a membrán felületének borítottságát tekintve a legjobb eredményt a 3 g/l koncentrációban alkalmazott agar esetén értem el. Az ehhez a beállításhoz tartozó kapillárisokat tovább üzemeltettem, összesen közel két hónapon keresztül. Az aktinorodin-termelés üteme a kísérlet végén sem csökkent jelentősen, így elmondható, hogy az általam kidolgozott rendszer hosszú távú működtetése sikeresen megvalósult.

**Summary**

The membrane gradostat reactor (MGR) is a biofilm-reactor, which enables secondary metabolite production in continuous operation due to its special structure. During the research, a simplified model system of the MGR was developed, which is suitable for investigating many parallel systems. Experiments were carried out with *Streptomyces coelicolor*, a mycelium forming soil bacterium, which produces actinorhodin, a pigmented antibiotic as secondary metabolite. The primary goal was to investigate cell adhesion and biofilm development on the membrane's surface.

In order to enhance cell adhesion, three types of additives – agar, carboxymethyl-cellulose and tween 80 – were added to the spore-suspension in different concentrations. Based on principal component analysis, the best result was achieved in case of agar applied in 3 g/L concentration regarding biofilm thickness and coverage of membrane surface. Capillaries belonging to this set point have been operated until almost two months. During this period, the rate of actinorhodin production did not decrease significantly, thus it can be concluded that the created system have been successfully operated in the long run.

---

<sup>47</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, BKV-KFK, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatócsoport  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

## Innovatív transzdermális készítmények fejlesztése *Development of innovative transdermal formulations*

Madarász-Kádár Szabina, Jaksáné Borbás Enikő, Nagy Zsombor Kristóf<sup>48</sup>

### **Összefoglaló**

A feniletil-rezorcinol egy erőteljes, szintetikus antioxidáns, amely szabályozza a melanin szintézisét, ezáltal csökkenti a bőr pigmentfoltjait. Ugyanakkor hő, fény és levegő hatására instabillá válik, valamint gyenge vízoldhatósága és alacsony bőrpenetrációja korlátozza a hatékonyságát. Éppen ezért kutatásom célja innovatív transzdermális készítmények fejlesztése volt pronioszómák alkalmazásával, amelyek javíthatják a stabilitási és penetrációs tulajdonságokat. A pronioszómális formuláció kialakítása magában foglalta az összetétel és arányok kiválasztását, a formulációs paraméterek optimalizálását, valamint a leghatékonyabb előállítási technológia meghatározását. Az előállítás sikerességét és a pronioszómák morfológiáját pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltam, amelynek során megállapítottam, hogy a hordozótól függően eltérő módon alakulnak ki a felületen. A minták homogenitását Raman-térképezéssel igazoltam, majd meghatároztam a részecskeméret-eloszlást és a stabilitásra jellemző zéta-potenciál értékeket. Eredményeim alapján kimutattam, hogy a pronioszómális formuláció jelentősen javíthatja a hatóanyag stabilitását, amelyet a felületaktív segédanyag típusa is befolyásol. Továbbá két, kozmetikai célra is alkalmazható krémalap felhasználásával (SLS és Carbopol) félszilárd készítményeket formuláltam, amelyek reológiai tulajdonságait is megvizsgáltam. Végül *in vitro* permeabilitás méréseket végeztem a Skin-PAMPA módszerrel. A hordozó felületén eltérő módon kialakuló pronioszómák között fluxusban jelentős különbség figyelhető meg, míg a két krémalap között nem mutatható ki szignifikáns eltérés.

Eredményeim rámutatnak arra, hogy a megfelelő hordozóösszetétellel a pronioszómák jelentősen javíthatják a hatóanyag stabilitását, valamint hozzájárulhatnak a készítmények transzdermális hatékonyságának növeléséhez.

### **Köszönetnyilvánítás**

A kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24-4-I-BME-127 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alaphól finanszírozott szakmai támogatásával készült.

### **Summary**

Phenylethyl resorcinol is a potent synthetic antioxidant that regulates melanin synthesis, thereby reducing skin pigmentation. However, it becomes unstable when exposed to heat, light, or air, and its poor water solubility and low skin penetration limit its effectiveness.

Therefore, the aim of my research was to develop innovative transdermal formulations using proniosomes, which can improve stability and penetration properties. The formulation process involved selecting the appropriate composition and ratios, optimizing formulation parameters, and determining the most effective production technology.

The success of the preparation and the morphology of the proniosomes were examined using scanning electron microscopy, which revealed that their formation on the surface varies depending on the carrier. The homogeneity of the samples was confirmed by Raman mapping, and particle size distribution and zeta potential values were determined to assess stability.

Based on my results, I demonstrated that proniosomal formulations can significantly enhance drug stability, which is also influenced by the type of surfactant used. Furthermore, semi-solid formulations were developed using two cosmetic cream bases (SLS and Carbopol), and their rheological properties were examined. Finally, *in vitro* permeability measurements were performed using the Skin-PAMPA method. Significant differences in flux were observed among

<sup>48</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vegyésszérmérnöki és Biomérnöki Kar, Szerves Kémia és Technológia Tanszék  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

proniosomes formed with different carrier surfaces, while no significant difference was found between the two cream bases.

My findings highlight that the appropriate composition can significantly enhance the stability of the API and improve the transdermal penetration of the formulations.

***Acknowledgements***

*Supported by the EKÖP-24-4-I-BME-127 University Research Scholarship Program of the Ministry for Culture and Innovation from the source of the National Research, Development and Innovation Fund.*

# Valorization of biomass-derived low-cost adsorbents for sustainable pesticide remediation from aqueous solution: A comparative study

Melkamu Birlie, Nikoletta Kovács, Etelka Tombácz, Gábor Maász<sup>49</sup>

## **Summary**

Escalating pesticide usage in recent decades has severely compromised global water resources, necessitating cost-effective remediation. Adsorption employing affordable sorbents emerges as a promising solution. This research evaluates two low-cost adsorbents, derived from wheat straw and ground branches, for atrazine, imidacloprid, metolachlor, and tebuconazole removal from water. Surface modification with NaOH and citric acid enhanced specific surface area, and functionality. The batch adsorption experiment was quantified using UPLC-MS/MS measurement method. Citric acid-modified wheat straw demonstrated superior removal efficiencies for atrazine (76.03%), imidacloprid (59.32%), and metolachlor (70.34%) compared to other sorbents, attributed to enhanced surface functionalities (–COOH, –OH). However, untreated wheat straw and ground branches exhibited suboptimal pesticide removal, with a singular exception for ground branches, which showed a notable 75.08% removal efficiency for tebuconazole. Generally, these economical adsorbents are suitable for the remediation of low concentration pesticides from aqueous solution.

## **Acknowledgements**

*This research was supported by the National Research, Development, and Innovation Office (NKFIH), Hungary (project identification number: 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00309).*

---

<sup>49</sup> University of Pannonia  
Soós Ernő Research and Development Center  
H-8800 Nagykanizsa, Zrinyi Miklos street 18. Hungary  
melkamubirlie3@gmail.com

# Gépi látás és többváltozós adatelemzés alkalmazása tabletták minőségének vizsgálatára

## *Machine vision and multivariate data analysis in the quality assessment of tablets*

Mészáros Lilla Alexandra, Farkas Attila, Nagy Zsombor Kristóf<sup>50</sup>

### **Összefoglaló**

A hagyományos, szakaszos technológiákon alapuló gyógyszeriparban egyre nő az érdeklődés a folyamatos technológiák alkalmazása és megvalósítása iránt, mely átalakulási folyamat jelentős hatást gyakorol a gyógyszerkészítmények gyártására, fejlesztésére és minőségbiztosítására. A gyógyszerhatóságok igyekeznek segíteni az iparágban megvalósuló modernizációt, valamint támogatják a folyamatos technológiák esetében alkalmazható, a folyamatfelügyelő és elemző rendszerekbe (PAT) integrálható, illetve a termékbe tervezett minőség (QbD) koncepciójának megvalósulását támogató analitikai eszközök fejlesztését. A gyógyszeripari alkalmazás szempontjából a gépi látásban rejlő potenciál még nem került kiaknázásra, azonban várhatóan új megoldásokat biztosíthat a folyamatos technológiákkal megvalósított gyártás során. A gyógyszeriparban a szilárd gyógyszerformák minőségének vizsgálata hagyományosan offline, munkaiigényes, lassú, destruktív módszerekkel történik, amelyek a folyamatok valós időben történő követésére nem alkalmazhatók. A fejlesztett gépi látást alkalmazó rendszer célja bevonat nélküli tabletták esetében az *in vitro* kioldódási vizsgálat során kapott görbék alakjának prediktálása. A predikciókhoz szükséges bemeneti adatokat a képelemzésen alapuló szemcseméret-eloszlások, valamint a szintén képelemzés segítségével kapott préserő értékek biztosították. A szemcseméret-eloszlások meghatározásához UV megvilágítás, míg a préserő meghatározásához látható megvilágítás alkalmazásával készített képek kerültek felhasználásra. Az *in vitro* kioldódási görbe alakok predikciói mesterséges neurális hálók segítségével történtek.

Az általam fejlesztett, tabletták *in vitro* kioldódási profiljainak predikciójára szolgáló, gépi látást alkalmazó rendszer egy nem destruktív, új, egyszerűbb, olcsóbb és gyorsabb alternatívát nyújthat az ezen a területen jelenleg alkalmazott eszközökkel és módszerekkel szemben.

### **Köszönetnyilvánítás**

A kutatás a Kulturális Innovációs és Minisztérium EKÖP-24-4-I-BME-284 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alaphól finanszírozott szakmai támogatásával készült.

### **Summary**

The pharmaceutical industry, traditionally reliant on batch technologies, is increasingly adopting continuous manufacturing processes. This transition significantly impacts production, development, and quality assurance. Regulatory agencies are actively promoting the modernization of the industry and supporting the development of analytical tools compatible with continuous technologies, process analytical technology (PAT) systems, and quality by design (QbD) approach. The pharmaceutical industry has yet to fully leverage the potential of machine vision; however, it is anticipated to yield novel solutions within continuous manufacturing processes. Conventional quality assessment of solid dosage forms in the pharmaceutical industry employs offline, slow, destructive methodologies unsuitable for real-time process monitoring and control. The newly developed machine vision system aims for predicting *in vitro* dissolution profiles of uncoated tablets. Particle size distributions and compression force values, determined via image analysis, constituted the input data for predictions. UV illumination facilitated the acquisition of images

<sup>50</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vegyésszérméző és Biomérméző Kar, Szerves Kémia és Technológia Tanszék  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

for particle size distribution analysis, while visible illumination provided images for compression force determination. Artificial neural networks were applied to predict *in vitro* dissolution profiles. The newly developed machine vision system for predicting *in vitro* dissolution profiles presents a faster, cheaper, simpler, and non-destructive alternative to current industry standards.

***Acknowledgements***

*Supported by the EKÖP-24-4-I-BME-284 University Research Scholarship Program of the Ministry for Culture and Innovation from the source of the National Research, Development and Innovation Fund.*

## **Tejsav alapú komplex kutatás-fejlesztés** *Complex research and development based on lactic acid*

Nagy Gábor<sup>51</sup>, Nemestóthy Nándor<sup>52</sup>

### **Összefoglaló**

A Pannon Egyetem és a KALL Ingredients Kft. együttműködésében megvalósult kutatás a tejsav kukoricafeldolgozásban betöltött szerepének komplex vizsgálatára irányult. A projekt célja az volt, hogy feltárja a tejsav előnyös hatásait és minimalizálja a károsakat, ezáltal új termékeket és eljárásokat fejlesszen ki. A kutatás három fő területre összpontosított: az alkoholfermentációban a tejsav keletkezés visszaszorítási lehetőségeinek vizsgálatára, fermentációs célú gabonaszirup előállítására, valamint a tejsav közvetlen előállíthatóságának vizsgálatára rendelkezésre álló belső anyagáramok felhasználásával. A kutatás során a Pannon Egyetem biotechnológiai és vegyészmérnöki szakértelmével járult hozzá a KALL Ingredients üzemi méretű vizsgálataihoz. A projekt eredményeként mérnöki dokumentációs csomag készült, amely egy későbbi beruházás alapját képezheti. A kutatás hozzájárult a hazai mezőgazdasági termékek magasabb hozzáadott értékű hasznosításához és az élelmiszerellátás biztonságának növeléséhez.

### **Köszönetnyilvánítás**

*A kutatás a GINOP PLUSZ-2.1.1-21, 00233 Tejsav alapú komplex kutatás-fejlesztés a KALL Ingredients Kft. gyáregységében, projekt keretében valósult meg.*

### **Summary**

The research carried out in cooperation between the University of Pannonia and KALL Ingredients Ltd. was aimed at a complex investigation of the role of lactic acid in maize processing. The aim of the project was to identify the beneficial effects of lactic acid and minimise the harmful ones, thereby developing new products and processes. The research focused on three main areas: investigating the potential for reducing lactic acid generation in alcohol fermentation, producing cereal syrups for fermentation, and investigating the direct production of lactic acid using available internal material streams. During the research, the University of Pannonia contributed its expertise in biotechnology and chemical engineering to KALL Ingredients' plant-scale trials. The project resulted in an engineering documentation package that could form the basis for a future investment. The research has contributed to higher added-value utilisation of domestic agricultural products and increased security of food supply.

---

51 KALL INGREDIENTS KFT.  
5211 Tiszapüspöki, Fehértó Part 1.

52 Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, BKV-KFK, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatócsoport  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

## **Tejsav fermentáció *in vivo* és *in silico* tanulmányozása tejsavón** ***In vivo and in silico investigation of whey based lactic acid fermentation***

András Vicsek, Áron Németh<sup>53</sup>

### **Összefoglaló**

Az elmúlt 2 évtizedben számtalanszor publikáltunk tejsav témakörben. Joggal merülhet fel a kérdés: mit lehet még egy ilyen régi folyamaton vizsgálni? Az elmúlt időszakban, már sokféle alapanyagot vizsgáltunk tejsav fermentációban (búza [1], kukorica, cukorcirok [2], melasz [3] stb.). A tejpar mellékterméke, a tejsavó is régóta vizsgálataink tárgyát képezi, de eddig nem vizsgáltuk tejsav fermentációra, mert annak gazdaságosságához szükséges mennyiségű szénhidrát nincs a savóban. Ugyanakkor a közelmúltban kísérletesen megvizsgáltuk, és sikerrel alkalmaztunk porlasztva szárított tejsavót tejsav fermentációra. Kis léptékben kísérletesen upstream és downstream folyamatokat is vizsgáltunk, amelyek lehetővé tették, hogy műszaki-gazdasági elemzést végezzünk a tejsavó potenciálját illetően a tejsav fermentációban. Bár a savó folyamatosan és nagy mennyiségben képződik a tejüzemekben, nehezen tárolható, ezért modelleztük kísérletesen és folyamatszimulációban a nyers tejből történő savó keletkezését és abból a tejsav előállítását. Vizsgálataink során arra kerestük a választ, hogy a tejüzembe integrált tejsav fermentáció lehet-e gazdaságos, és ha igen, milyen peremfeltételekkel.

### **Summary**

We have published numerous times on the topic of lactic acid in the past 2 decades. The question may rightly arise: what else can be investigated in such an old process? In the past, we have investigated a wide variety of raw materials in lactic acid fermentation (wheat [1], corn, sweet sorghum [2], molasses [3], etc.). Whey, a by-product of the dairy industry, has also been the subject of our investigations for a long time, but we have not investigated it for lactic acid fermentation until now, because the amount of carbohydrates necessary for economic lactic acid fermentation is not in whey. However, we have recently experimentally investigated and successfully applied spray-dried whey for lactic acid fermentation. We have also experimentally investigated upstream and downstream processes on a small scale, which allowed us to perform a techno-economic analysis of the potential of whey in lactic acid fermentation. Although whey is continuously produced in large quantities in dairies, it is difficult to store it, which is why we modeled the production of whey from raw milk and the production of lactic acid from it experimentally and in process simulation. During our studies, we sought to answer whether lactic acid fermentation integrated into a dairy plant could be economical, and if so, under what boundary conditions.

### **Irodalomjegyzék/References**

- [1] Hetényi, Kata; [Németh, Áron](#); [Sevella, Béla](#): [Investigation and modeling of lactic acid fermentation on wheat starch via SSF, CHF and SHF technology](#), PERIODICA POLYTECHNICA-CHEMICAL ENGINEERING 55: 1 pp. 11-16. , 6 p. (2011)  
DOI: 10.3311/pp.ch2011-1.02
- [2] [Hetényi, Kata](#); Gál, Kinga; [Németh, Áron](#); [Sevella, Béla](#): [Use of sweet sorghum juice for lactic acid fermentation: preliminary steps in a process optimization](#), JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY 85:6 pp. 872-877., 6 p. (2010) DOI:10.1002/jctb.2381
- [3] [Aladár, Vidra](#); [András, József Tóth](#); [Áron, Németh](#): [Lactic acid production from cane molasses](#) LIQUID WASTE RECOVERY 2:1pp. 13-16. , 4 p. (2017)  
[DOI:10.1515/lwr-2017-0003](#)

---

<sup>53</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék  
H-1111 Budapest, Szent Gellért tér 4.

# Kétdimenziós populációmérleg modellezés (2D-PBM) és gépi tanuláson alapuló többcélú optimalizálás a rezveratrol hűtési kristályosításához

## *Two-Dimensional Population Balance Modeling (2D-PBM) and Machine Learning-based multi-objective optimization for the cooling crystallization process of resveratrol*

Orosz Álmos<sup>54</sup>, Monika O. Neal<sup>55</sup>, Szilágyi Botond<sup>56</sup>, Nagy Zoltán<sup>57</sup>

### **Összefoglaló**

A kristályosítás esszenciális folyamat a gyógyszeriparban, mivel egyaránt befolyásolja a gyógyszerhatóanyagok tisztaságát és a későbbi feldolgozási lépések hatékonyságát. A kristályok tulajdonságainak, például a méretnek, alaknak, morfológiának és polimorfia tulajdonságoknak pontos beállításával jelentősen javítható a gyógyszeripari termékek minősége és feldolgozhatósága. Azonban az optimális körülmények kizárólag kísérleti úton történő megtalálása nagy kihívást jelenthet, különösen az összetett kristályosítási rendszerek esetében. Ebben a tanulmányban egy kétdimenziós populációmérleg modellt (2D-PBM) alkalmazunk egy hűtési kristályosítási folyamat szimulálására és optimalizálására. A tanulmányban a rezveratrolt használtuk modell hatóanyagként, amelyet víz-etanol oldószerkeverékben kristályosítottunk. A kísérleti adatok fejlett technológiákkal kerültek mérésre, például fókuszált lézernyaláb visszaverődés méréssel (FBRM) vagy ATR-UV/Vis spektroszkópiával, és a kétdimenziós kristálméret adatok mikroszkópos képalkotás segítségével kerültek előállításra. Hat kalibrációs és egy validációs kísérletből álló kísérleti tervet végeztünk el a laboratóriumban, amelyben a hűtési sebességet és az oltókristályok mennyiségét változtattuk, és ezt használtuk fel a kinetikai paraméterek illesztéséhez. A 2D-PBM kinetikai paramétereinek optimalizálása jól illeszkedő matematikai modellt eredményezett szűk konfidencia intervallumokkal és pontos prediktív képességekkel. A kalibrált 2D-PBM-et többcélú optimalizálásra (Multi-Objective Optimization, MOO) használtuk fel két forgatókönyv szerint: (MOO-1) a hozam maximalizálása és a sarzsidő minimalizálása különböző minőségi korlátok betartása mellett, valamint (MOO-2) a kristályok átlagos méretének maximalizálása és a kristályok hosszúság-szélesség arányának minimalizálása. Az MOO-1 minimális kompromisszumokat mutatott, és magas hozamot ért el a minőségi követelmények betartása mellett. Az MOO-2 a kristálméret és a kristályok hosszúság-szélesség aránya közötti összefüggést tárt fel: ahol a hosszúság-szélesség arány csökkentése megvalósult, ott a kristálméret vagy a hozam nagyobb mértékű beáldozása volt szükséges. A tanulmányban bevezetett mesterséges neurális hálózat (Artificial Neural-Networks, ANN) alapú hibrid szimulációs keretrendszer a számítási kihívásokat hatékonyan kezelte. Ez a keretrendszer hatékonyan jelezte előre a Pareto-optimalizált megoldásokat, több mint ötezred részére csökkentette a szimulációs időt, és innovatív megközelítést tesz lehetővé, például hibrid optimalizálási vagy modellprediktív szabályozási alkalmazásokra. A tanulmány rávilágít a fejlett modellezési és gépi tanulási technikák kombinálásának potenciáljára, amelyekkel hatékonyan optimalizálhatók a komplex gyógyszeripari kristályosítási folyamatok.

54 University of Technology and Economics  
Department of Chemical and Environmental Process Engineering, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology  
Budapest H-1111 Műegyetem rkp. 3.  
Purdue University  
Davidson School of Chemical Engineering  
West Lafayette, IN

55 Purdue University  
Davidson School of Chemical Engineering  
West Lafayette, IN

56 Budapest University of Technology and Economics  
Department of Chemical and Environmental Process Engineering, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology  
Budapest H-1111 Műegyetem rkp. 3.

57 Purdue University  
Davidson School of Chemical Engineering  
West Lafayette, IN

### ***Summary***

Crystallization is a critical process in the pharmaceutical industry, influencing the purity of active pharmaceutical ingredients (APIs) and the efficiency of downstream processes. By controlling crystal attributes such as size, shape, morphology, and polymorphism, the quality and processability of pharmaceutical products can be significantly improved. However, achieving optimal conditions through experimentation alone can be challenging for complex crystallization systems. This study explores the application of a two-dimensional Population Balance Model (2D-PBM) to simulate and optimize a cooling crystallization process. In the study, resveratrol is used as a model API crystallized in a water-ethanol solvent mixture. Experimental data were collected using advanced techniques such as Focused Beam Reflectance Measurement (FBRM), UV/Vis spectroscopy, and the 2D crystal size data was measured through microscopy imaging. A design of experiments (DoE) consisting of 6 calibration and 1 validation experiments were executed to generate data for model building. Upon parameter estimation, a well-calibrated mathematical model was obtained with good prediction capability and with parameters having narrow confidence intervals. The calibrated 2D-PBM was utilized for multi-objective optimization (MOO) in two scenarios: (1) maximizing yield and minimizing batch time while meeting quality constraints, and (2) minimizing crystal aspect ratio while maximizing the median size of the crystal size distribution (CSD). MOO1 revealed minimal trade-offs, achieving high yield while maintaining quality constraints. MOO2 demonstrated an inherent dependency between crystal size and aspect ratio, where decreasing aspect ratio required sacrificing crystal size or yield. A hybrid simulation approach integrating First-Principle models and Machine-Learning (ML)-based regression and classification models is proposed and utilized to address computational challenges. This framework effectively predicted Pareto-optimal solutions, reduced simulation time by over 5000-fold, and provided an innovative approach, e.g., hybrid optimization or model-predictive control applications. The study highlights the potential of combining advanced, but computationally costly modeling and machine learning techniques to optimize complex pharmaceutical crystallization processes efficiently, rapidly, and with a well-controlled precision.

# Online tanulás a helyettesítő modellek (surrogate) karbantartásához

## *Online Learning for Surrogate Model Maintenance*

Palotai Balázs<sup>58</sup>, Kis Gábor<sup>59</sup>, Chován Tibor<sup>60</sup>, Bárkányi Ágnes<sup>61</sup>

### **Összefoglaló**

Az Ipar 4.0 korszakában a digitális modellek magas pontossága kulcsfontosságú a valós idejű döntéshozatalhoz, különösen a folyamatiparban, ahol a vegyészmérnöki ismereteket szintetizáló folyamatszimulációs modelleket széles körben alkalmaznak szimulációra és optimalizálásra. Ezek a modellek azonban gyakran számítási és konvergenciaproblémákkal küzdenek, különösen dinamikus változó üzemi környezetben. A helyettesítő modellek (surrogate) számítási szempontból hatékony alternatívát kínálnak az összetett folyamatszimulációs modellek közelítésére, ám a hagyományos globális tanítás gyakran nem biztosít megfelelő pontosságot az egyes üzemi tartományokban, különösen, ha a tanítóadatok gyűjtése egyszeri mintavételezéssel történik, előzetes ismeretek nélkül. Ebben a kutatásban egy online surrogate modell kalibrációs módszertant mutatunk be, amely MLOps elvekkel összhangban lehetővé teszi a surrogate modellek iteratív finomhangolását az üzemi körülmények változásával. A lokálisan gyűjtött adatok dinamikus beépítésével a surrogate modell folyamatosan alkalmazkodik az új üzemi tartományokhoz, miközben megőrzi általános előrejelzőképességét. Az egyik legnagyobb kihívás ebben a folyamatban az, amikor a modell az új állapotokhoz való igazodás során elveszíti korábbi tudását (catastrophic forgetting). Az általunk javasolt módszertan ezt a problémát mérsékli, biztosítva az online adatpontokra történő kalibrálás pontosságát és a modell robusztusságának megőrzését. A megközelítést egy hőcserélő hálózat modelljén alkalmazva jelentős pontosságjavulást értünk el az eredeti tanítás során nem ismert üzemi tartományokban. Az eredmények igazolják, hogy az online surrogate modell finomhangolása növeli a modell pontosságát és reagálóképességét, így az ipari digitális ikrek megbízhatóbbá válnak a folyamatosan változó környezetben.

### **Summary**

In Industry 4.0, ensuring high accuracy in digital models is crucial for real-time decision-making, especially in process industries where flowsheet models are widely used for simulation and optimization. However, these models often face computational and convergence challenges, particularly in dynamic operational environments. Surrogate models provide a computationally efficient alternative by approximating complex flowsheet models, but traditional global surrogate training may lack precision in specific operating regions, especially when training data is collected using one-shot sampling without prior knowledge of critical regions. This paper presents an online surrogate calibration methodology aligned with MLOps principles, enabling surrogate models to iteratively refine their performance as system operating conditions change. By incorporating localized data points dynamically, the surrogate model adapts to new operating regimes while striving to maintain its general predictive capability. A key challenge in this process is catastrophic forgetting, where the model loses previously learned knowledge when adapting to new conditions. The proposed methodology mitigates this issue, ensuring accurate online updates while preserving the model's overall robustness. Applied to a heat exchanger network model, this approach significantly improves surrogate model accuracy in previously unknown operating regions. The findings demonstrate how online surrogate model refinement enhances fidelity and responsiveness, making digital twins more reliable in evolving industrial environments.

58 MOL Group Plc.,  
Budapest, H-1117, Hungary, Dombóvári Street 28.  
University of Pannonia  
Veszprém, H-8200, Hungary, Egyetem Street 10.

59 MOL Group Plc.,  
Budapest, H-1117, Hungary, Dombóvári Street 28.

60 University of Pannonia  
Veszprém, H-8200, Hungary, Egyetem Street 10.

61 University of Pannonia  
Veszprém, H-8200, Hungary, Egyetem Street 10.

# A kinyerés módjának és a környezeti körülményeknek a hatása a levendula illóolajra

## *Effect of the extraction method and environmental phenomena on lavender essential oil*

Preiner Sára, Dr. Pethő Dóra, Dr. Miskolczi Norbert<sup>62</sup>

### **Összefoglaló**

A levendula (*Lavandula angustifolia*) illóolaja az egyik legismertebb és legszélesebb körben alkalmazott anyag, amelyet az élelmiszeriparban, kozmetikumokban, parfümökben és aromaterápiás célokra használnak. Az illóolajok kinyerésére számos módszer áll rendelkezésre, amelyek jelentősen befolyásolják az olaj minőségét is. A hagyományos eljárások közé sorolhatók a különböző desztillációs eljárások, míg az újabb technológiák közé sorolható a szuperkritikus extrakció.

A vízgőzdesztilláció az egyik legelterjedtebb technológia az illóolajok kinyerésére, azonban a szuperkritikus extrakciónak számos előnnyel rendelkezik. A levendula illóolaj kinyerése Tihanyból származó *Lavandula angustifolia* típusú növényből történt a fent említett két módszer alkalmazásával. A módszer és az időjárási körülmények hatásának meghatározására a növény illóolaj-tartalmára és minőségére az elmúlt négy évből származó (2021, 2022, 2023, 2024) levendulákkal történtek kísérletek azonos körülmények között. A kinyert illóolaj minták összetétel szerinti elemzését gázkromatográfiával végeztük.

A kapott adatokat felhasználva elemeztük, melyik paraméternek milyen hatása van a kinyerhető illóolajra. Az eredmények alapján elmondható, hogy a környezeti tényezők, mint a csapadékmennyiség és az átlagos hőmérséklet a növény érési ciklusában, nagy mértékben befolyásolják az illóolaj minőségét. A két módszert összehasonlítva megállapítható, hogy mind az összetétel, mind pedig a kihozatal szempontjából a szuperkritikus extrakció előnyösebb, azonban illóolaj-célú alkalmazása még nem elterjedt.

**Kulcsszavak:** levendula, vízgőz-desztilláció, szuperkritikus extrakció, illóolaj

### **Summary**

Lavender (*Lavandula Angustifolia*) essential oil is one of the most well-known and widely used substances, applied in the food industry, cosmetics, perfumes, and for aromatherapy purposes. Various methods are available for extracting essential oils, which significantly influence the quality of the oil. Traditional techniques include different distillation methods, while newer technologies include supercritical extraction.

The most commonly used technology for essential oil extraction is steam distillation, but supercritical extraction has several advantages. Lavender essential oil was extracted from *Lavandula Angustifolia* type plants sourced from Tihany using the two above mentioned methods. To determine the effect of the method and weather conditions on the oil content and quality, experiments were conducted with lavender harvested in the past four years (2021, 2022, 2023, 2024). The composition of the extracted essential oil samples was analyzed using gas chromatography.

Using the obtained data, the impact of various parameters on the extractable essential oil was analyzed. The results indicate that environmental factors, such as precipitation and average temperature during the plant's rearing cycle, significantly influence the quality of the essential oil. When comparing the two methods, it can be concluded that supercritical extraction is more advantageous in terms of both composition and yield. However, its industrial use for producing essential oils is not yet widespread.

**Key words:** lavender, steam distillation, supercritical extraction, essential oil

<sup>62</sup> Pannon Egyetem  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

# Elemental Distribution in Apples from Different Production Regions in Hungary

My Ban Thi, Geza Hitka, Quang D. Nguyen<sup>63</sup>

## **Summary**

Minerals together with vitamins play an important role in the quality of apple fruit that is main fruit product in Hungary. In this study, investigation of the levels of macro-, micro-, and some toxic trace elements in the peel, flesh, and seeds of apples from major production regions in Hungary was aimed. Additionally, the analysis of the elemental distribution and evaluation of the accumulation of toxic trace elements were also focused. Quantification of macro-elements (K, P, Ca, and Mg), micro-elements (Cu, Zn, Fe, Mn, B, Sr, Ba, Sn, Se, Co, Cr, Mo, V), and toxic trace elements (Al, Cd, Pb, As, Sb, Tl, Ag, Ni, Hg) was performed using ICP-OES and ICP-MS after sample pretreatment. The results indicated that the highest element concentrations were found in the peel, followed by the seeds, while the flesh has the lowest levels. Potassium was the most abundant mineral, with an average concentration of 8025 mg/kg dry weight, 7875 mg/kg, and 7270 mg/kg in the peel, the flesh and the seeds, respectively. The second abundant element was Calcium, with average concentrations of 3540 mg/kg in the peel, 304 mg/kg in the pulp, and 556 mg/kg in the seeds. The total mineral content was highest in apples from the Kecskemet, Nyiregyhaza, Tordas and Vamosmikola regions. The Nyiregyhaza region exhibited the lowest (K+Mg)/Ca ratio in the flesh, indicating a lower risk of bitter pit development during storage and better fruit quality. However, high concentrations of toxic elements, especially Cd and Pb, were detected in the apple pulp from the Kecskemet, Nyiregyhaza, Tordas, Vamosmikola and Zalasanto regions, raising potential concerns for consumer health. These findings emphasize the importance of continuously monitoring mineral and toxic element accumulation to ensure fruit quality and safety.

**Key words:** food quality, fruits, mineral characteristics, nutritional value

## **Acknowledgements**

*This work is supported by the New Széchenyi Plant Project No. EFOP-3.6.3.-VEKOP-16-2017-00005 and by the Projects No. GINOP-2.2.1-18-2020-00025 and No. NKFIH-831-10/2019 as well as by Doctoral School of Food Science, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences.*

---

<sup>63</sup> Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Food Science and Technology  
Hungary, Budapest 1118, Ménesi út 45.  
[banthimy@gmail.com](mailto:banthimy@gmail.com)

# **Operátor tréning szimulátor kifejlesztése kamragáz-tisztító üzemhez** *Development of operator training simulator for coke oven gas purification plant*

Radó-Fóty Nikolett, Egedy Attila, Nagy Lajos,  
Horváth Tibor, Balaton Miklós, Tóth László Richárd<sup>64</sup>

## **Összefoglaló**

A kamragáz a kokszyártás mellékterméke, melynek megfelelő mértékű tisztítása környezetvédelmi, valamint technológiai szempontból is fontos feladat. A tisztítási folyamat az adott technológiában három sorba kötött adszorber segítségével történik, melyekben a folyadék- és a gázfázis ellenáramban érintkeznek. Először a gáztisztító üzemrész stacioner szimulátorát kellett felépíteni a segéd berendezésekkel együtt. Ezután a dinamikus szimulátor megfelelő működésének tesztelése következett a technológia irányítási rendszerének beépítésével, Aspen HYSYS folyamatszimulátor szoftver alkalmazásával. A szimulátorokat a vizsgált technológia valós paraméterei (berendezések méretei, teljesítmények) segítségével készítettük el, és laboratóriumi mérések, valamint az üzemi adatok alapján validáltuk. Ezután Aspen Operator Training szoftver segítségével kialakítottuk a kapcsolatot a dinamikus szimulátor és az üzem Yokogawa DCS kezelői képernyője között.

Ez az operátor tréning szimulátor alkalmas különböző analízisek és optimalizálási feladatok elvégzésére, illetve az üzemi kezelői személyzet képzése mellett vegyészmérnök hallgatók oktatására is.

## **Köszönetnyilvánítás**

*A KDP-11-3/PALY-2021 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2020 pályázati program finanszírozásában valósult meg.*

## **Summary**

Coke oven gas is the by-product of coke production, and its appropriate purification is an important environmental and technological task. The purification process is implemented by three adsorbers in series, in which the liquid and gas phases are in countercurrent flow. The first step was to build a steady-state simulator of the gas purification part of the plant together with the auxiliary equipment. The first step was to build a steady-state simulator of the gas purification part of the plant together with the auxiliary equipment. This was followed by testing the dynamic simulator for proper operation by building in the technology control system using Aspen HYSYS process simulator software. The simulators were created based on the real parameters of the technology (equipment dimensions, capacities) and validated by laboratory measurements and operational data. Then, using Aspen Operator Training software, a link was established between the dynamic simulator and Yokogawa DCS operator screen of the plant. This operator training simulator is a suitable tool for performing various analysis and optimisation tasks, as well as for training plant operators and chemical engineering students.

## **Acknowledgements**

*Project no. KDP-11-3/PALY-2021 has been implemented with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the KDP-2020 funding scheme.*

---

<sup>64</sup> Pannon Egyetem  
Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

# Kétkomponensű elegyek különböző hőszivattyús desztillációs eljárással való elválasztásának energetikai- és költség alapú optimalizálása

## *Energetic and Economic Based Optimization of the Separation of Binary Mixtures by Different Heat Pump-Assisted Distillation Processes*

Somogyvári Erik, Tóth András József<sup>65</sup>

### **Összefoglaló**

A desztilláció egy energiaigényes termikus elválasztási művelet, amelyet széles körben alkalmaznak a vegyiparban. Az összes vegyiparban használt elválasztási technológiában a felhasznált energia 60%-át teszi ki. A magas energiafogyasztás ellenére a desztilláció még mindig nagymértékben a fosszilis tüzelőanyagok elégetésére támaszkodik, és így jelentősen hozzájárul a szén-dioxid-kibocsátáshoz, ami miatt jelentős kihívást jelent a dekarbonizációs célok elérésében. Normális esetben a desztilláció oszlopot az üstben lévő magas hőmérsékletű hő táplálja. Ezzel szemben az elválasztás hőszivattyúk villamos energiával való meghajtásával is megvalósítható, ami csökkentheti az elválasztáshoz szükséges fűtési és hűtési igényeket, a további elektromos kompressziós munka befektetésével. Munkánk során több kétkomponensű hulladékoldószer elegy elválasztását vizsgáltuk két különböző mechanikai pára-kompressziós és egy folyadékexpánziós módszerrel. A tanulmányban kiemelten elemeztük a módszerek energiahatékonyságát. Az AspenPlus V10.0 szoftver segítségével végzett folyamatszimulációk során az elválasztások sikeresek voltak minden konfigurációra, az összes folyamat végtermék áramai az előírt összetételnek megfelelő tisztaságúak voltak. Az eredményekből megállapítottuk, hogy hőszivattyú alkalmazásával a segédáramok használati igényét 30%-kal, továbbá a segédáramok költségét pedig 55%-kal lehet csökkenteni.

### **Köszönetnyilvánítás**

*A munkát a Varga József Alapítvány Somogyi Mihály Programja támogatta.*

### **Summary**

Distillation is an energy-intensive thermal separation process that is widely used in the chemical industry. It accounts for 60% of the energy used in all separation technologies used in the chemical industry. Despite its high energy consumption, distillation still relies heavily on the combustion of fossil fuels and thus contributes significantly to carbon dioxide emissions, making it a significant challenge in achieving decarbonization goals. Normally, the distillation column is powered by the high-temperature heat in the still. In contrast, the separation can also be achieved by driving heat pumps with electricity, which can reduce the heating and cooling requirements for the separation by investing in additional electrical compression work. In our work, the separation of several binary waste solvent mixtures using two different mechanical vapor compression and one liquid expansion methods were investigated. In the study, the energy efficiency of the methods was analysed in focus. During the process simulations performed using the AspenPlus V10.0 software, the separations were successful for all configurations, and the final product streams of all processes were of the required purity. The results showed that the use of auxiliary streams can be reduced by 30% and the cost of auxiliary streams by 55% by using a heat pump.

### **Irodalomjegyzék/References**

Chengtian Cui, Meng Qi, Xiaodong Zhang, Jinsheng Sun, Qing Li, Anton A. Kiss, David Shan-Hill Wong, Cornelius M. Masuku, Moonyong Lee, Electrification of distillation for decarbonization: An overview and perspective, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199 114522, 2024 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114522>

<sup>65</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

## **Alkáli aktivált cementek előállítása építési hulladék bázison** *Alkali activated cements derived from construction and demolition waste*

Soósne Balczár Ida, Nagy Gergely, Nkurikiyimana Etienne<sup>66</sup>

### **Összefoglaló**

Az urbanizáció és az iparosodás gyors növekedése világszerte jelentősen megnövelte az építési tevékenységet, azonban az építési és bontási hulladékok (C&DW) az összes hulladék mintegy 35%-át (évi 2,2 milliárd tonna) teszik ki [1], és komoly környezetvédelmi problémát jelentenek. A C&DW újra felhasználásának egyik lehetséges alternatívái lehetnek az alkáli aktivált cementek [2], amelyek Si-, Al- vagy Ca-oxidokban gazdag alapanyagok és erősen lúgos kémhatású oldat keverésével egy gyorsan szilárduló, nagy szilárdságú, kedvező tulajdonságú kötőanyagot alkotnak [3].

Jelen kutatásban a pórusbeton és a téglagyártási hulladékának újrafelhasználására fókuszáltunk, törekedve arra, hogy a legkisebb energiabefektetéssel és a legkevesebb vegyszer használatával a lehető legkedvezőbb tulajdonságú kötőanyagot állítsuk elő. Az alapanyagok reaktivitásának növelésére az úgynevezett mechanokémiai aktiválást alkalmaztuk, amely egy intenzív őrlést jelent, és vizsgáltuk az őrlési paraméterek hatását az alapanyagok tulajdonságaira (kristályszerkezet, szemcseméret, morfológia).

A kezelt minták reaktivitását a belőlük készített habarcsok nyomószilárdságával jellemeztük 7 és 28 napos korban. Különböző aktiváló oldat koncentrációk hatását is megvizsgáltuk a nyomószilárdságra változó NaOH- és vízüveg-tartalommal, ahol végül a vízüveg tartalmat teljesen el is lehetett hagyni. Az optimális őrlési paraméterek és aktiváló oldat koncentrációk mellett pórusbeton porból 35 MPa, míg téglaporból 20 MPa-os csúcshőszilárdságot értünk el.

### **Summary**

The rapid growth of urbanisation and industrialisation has led to a significant increase in construction activity worldwide, but construction and demolition waste (C&DW) accounts for approximately 35% of all waste (2.5 billion tonnes per year) [1] and is a major environmental concern. One possible alternative to the reuse of C&DW could be alkali-activated cements, which are a fast-setting, high-strength binder with favourable properties, made by mixing raw materials rich in Si, Al or Ca oxides with a highly alkaline solution.

In the present research, we focused on the reuse of waste from the production of aerated concrete and bricks, aiming to produce the best possible binder with the least energy investment and the least amount of chemicals. In order to increase the reactivity of the raw materials, we used the so-called mechanochemical activation, which is an intensive grinding process, and investigated the effect of the grinding parameters on the properties of the raw materials (crystal structure, particle size, morphology).

The reactivity of the treated samples was characterised by the compressive strength of the mortars prepared from them after 7 and 28 days. The effect of different activating solution concentrations on the compressive strength of mortars with different NaOH and water glass contents was also studied, with the water glass content eventually being omitted completely. At the optimum grinding parameters and activating solution concentrations, a peak strength of 35 MPa was obtained for porous concrete powder and 20 MPa for brick dust.

---

<sup>66</sup> Pannon Egyetem  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

### ***Irodalomjegyzék/References***

- [1] Ali, T. H., Akhund, M. A., Memon, N. A., Memon, A. H., Imad, H. U., & Khahro, S. H. (2019, March). Application of artificial intelligence in construction waste management. In *2019 8th International conference on industrial technology and management (ICITM)* (pp. 50-55). IEEE.
- [2] Cardoza, A., & Colorado, H. A. (2023). *Alkali-activated cement manufactured by the alkaline activation of demolition and construction waste using brick and concrete wastes*. *Open. Ceram.*, 16, 100438, (2023).
- [3] Pacheco-Torgal, F., Labrincha, J., Leonelli, C., Palomo, A., & Chindaprasit, P. (Eds.). (2014). *Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes*. Elsevier

## Gyógyszerhatóanyag folyamatos segédanyagossal kristályosításának fejlesztése *Development of continuous additive-assisted crystallization of a drug substance*

Stoffán György Nimród, Hóltzl Tibor, Lőrincz Zsolt, Pusztai Éva, Tacsai Kornélia, Madarász Lajos, Farkas Attila, Marosi György, Nagy Zsombor Kristóf, Pataki Hajnalka<sup>67</sup>

### **Összefoglaló**

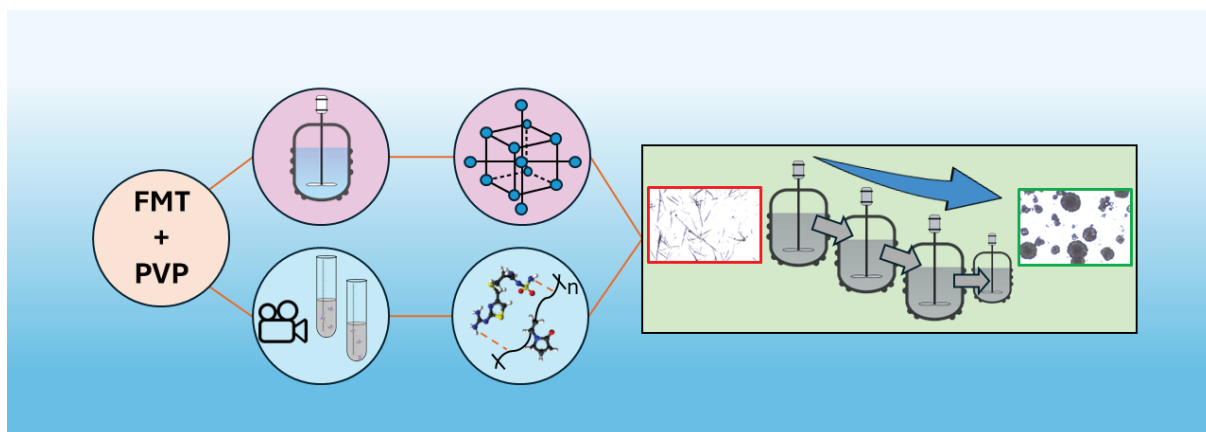
A gyógyszeriparban a kristályosítás az egyik leggyakrabban alkalmazott elválasztási, tisztítási és formulációs technológia, mivel a legtöbb gyártási eljárás legalább egy kristályosítási lépést tartalmaz [1]. Sok esetben azonban a hagyományosnak mondható kristályosítási technológiák (pl.: hűtéses, kicsapós, sóképzés stb.) nem képesek a kívánt minőségű szemcsék előállítására, még akkor sem, ha a folyamatot körültekintően optimalizálják. Emiatt további készítménytechnológiai eljárásokat, például őrlést vagy granulálást is szükséges integrálni a gyártásba [2]. Ez természetesen tovább növeli a költségeket, az előállítási időt és a hibalehetőségek számát is, ami a teljes gyártást hosszadalmas, bonyolult és költséges folyamattá teszi. Egy új, az úgynevezett segédanyagossal kristályosítási technológia célja, hogy ezeket a nehézségeket gondosan kiválasztott, gyógyszerészeti szempontból elfogadott és biztonságosan alkalmazható adalékanyagok kis mennyiségű (általában <5 m/m%) alkalmazásával hidalja át [3, 4]. Ahogyan a név is sugallja, a kristályosítási közeghez (oldat vagy szuszpenzió) célzottan kiválasztott anyagot adnak, hogy az előnyösen befolyásolja a kristályosodás egyes részlépéseit a kívánt tulajdonságú szilárd részecskék előállításához. Ennek megfelelően a technológia ígéretes módszer homogén és megfelelő minőségű kristályos anyag előállítására, amely a gyógyszeriparban kimagasló jelentőséggel bír [5].

Mindezek értelmében kutatómunkánk során a modell rendszerként választott famotidin (FMT) hatóanyag poli(vinilpirrolidon) (PVP) segédanyag jelenlétében végzett kristályosítását vizsgáltuk. Célunk egy olyan stabil és robusztus, folyamatos üzemű kristályosító rendszer fejlesztése volt, amellyel a FMT kedvező porreológiai tulajdonságú Form A polimorfja szelektíven állítható elő a PVP segédanyag által. Céljaink megvalósításához elengedhetetlen a kristályosítást befolyásoló folyamatparaméterek azonosítása, valamint a PVP a FMT göcképződésére kifejtett hatásának mélyebb megértése. Ezek alapján kísérlettervezési eszközökkel, valamint gyors és kis anyagmennyiség-igényű szakaszos kísérletekkel azonosítottuk a kritikus folyamatparamétereket és azok megfelelő beállítási értékeit. Továbbá egy egyszerű, kamera alapú analitikai módszerrel vizsgáltuk a PVP és más folyamatparaméterek hatását a kristálygöcképződés sebességére. A kísérleti eredményekre alapozva *in silico* kémiai szimulációkat végeztünk, amely alapján a kísérletek során tapasztaltak magyarázatához egy lehetséges molekuláris szintű mechanizmust társítottunk. Végül, a szisztematikus kísérletezés eredményeképpen összeállítottunk egy háromlépcsős MSMPR-kristályosítót, amellyel szelektíven, jó termelékenységgel (3 g/h) és stabilan (> 6,5 h üzemidő) állítható elő a FMT kiváló gördülékenységgel Form A polimorfja.

### **Köszönetnyilvánítás**

A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium által a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból, az [FK-143019, K-143039] támogatási program keretében nyújtott támogatással valósult meg. Projekt sz. RRF-2.3.1-21-2022-00015 számú projekt az Európai Unió támogatásával valósult meg. A Doktori Kiválósági Ösztöndíjprogram (DKÖP) által támogatott projekt a Nemzeti Kutatásfejlesztési és Innovációs Alapból, a Kulturális és Innovációs Minisztérium és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem támogatásával valósul meg. A kutatást a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar Varga József Alapítványa is támogatta.

<sup>67</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.



### Summary

In the pharmaceutical industry, crystallization is one of the most commonly used separation, purification and formulation technology, as most manufacturing processes involve at least one crystallization step [1]. However, in many cases, conventional crystallization technologies (e.g. cooling, precipitation, reactive, etc.) are not able to produce the desired quality solid particles, even if the process is thoughtfully optimized. For this reason, additional formulation technologies, such as grinding or granulation, need to be integrated into the production line [2]. This of course, further increases costs, production time and the possibility for errors, making the whole production process lengthy, complex and costly. A new crystallization technology, often referred to as additive-assisted crystallization, aims to overcome these difficulties using carefully selected, pharmaceutically acceptable and safe additives in small amounts (usually <5 w/w%) [3,4]. As the name suggests, a substance is added to the crystallization medium (solution or suspension) in a targeted manner to favorably influence the subprocesses of crystallization to produce solid particles with the desired characteristics. Accordingly, this technology has enormous potential as a crystal-engineering tool to produce homogeneous and high-quality crystalline particles, which is of high importance in the pharmaceutical industry [5].

On this basis, our research focuses on the crystallization of famotidine (FMT), an active pharmaceutical ingredient in the presence of an excipient, namely poly(vinylpyrrolidone) (PVP), which were chosen as a model system. Our aim was to develop a stable and robust continuous crystallization system to selectively produce the Form A polymorph of FMT with favorable powder-rheological properties by the PVP excipient. To achieve our goals, the identification of process parameters that influence crystallization, and a deeper understanding of the effect of PVP on FMT nucleation are essential. Accordingly, the critical process parameters and their corresponding setting values were determined using design of experiment (DoE) tools combined with quick and low-volume batch experiments. In addition, a simple camera-based analytical method was used to study the effect of PVP and other process parameters on crystallization induction time. Based on the experimental results, *in silico* molecular simulations were also performed, which enabled us to associate a possible molecular level mechanism to the experimental results. Finally, as a result of the systematic experimental work, a three-step MSMPR-crystallizer was assembled which produced selectively the Form A polymorph of FMT with excellent flowability characteristics. The system could be operated with good productivity (3 g/h) and without clogging (> 6.5h operating time).

### Acknowledgements

The research has been implemented with the support provided by the Ministry of Innovation and Technology of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the [FK-143019, K-143039] funding scheme. Project no. RRF-2.3.1-21-2022-00015 has been implemented with the support provided by the European Union. The project supported by the Doctoral Excellence Fellowship Programme (DCEP) is funded by the National Research Development and Innovation Fund of the Ministry of Culture and Innovation and the Budapest University of Technology and Economics. The research was also supported

by the József Varga Foundation of the Faculty of Chemical Technology and Biotechnology of the Budapest University of Technology and Economics.

**Irodalomjegyzék/References**

- [1] J. Orehek, D. Teslić, B. Likozar, *Org. Process Res. Dev.* 2021, 25 (1), 16–42.
- [2] C. L. Burcham, A. J. Florence, M. D. Johnson, *Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng.* 2018, 9 (1), 253–281.
- [3] L. E. Hatcher, W. Li, P. Payne, *Cryst. Growth Des.* 2020, 20 (9), 5854–5862.
- [4] L. Schenck, D. Erdemir, L. Saunders Gorka, *Mol. Pharm.* 2020, 17 (7), 2232–2244.
- [5] Z. Gao, S. Rohani, J. Gong, J. Wang, *Engineering*. 2017, 3 (3), 343–353.

# Aromás nitrovegyületek hidrogénezésére alkalmas nemesfém tartalmú katalizátorok fejlesztése

## *Development of precious metal containing catalysts applicable for hydrogenation of aromatic nitro compounds*

Tamás Bence Benedek<sup>68</sup>, Mihalkó Andrea<sup>69</sup>, Dr. Jakab Alexandra<sup>70</sup>,  
Farkas László<sup>71</sup>, Viskolcz Béla<sup>72</sup>

### **Összefoglaló**

Az aromás aminok előállításának egyik kulcsfontosságú lépése az aromás nitrovegyületek katalitikus hidrogénezése, amely meghatározó technológiai folyamat a gyógyszer-, műanyag- és festékipar számára. Ezen eljárás során a nitrocsoport redukciója révén képződő aminok számos szerves vegyület szintézisének alapvető kiindulási anyagai.

A hidrogénezési reakcióhoz általában szénhordozóra felvitt palládium- és/vagy platinaalapú katalizátorokat alkalmaznak. A katalizátor fizikai és kémiai tulajdonságai – például a szemcseméret és a hordozó típusa – jelentős mértékben befolyásolják a reakció sebességét, a mellékreakciók arányát, valamint a végtermék minőségét. Tekintettel arra, hogy a nemesfémek ára nemcsak magas, hanem jelentős ingadozásokat is mutat, a katalizátorrendszer optimalizálása elengedhetetlen a hidrogénezési technológia gazdaságos ipari alkalmazásához.

A BorsodChem Zrt. és a Miskolci Egyetem innovatív, szénalapú, nemesfém-tartalmú katalizátorok fejlesztésén dolgozik, amelyek célja a reakciók hatékonyságának növelése, a gyártási és üzemeltetési költségek csökkentése, valamint a fenntarthatóság előmozdítása. Kutatásaink középpontjában a katalizátorok szerkezeti és anyagi jellemzőinek finomhangolása áll, hogy javítsuk teljesítményüket és élettartamukat.

A projekt során laboratóriumi körülmények között új katalizátorokat állítunk elő, tesztelünk és részletesen elemezzük, hogy optimalizáljuk azok szerkezetét és reakciókinetikai tulajdonságait. Ehhez különféle analitikai és spektroszkópiai módszereket alkalmazunk a teljesítmény és stabilitás értékelésére. A sikeres laboratóriumi vizsgálatokat követően a következő szakaszban méretnövelési lépéseket hajtunk végre, előkészítve a rendszerek ipari léptékű alkalmazását. Ezzel biztosítjuk, hogy a fejlesztett katalizátorok nemcsak tudományos szempontból, hanem gazdaságilag és technológiailag is életképes megoldást nyújtsanak a hidrogénezési folyamatok optimalizálására.

### **Köszönetnyilvánítás**

*A 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00121 azonosítószámú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alaphól nyújtott támogatásával valósul meg.*

### **Summary**

One of the key steps in the production of aromatic amines is the catalytic hydrogenation of aromatic nitro compounds, a key technological process for the pharmaceutical, plastics and paint industries. In this process, amines formed by the reduction of a nitro group are essential starting materials for the synthesis of many organic compounds.

Palladium and/or platinum-based catalysts supported on carbon carriers are usually used for the hydrogenation reaction. The physical and chemical properties of the catalyst, such as particle size

68 Wanhua-BorsodChem Zrt.  
3700 Kazincbarcika, Bolyai tér 1.

69 Wanhua-BorsodChem Zrt.  
3700 Kazincbarcika, Bolyai tér 1.

70 Wanhua-BorsodChem Zrt.  
3700 Kazincbarcika, Bolyai tér 1.

71 Wanhua-BorsodChem Zrt.  
3700 Kazincbarcika, Bolyai tér 1.

72 Miskolci Egyetem  
Anyag- és Vegyészmérnöki Kar, Kémiai Intézet  
3515 Miskolc-Egyetemváros

and type of support, have a significant influence on the reaction rate, the rate of side reactions and the quality of the final. Given the fact that the price of precious metals is not only high, but also subject to significant fluctuations, the optimization of the catalyst system is essential for the economical industrial application of hydrogenation technology.

BorsodChem Zrt. and the University of Miskolc are working on the development of innovative, carbon-based, precious-metal-containing catalysts to increase reaction efficiency, reduce production and operating costs, and promote sustainability. Our research focuses on fine-tuning the structural and material properties of catalysts to improve their performance and lifetime. The project involves the fabrication, testing and detailed analysis of new catalysts under laboratory conditions to optimize their structure and reaction kinetics. This will be done using a variety of analytical and spectroscopic methods to assess performance and stability. Following successful laboratory tests, the next stage will be scaling-up steps in preparation for industrial-scale application of the systems. In this way, we will ensure that the catalysts developed provide not only a scientifically, but also an economically and technologically viable solution for the optimization of hydrogenation processes.

# Fenntartható sugárhajtómű üzemanyagok: Kihívások, technológiai innovációk és a fenntartható jövő

## *Sustainable aviation fuel: Challenges, technological innovations and sustainable future*

Tomasek Szabina, Horváth Dominik<sup>73</sup>

### **Összefoglaló**

A légitársaságok az egyik leggyorsabban fejlődő ágazat. A mindennapi élet szerves része, a modern világban egy különösen népszerű közösségi közlekedési és szállítási mód, melynek jelentősége évről évre egyre nagyobb. Jelenleg a világon kb. 320 millió tonna/év sugárhajtómű üzemanyagot használnak fel, ami évente 1024 millió tonna CO<sub>2</sub>-emissziót eredményez. A káros környezeti hatások csökkentésére a sugárhajtóművek korszerűsítésén kívül megoldás lehet a jelenleg is alkalmazott sugárhajtómű üzemanyagokkal egyenértékű, ám a teljes életciklust tekintve lényegesen kisebb karbonlábnyomot eredményező, ún. fenntartható sugárhajtómű üzemanyagok (SAF) felhasználása. Az ASTM jelenleg a Fischer-Tropsch szintézissel, a növényolajok és/vagy állati zsiradékok speciális hidrogénezésével és/vagy hidrokrakkolásával előállított sugárhajtómű üzemanyagokat tekinti SAF-nak, de a szintetikus izoparaffinok, az alkohol alapú (olefin oligomerizáció és hidrogénezés), valamint az alga/szója/fáradtolajokból katalitikus hidrotermolízissel nyert sugárhajtómű üzemanyagok is elszámolhatók SAF-ként. Az egyes technológiák különböző érettségi szinttel rendelkeznek, elterjedésüket jelenleg még számos tényező nehezíti, melyekre és az aktuális technológiai innovációkra igyekszünk előadásunkban rávilágítani.

### **Köszönetnyilvánítás**

*A kutatómunka a TKP2021-NKTA-21 számú projekt keretében, a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2021. évi Tématerületi Kiválóság Program pályázati program finanszírozásában valósult meg.*

### **Summary**

Aviation is one of the fastest-growing sectors. It is an integral part of daily life and, in the modern world, a particularly popular mode of public transport and logistics, with its significance increasing year by year. Currently, approximately 320 million tons per year of jet fuel are used globally, resulting in 1,024 million tons of CO<sub>2</sub> emissions annually. To reduce the harmful environmental effects, one solution, besides development of jet engines, is the use of Sustainable Aviation Fuels (SAF), which have a significantly lower carbon footprint over their entire lifecycle compared to conventional jet fuels. ASTM currently considers jet fuels produced via Fischer-Tropsch synthesis, special hydrogenation and/or hydrocracking of vegetable oils and/or animal fats as SAF. However, synthetic isoparaffins, alcohol-based fuels (olefin oligomerization and hydrogenation), as well as jet fuels derived through catalytic hydrothermolysis from algae, soy, or waste oils, are also eligible to be counted as SAF. These various technologies have different levels of maturity, and their widespread adoption is currently hindered by numerous factors, which we aim to highlight in our presentation, alongside current technological innovations.

### **Acknowledgements**

*This work has been implemented by the TKP2021-NKTA-21 project with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the 2021 Thematic Excellence Programme funding scheme.*

---

<sup>73</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ,  
MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10

**Az In(III)-szulfát, mint fotokatalizátor prekursor  
egy vegyes-oxid kompozit fejlesztés első lépései**  
*In(III) sulphate as a photocatalyst precursor  
first steps in the development of a mixed-oxide composite*

Vámosi Virág, Vágvölgyi Veronika, Zsirka Balázs<sup>74</sup>

### **Összefoglaló**

A hagyományos vízkezelési technológiák a növényvédőszerből és gyógyszermaradványokból származó szerves komponensek eltávolítására sokszor nem elég hatékonyak. Ekkor nő meg a jelentősége az alternatív megoldásoknak, amelyek bár kisebb kapacitásúak és gyakran drágábbak, de hatékonyabbak lehetnek. Az egyik lehetőség a heterogén katalízis, melynek során fém-oxidok (pl.  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ) fotokatalitikus jellegét használhatjuk ki szerves szennyezők bontására. Az egykomponensű oxidok hatékonysága növelhető vegyes-oxidok alkalmazásával, amikor kettő vagy több fém-oxid kompozitrendszerét alakítják ki. Ezzel javíthatók a felületi tulajdonságok (pl. fajlagos felület, pórusszerkezet), visszaszorítható a fotokorrózió és az aggregáció, továbbá növelhető a fotonhasznosítás, így a működési tartomány az UV-ból a látható tartományba tolható. A  $\text{ZnO}$  fotokatalitikus tulajdonsága régóta ismert, hatékonysága a már széles körben alkalmazást nyert  $\text{TiO}_2$ -ével egyenértékű [1]. Gerjesztéséhez azonban nagyobb energiájú UV-fotonok szükségesek, és az ún. fotokorrózióra is hajlamos. Ezen hátrányok kiküszöbölésére irányul a Cu- vagy Ni-oxiddal történő kombinálás [2]. Feltételezhetően hasonló hatások érhetők el In-oxid tartalmú kompozittal is [3]. Az oxid-kompozitok megfelelő felületi szerkezetét úgy érhetjük el, ha az oxidok nem csupán fizikai keverékek, hanem azok kialakulása párhuzamosan történik a hőkezeléses preparáció során adott prekursor-sókból.

Jelen munkában az  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{ZnO}$  vegyes-oxid kompozit fejlesztésének első lépéseit foglaljuk össze. A  $\text{ZnO}$ -ot  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  prekursorból, míg az In-oxidot In(III)-szulfát prekursorból állítottuk elő. Mindkét esetben a prekursorokból először csapadékképzéses eljárással hidroxid formát alakítottunk ki, ami a kiégetés során oxiddá alakult.

Vizsgáltuk a prekursorok közvetlen felhasználhatóságát, kihagyva a hidroxid csapadék előállítás lépést. A lépés akkor hagyható ki, ha az oxid-forma adott hőmérséklet alatt kialakul. Ennek a későbbi felhasználás miatt van jelentősége, ugyanis a jövőben a kettős rendszert agyagásvány (pl. kaolinit) hordozó felületre kívánjuk rögzíteni. A rögzítés során az oxidokat közvetlenül az ásvány felületére égetjük. A kiégetés viszont  $400\text{ °C}$  fölé nem mehet, mert azzal az ásvány szerkezeti OH-csoportjait roncsolhatjuk. Ez kerülendő, mert az agyagásványok mérsékelt, de kimutatható saját fotokatalitikus jellege ehhez a szerkezethez köthető [4, 5].

A megfelelő kiégetési hőmérséklet meghatározásához termogravimetriás kísérleteket végeztünk. A technika emellett a kiégetés során végbemenő termikus bomlási folyamatok in situ nyomon követésére is alkalmas. Megállapítottuk, hogy az In(III)-szulfát átalakulása  $600\text{ °C}$  fölött megy végbe, ami kizárja annak későbbi közvetlen felhasználását, így a hidroxidos csapadékképzési lépés nem hagyható ki. A lúgos közegben történő csapadékképzéses preparáció egy oldatban kényelmesen elvégezhető. A hidroxid-oxid átalakulás mindkét komponens esetén lejátszódik  $400\text{ °C}$ -ig.

A kísérletek során keressük az optimális Zn-In arányt, amelynél a fotokatalitikus hatékonyság a legnagyobb. Ennek érdekében első körben háromféle kompozitot preparáltunk: 99:1, 90:10 és 50:50  $\text{ZnO}:\text{In}_2\text{O}_3$  összetételben. A kompozitok összetételét röntgen-diffraktometriai és IR-spektrometriai módszerekkel vizsgáltuk.

A fotokatalitikus hatékonyságot kumarin tesztvegyülettel vizes fázisban vizsgáltuk  $365\text{ nm}$ -es UV fényrel történő bevilágítás mellett. A kumarin  $\cdot\text{OH}$  gyökbefogóként széles körben alkalmazott tesztvegyület. A belőle képződő 7-hidroxi-kumarin koncentrációjának változását fluorimetriával mértük.

<sup>74</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Természettudományi Központ, Analitikai Kémia Kutatócsoport  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

### ***Irodalomjegyzék***

- [1] Zsirka, B., Vágvölgyi, V., Horváth, E., et al, *Minerals*, 12, 476 (2022)
- [2] Harish, S., Archana, J., Sabarinathan M., et al, *Applied Surface Science*, 418 (A), 103-112 (2017)
- [3] Zhao, J., Ge, S. Pan, Y., et al., *Journal of The Electrochemical Society*, 166 (5) H3074-H3083 (2019)
- [4] Kibanova, D., Trejo, M., Destailats, H., et al., *Catal. Commun.*, 12 (8) 698-702 (2011)
- [5] Szabó, P., Zsirka, B., Fertig, D., et al., *Catal. Today*, 287, 37-44 (2017)

## **Kaolin alapú grafitos szén-nitrid kompozit fotokatalizátorok fejlesztése** *Development of kaolin-based graphitic carbon nitride composite photocatalysts*

**Zsirka Balázs<sup>75</sup>, Fónagy Orsolya<sup>76</sup>, Vágvölgyi Veronika<sup>77</sup>, Fodor Lajos<sup>78</sup>**

### **Összefoglaló**

Heterogén fotokatalízis alkalmazásával számos környezeti szennyezőanyag eltávolítható lehet. A környezettechnológiákban használható fotokatalizátoroknak számos feltételt kell teljesíteniük. Az egyik jelenlegi törekvés az olcsó, környezetbarát és a látható napsugárzás energiáját kiaknázni képes fotokatalizátorok fejlesztése.

A kaolinit agyagásvány a természetben nagy mennyiségben előforduló, olcsó nyersanyag, amelyet az ipar számos területén felhasználnak. A látható fénnel gerjeszthető grafitos szén-nitrid (g-CN<sub>x</sub>) félvezetők kedvezőtlen tulajdonságai (pl. aggregáció, alacsony fajlagos felület, adszorpciós képesség, töltésrekombináció) kompozit képzéssel javíthatók lehetnek.

Munkánk során egy kereskedelmi forgalomban kapható, magas kaolinit tartalmú, kaolin felhasználásával állítottunk elő különböző grafitos szén-nitrid tartalmú kompozitokat. A grafitos szén-nitridet karbamid prekursorból, termikus polimerizáció során in-situ állítottuk elő. Vizsgáltuk a hőkezelési hőmérséklet hatását, valamint a szintézis hatékonyságát kaolin jelenlétében. Megfigyelésünk alapján a kaolin jelenléte drasztikusan befolyásolja a g-CN<sub>x</sub> konverzióját. A szerkezeti változásokat és az anyagazonosítást porröntgendiffrakció (XRD) és infravörös spektroszkópia (FTIR-ATR) segítségével végeztük, a hőstabilitást és a kompozitok g-CN<sub>x</sub> tartalmát termikus analízis (TG-DTG) segítségével határoztuk meg. A fajlagos felületet (BET-SSA) nitrogén adszorpciós módszerrel, míg a fotokatalizátorok gerjesztési küszöbenergiáját UV-Vis-DRIFT módszerrel határoztuk meg.

A fotokatalitikus aktivitást  $\lambda_{\max}=365$  nm-es ultraibolya bevilágítás, valamint a természetes napsugárzás spektrális radianciáját szimuláló napszimulátor alkalmazásával vizsgáltuk. A fotokatalitikus aktivitással arányosan képződő fotoindukált hidroxil gyököket kumarin gyökbefogó tesztvegyület alkalmazásával, emissziós (fluoreszcens) spektroszkópia segítségével határoztuk meg. Eredményeink alapján a kaolin-alapú g-CN<sub>x</sub> kompozit fotokatalizátorok alkalmazása ígéretes lehet.

---

75 Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Természettudományi Központ, Analitikai Kémia Kutatócsoport  
zsirka.balazs@mk.uni-pannon.hu

76 Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Természettudományi Központ, Környezeti és Szervetlen Fotokémia Kutatócsoport  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

77 Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Természettudományi Központ, Analitikai Kémia Kutatócsoport

78 Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Természettudományi Központ, Környezeti és Szervetlen Fotokémia Kutatócsoport  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

# Evaluating the Impact of Task Sequencing on Cognitive Load Distribution Using Physiological Signals and Subjective Assessment

Abdulrahman K. Eese<sup>79,83</sup>, György Eigner<sup>80,81</sup>, Tamás Ruppert<sup>79,82</sup>

## **Summary**

Understanding and managing cognitive load among workers in the industrial environments is critical due to its direct impact on individual well-being, decision-making capabilities, and overall performance. Elevated cognitive load may lead to reduced concentration, increased errors, heightened stress levels, and decreased productivity. All of these aspects adversely affect workplace efficiency and safety. Therefore, accurate monitoring and management of cognitive load are essential for optimizing task design and improving workplace ergonomics. Cognitive load is typically assessed either by subjective or objective methodologies. Subjective measures, such as the NASA Task Load Index (NASA-TLX), provide insights based on personal perception. On the other hand, objective assessments rely on measurable, quantifiable data instead of subjective self-reports. These include physiological signals such as heart rate variability (HRV), electrocardiogram (ECG), and electrodermal activity (EDA), behavioral measures, and performance-based metrics like accuracy and task completion times.

This study focuses on the distribution of cognitive load through an experimental setup designed to investigate the effects of task sequencing on the workers performance and cognitive load levels. Participants engage in two types of tasks: mental tasks involving arithmetic operations (addition, subtraction, multiplication, and division) and a simple physical task of tightening screws using a screwdriver. Two distinct task sequences are evaluated: one alternating between mental and physical tasks (mental-physical-mental-physical), while the other is grouping similar tasks together (mental-mental-physical-physical). The objective is to determine whether cognitive load is more effectively managed by interspersing physical tasks—which may serve as cognitive recovery periods—between mentally demanding tasks, or if consecutively performing similar mental tasks enhances familiarity, efficiency, and fluency.

In this study, we will use two wearable devices to collect the physiological data: the Polar H10 chest belt to capture the ECG and extract the HRV from it thereafter, and the Embrace Plus from Empatica, which is a wristband watch to record the EDA and hand acceleration. Analyzing these physiological signals and the subjective feedback obtained from NASA-TLX questionnaire, will offer comprehensive insights into the effects of cognitive load distribution. The results from this experiment are hypothesized to contribute to the task design strategies that aim to foster worker well-being, reduce cognitive load, and improve overall productivity and operational safety in industrial environments.

---

79 University of Pannonia  
Department of System Engineering  
Hungary, Veszprém 8200, Egyetem u. 10.  
al-sabaawi.abdulrahman@mk.uni-pannon.hu

80 Obuda University  
Biomatics and Applied Artificial Intelligence Institute, John von Neumann Faculty of Informatics  
Hungary, Budapest 1034, Bécsi út 96/B

81 Obuda University  
Physiological Controls Research Center, University Research and Innovation Center  
Hungary, Budapest 1034, Bécsi út 96/B

82 University of Pannonia  
HUN-REN-PE Complex Systems Monitoring Research Group  
Hungary, Veszprém 8200, Egyetem u. 10.

83 Northern Technical University  
Department of Medical Instrumentation Technology Engineering  
Iraq, Mosul 41001, Al-Minassa St.

## Munkautasítások illesztése az aktuális betanulási görbékhez Fitting Work Instructions to the Current Learning Curves

Gugolya Mónika, Medvegy Tibor, Ruppert Tamás<sup>84</sup>

### *Összefoglaló*

Az ipar még mindig nagymértékben támaszkodik az emberi munkaerőre. A magas fluktuációs arányok miatt, támogató rendszerekre van szükség a hatékonyság, valamint a minőség fenntartásához. A munkautasítások minden folyamathoz elengedhetetlenek, de gyakran túl összetettek és túl sok információt tartalmaznak, ami túlterhelheti az operátorokat. A kutatás a dolgozók tanulási görbéjének megfigyelésére összpontosít, különösen az idő javulása szempontjából, valamint arra, hogy hogyan értelmezik a munkautasításokat és hogyan viszonyulnak azokhoz. A cél az, hogy nyomon lehessen követni az utasításokra fordított idő csökkenését az operátorok egyre tapasztaltabbá válása által. Ez lehetővé teszi olyan egyszerűsített munkautasítások kidolgozását, amelyek csak a lényeges információkat emelik ki. A kulcsfontosságú elemek kiemelésével, az operátorok a kezdeti betanulási fázis után jobban teljesíthetnek. A kísérletet megterveztük, a célzott méréseket elvégeztük, és ezek eredményeit elemeztük. A tanulási görbe alapján a megadott információk mennyisége módosítható, több részletet mutatva a kezdőknek, továbbá fokozatosan csökkentve az utasítások mennyiségét, amint az operátorok tapasztalatot szereznek.

### *Summary*

The industry still heavily relies on human labor, and due to high turnover rates, supportive systems are needed to maintain efficiency and quality. Work instructions are essential for every process, but they are often too complex and contain too much information, which can overwhelm operators.

The research focuses on observing operators' learning curves, particularly in terms of improvements in time and quality, as well as how they interpret and engage with the given work instructions. My goal is to track how the time spent on instructions decreases as operators become more experienced. This enables the development of simplified work instructions that highlight only the essential information. By emphasizing key elements, operators can perform better after the initial training phase.

An experiment was designed, targeted measurements were conducted, and the results were analyzed. Based on the learning curve, the amount of information provided can be adjusted, showing more details for beginners and gradually reducing the instructions as operators gain experience.

---

<sup>84</sup> Pannon Egyetem  
Rendszermérnöki Intézeti Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

## **Digitális Iker implementáció az Ipar 5.0 laborban Digital Twin Implementation in the Industry 5.0 Lab**

Halász Gergely Lajos, Ruppert Tamás, Medvegy Tibor<sup>85</sup>

### ***Összefoglaló***

Az ipari környezet és a termelés optimalizálása korábban hatalmas kihívásokat jelentett, azonban a technológia fejlődésével új lehetőségek kínálkoztak a folyamatok hatékonyságának és megbízhatóságának növelésére. Ennek megvalósításának egyik lehetséges eszköze a digitális iker. Ezen technológiát felhasználva, egyszerre akár több célfüggvényt figyelembe véve, optimalizálható a rendszer, annak digitális reprezentációján keresztül. Ezt követően az így optimalizált paraméterek automatikusan implementálásra kerülhetnek a fizikai rendszerben.

Munkámban bemutatom a Pannon Egyetem Ipar 5.0 Laboratóriumában található főbb berendezéseket és a bennük rejlő kutatási lehetőségeket a digitális iker témakörében, külön kitérve az ember-gép, gép-gép kollaborációkban rejlő kihívásokra és azok lehetséges megoldására.

### ***Summary***

The optimisation of industrial environments and production was traditionally challenging, but advances in technology have led to new opportunities for increasing process efficiency and reliability. One potential solution to this challenge is the utilisation of digital twins. The utilisation of this advanced technology enables system optimisation through its digital representation, with the simultaneous consideration of multiple optimisation functions. Subsequently, the optimised parameters can be automatically implemented in the physical system. The present study introduces the main equipment available at the Industry 5.0 Laboratory of the University of Pannonia, and the research opportunities they offer in the field of digital twins. The study focuses on the challenges of human-machine and machine-machine collaborations, and the possible solutions to these challenges.

---

<sup>85</sup> Pannon Egyetem  
Rendszermérnöki Intézeti Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

# Emberi munkaerő összehangolása genetikus algoritmussal Human Workforce Coordination with Genetic Algorithm

Horváth Judit, Darányi András, Ruppert Tamás<sup>86</sup>

## **Összefoglaló**

A tudományos számítások fejlődése lehetővé tette az online optimalizációt az iparban, melynek alkalmazása kihívást jelenthet, ha emberek is részt vesznek a folyamatban, sztochasztikus viselkedésük miatt. Ez különösen releváns a kábelkötegek gyártásánál, amelyek az elektromos autóipar egyre komplexebb termékei és az alacsony automatizáltság miatt igénylik a jelentős humán munkaerőt.

A kábelkötegggyártás során több száz vezetéknek szerelnek össze a szerelőtáblákon, ahol gyakran kell az operátoroknak együttműködni. A gyártási technológiától függően, ilyenkor a dolgozók munkáját össze kell hangolni azért, hogy eredményesen kollaborálhassanak és ne akadályozzák egymást.

A cél egy olyan feladatkiosztás meghatározása, amely minimálisra csökkenti a teljes összeszerelési időt. Az optimalizáció során figyelembe kell vennünk, hogy az egyes dolgozók különböző sebességgel dolgoznak, valamint azt is, hogy a szerelőtábla egyes területein eltérő munkatempóval haladnak – a perifériákon lassabban, míg a központi régiókban gyorsabban. Emellett különbséget kell tennünk az egyes műveletek között is. A kábelek közötti váltás gyorsabban történik, mint magának a kábelnek a táblán történő elvezetése.

Munkánk során ezen probléma mentén dolgoztunk ki egy genetikus algoritmuson alapuló feladatkiosztás-optimalizáló algoritmust. Az esettanulmány egy valós szerelőtábla alapján, de általunk kreált kábelrendezéssel készült, szimulációs szemléltetéssel és laborban történő demonstrálással.

## **Summary**

Advances in scientific computing have enabled online optimization in industry, which is challenging to apply when humans are involved in the process due to their stochastic behavior. This is especially true in the wire harness industry, where the increasing complexity of products in the electric car industry and the low level of automation require a significant amount of human labor. In harness assembly, hundreds of wires are assembled on assembly boards often with multiple operators working together. Depending on the production technology, the collaboration of the workers must be coordinated so that they can work together effectively without interfering with each other.

The aim is to define a task assignment that minimizes the total assembly time. The optimization needs to take into account the fact that each worker works at a different speed, and also that different areas of the assembly line work at different speeds - slower in the peripheral areas and faster in the central areas. We also need to distinguish between individual operations: switching between wires is faster than running the wire itself along the board.

In our work, we developed a genetic algorithm-based task assignment optimization algorithm along this problem. The case study was based on a real assembly board, but with a wire layout we created, with simulation visualization and lab demonstration.

---

<sup>86</sup> Pannon Egyetem  
Rendszermérnöki Intézeti Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

# Work-Content Related Workload and Stress Assessment Based on Intensity Metrics from Acceleration and Heart Rate Data

Tuan-anh Tran<sup>87</sup>, János Abonyi<sup>87,88</sup>, György Eigner<sup>89,90</sup>, Tamás Ruppert<sup>87,88</sup>

## **Summary**

Assessing and evaluating workload is a crucial task for industrial engineers and managers, to create or design an appropriate work content that facilitate optimal performance, safety, and well-being of operators in industrial environments. Traditional workload assessment methods, such as the NASA Task Load Index (NASA-TLX), rely heavily on subjective perceptions, which are often influenced by individual differences and may not accurately reflect the actual work content. This limitation becomes particularly evident in complex work settings where physical, mental, and temporal demands interact, and in some extents, similar to the external intensity that athletes experienced during training/exercising. In sport science, while acceleration data can be used to calculate Acceleration-based Intensity Metrics (AIMs) reflecting the external workload, heart rate (HR) data can serve as a proxy for calculating Heart Rate-based Metrics (HRMs) indicating the internal workload, offering an objective physiological measure of strain in response to external demands. With the increasing availability of wearable sensors, continuous acceleration and HR monitoring has become feasible in daily work environments. However, there is a lack of evidence show the relationship between work-content factors.

This study explores the feasibility of using HR data to explain perceived workload, focusing on the barista profession using the WEBA dataset, which includes HR and acceleration data from the hand and body of baristas during their work shifts. From this data, AIMs (e.g., Player Load (PL) and Mean Absolute Deviation (MAD)) were computed to quantify movement intensity, HRMs (e.g., Training Impulse (TRIMP) and Heart Rate Reserve (HRR) zone ratios), were derived to assess cardiovascular workload. Statistical analysis revealed significant correlations between AIMs and HRMs, as well as their association with overall workload scores from the NASA-TLX. However, a key finding of this study is the inconsistency between measured workload indicators and subjective perceptions. For example, temporal workload components in physiological and kinematic data, were often underreported in the temporal demand scores of the NASA-TLX, or misclassified into different workload category, despite their obvious influence on overall workload perception. These discrepancies highlight the limitations of subjective assessments and the need for more personalized, objective workload evaluation methods.

The findings from this study support the potential of using a combination of AIMs and HRMs to explain and predict perceived workload in industrial production, though individual calibration and clear personal workload definitions are necessary. Given the realistic nature of the WEBA dataset, further controlled laboratory studies are recommended to validate these discovered relationships. This methodology suggests broader application in industrial settings, provided that work tasks are well-characterized and follow repeatable patterns in cycle times, similar to the standardized workflow of baristas preparing drinks in the WEBA dataset.

## **Acknowledgements**

*The work of Tuan-anh Tran was supported by the 2024-2.1.1-EKÖP funding scheme from the National Research, Development and Innovation Fund.*

---

87 University of Pannonia  
Department of System Engineering  
Hungary, Veszprém 8200, Egyetem u. 10.  
tran.tuan.anh@mk.uni-pannon.hu

88 University of Pannonia  
HUN-REN-PE Complex Systems Monitoring Research Group  
Hungary, Veszprém 8200, Egyetem u. 10.

89 Obuda University  
Biomatrics and Applied Artificial Intelligence Institute, John von Neumann Faculty of Informatics  
Hungary, Budapest 1034, Bécsi út 96/B

90 Obuda University  
Physiological Controls Research Center, University Research and Innovation Center  
Hungary, Budapest 1034, Bécsi út 96/B

# **Elektrokémiai technikák integrálhatósága biotechnológiai hulladékkezelési folyamatokba: úton az elektro-biofinomítók felé**

## **Integrating Electrochemical Techniques into Biotechnological Waste Treatment Processes: Towards the Implementation of Electro-Biorefineries**

Koók László, Rózsenberszki Tamás<sup>91</sup>

### **Összefoglaló**

Nagy kihívást jelent a szerves hulladékok iparilag is fontos terméké alakítása és hasznosítása, ami rendkívül hatékony és integrált technológiai megoldásokat igényel a hozzáadott értékű erőforrások kinyerése céljából.

Munkánkban az elektrokémiai technikák szerves hulladékkezelésbe való integrálhatóságát vizsgáljuk egy konkrét példán, a hulladék alapú szerves savak elektrofermentációján keresztül. A hagyományos sötét fermentációhoz képest, ez az eljárás külső redukáló erőt alkalmaz a „kiegyensúlyozatlan fermentáció” elérése érdekében, ami elsősorban a termékszelektivitás, a hozam és a kinetika változását eredményezi.

A konyhai hulladék kezelése során és nagyobb szervesanyag terhelés mellett az elektrofermentáció előnyösnek bizonyult a kapronsavvá (C6) történő lánchosszabbítás javítását illetően, valamint a folyamat során a lag-fázis jelentősen csökkent a hagyományos sötét fermentációhoz képest. Főleg a 4-6 szénatom lánchosszúságú savak további értéknövelését vizsgáltuk, elektrokémiai oxidatív dekarboxilezéssel. Ebben a folyamatban a dekarboxilált szerves savgyökök dimereket képezhetnek, melyekből alkánok keletkeznek - pl. a kapronsavból (C6) dekan -, illetve más reakciók is lejátszódhatnak; többek között észtereket, alkoholokat, rövid láncú alkéneket képezve. Tiszta savak és savkeverékek modelladatait használva főként alkánokat és észtereket kaptunk, illetve a hosszabb sav szénláncának hosszával megnövekedett a szelektivitás az alkánok irányába.

### **Köszönetnyilvánítás**

*A kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium, 2024-2.1.1-EKÖP kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alaphól finanszírozott szakmai támogatásával valósult meg. Rózsenberszki Tamás köszönetét fejezi ki a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásáért.*

### **Summary**

Transforming organic waste into useful products is a challenging issue, which requires highly efficient and integrated technological solutions to obtain value-added resources. In this work, the possibilities of integrating electrochemical techniques into organic waste treatment is discussed through the example of dark fermentation of carboxylic acid (CAs) via electrochemically assisted fermentation method. Compared to conventional dark fermentation, electro-fermentation applies an external reducing power to achieve ‘unbalanced fermentation’, resulting mainly in shifts in product selectivity, yields and kinetics. During the treatment of kitchen waste, electro-fermentation proved to be advantageous in terms of improving chain elongation to caproic acid (C6) at higher organic loads.

In addition, the lag-phase during electro-fermentation was significantly reduced compared to the conventional dark fermentation. Upgrading of CAs especially of 4-6 carbon chain length was investigated by means of electrochemical oxidative decarboxylation. In this process, the decarboxylated CA radicals can form dimers, resulting in alkanes – e.g. decane from caproic acid (C6) -, or could undergo other pathways, forming esters, alcohols, short alkenes, etc. Using model

<sup>91</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatócsoport  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10

solutions of pure CAs and mixtures, mainly alkanes and esters were obtained, with increased selectivity to alkanes with longer chain CAs.

**Acknowledgements**

*This work was supported by the 2024-2.1.1-EKÖP University Research Fellowship Program of the Ministry of Culture and Innovation from the source of the National Research Development and Innovation Fund. Tamás Rózsenszki was supported by the János Bolyai Research Scholarship of the Hungarian Academy of Sciences.*

# Nitrogén és foszfor visszanyerése vizeletből elektrokémiai és bioelektrokémiai módszerekkel

## Recovery of Nitrogen and Phosphorous from Urine via Electrochemical and Bioelectrochemical Techniques

Nagy Kristóf Bence, Koók László<sup>92</sup>

### Összefoglaló

A vizelet egy széleskörben elérhető megújuló nitrogén és foszfor forrás, melyben a nitrogén több, mint 80 %-a karbamid formájában található meg, amely egy széleskörben felhasznált vegyipari alapanyag, így célszerű a gazdaságos visszanyerése. Ezt azonban megnehezíti a karbamidot bontó ureáz, amely azt ammóniává és szén-dioxiddá hidrolizálja, így a hatásos visszanyerés érdekében az enzimet inhibeálni kell. Hagyományos módon ezt vegyszer általi pH szabályozással érik el. Ugyanakkor elektrokémiai módszerekkel az oldat pH-ja 11-es érték (enzim inhibíció pH minimuma) fölé növelhető. Ennek hatására az oldatban lévő foszfátkoncentráció jelentős része szintén kicsapódik.

Munkám során stabilizáltam egy szintetikus vizeletoldat karbamid tartalmát, valamint csapadék formájában visszanyertem a foszfáttartalom jelentős részét. Ehhez három reaktorkonfigurációt alkalmaztam, két abiotikus (EC, 2 és 3 kamrás) és egy mikrobiális elektrolízis cellát (MEC). Az abiotikus rendszerekben a pH növeléséhez szabályoztam az áramsűrűséget (50-125 Am<sup>-2</sup>), míg a MEC rendszerben a mikroorganizmusok metabolízise során keletkezett energiát hasznosítottam a bioelektromos áram előállítására. Mindegyik esetben a pH néhány óra alatt elérte az ureáz enzim inhibíciójához szükséges 11-es pH-t, majd az azt követő stabilizációs vizsgálat keretein belül, egy hónapon keresztül követtem a karbamid koncentráció változását. A karbamidmennyiség több, mint 80%-a az oldatban maradt, így a stabilizáció sikeresnek bizonyult. Ezen kívül a pH növelésének hatására az oldott foszfátmennyiség ~82%-a (EC), illetve 55-77%-a (MEC) szilárd formában visszanyerhető volt az oldatból. A transzmissziós elektronmikroszkópiás (TEM) analízis megmutatta, hogy a csapadék amorf, magnéziumot is tartalmazó kalcium-foszfát.

### Köszönetnyilvánítás

*A szerzők megköszönik a Nanolab és a Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium (Pannon Egyetem) munkatársainak a foszfát analízis során nyújtott segítséget. Koók László köszönetét fejezi ki a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásáért.*

### Summary

Urine is a widely available, renewable source of nitrogen and phosphorus, with more than 80% of N in the form of urea. Urea is a widely used chemical feedstock, thus, its recovery is desirable. However, the activity of urease enzyme that degrades urea to ammonia and carbon dioxide limits its collection and recovery, therefore, urease should be inhibited. In general, this is ensured by pH control with chemical dosaging. In addition, electrochemical methods could be used to elevate urine pH above 11 (the minimum threshold pH for enzyme inhibition). At the same time, thanks to the pH increase, phosphate forms precipitate, which could be recovered separately. In this work, I conducted experiments for the stabilization of the urea content of a synthetic urine solution and investigated the aspects of P-recovery. 3 reactor configurations were applied, two abiotic electrolysis cells (EC, 2 and 3 chambers) and one microbial electrolysis cell (MEC). In the abiotic systems, fixed current densities were applied (50-125 Am<sup>-2</sup>) to increase the pH, while in the MEC system the energy generated via the metabolism of electro-active microorganisms was utilized to generate bioelectric current. In each case, the pH > 11 was achieved within a few hours. Also, changes in urea concentration were monitored for one month in a subsequent stabilization study.

<sup>92</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatócsoport  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10

Accordingly, more than 80% of the urea remained in solution, indicating successful stabilization. In addition, by increasing the pH, ~82% (EC) and 55-77% (MEC) of the dissolved phosphate was recovered from the solution in solid form. Transmission electron microscopy (TEM) analysis revealed that the precipitate was Mg-containing amorphous calcium phosphate.

***Acknowledgements***

*The authors acknowledge the support from the Nanolab, and Sustainability Solutions Research Lab (University of Pannonia) provided with the phosphate sample analysis. László Koók was supported by the János Bolyai Research Scholarship of the Hungarian Academy of Sciences.*

# Nyomásszabályozott folyadékkromatográfia *Pressure-regulated liquid chromatography*

Dr. Lukács Diána, Dr. Horváth Krisztián<sup>93</sup>

## **Összefoglaló**

A folyadékkromatográfiai elválasztások infrastruktúrájának (pl. kolonnák, ultranagy nyomásteljesítményű készülékek) folyamatos fejlődésével jelentősen bővülnek a módszerfejlesztési lehetőségek. Ezzel párhuzamosan azonban újabb és újabb kérdések merülnek fel az elválasztások háttérben zajló fizikai-kémiai folyamatok hatásaival, esetleges szabályozhatóságával kapcsolatban. Az UPLC és UHPLC rendszerek használata mellett különösen nagy figyelmet kap a hőmérséklet és a nyomás, elsősorban nagyméretű komponensek (pl. fehérjék) retenciós viselkedését befolyásoló hatása. A kolonnák termosztálása, azaz a hőmérsékletprofiljának kontrollálása általánosan bevett gyakorlat a folyadékkromatográfia területén, míg a nyomásváltozás szabályozása nem terjedt el a gyakorlatban. Az utóbbi években több publikáció [1–3] is megjelent az oszlopminti nyomásváltozás, mint új módszerfejlesztési irány alkalmazásáról. Előbbi lehetőség hatékony kiaknázásához azonban szükséges a kolonnatérben zajló folyamatok mélyreható ismerete.

Munkánk célja az oszlopbeli, szabályozott nyomásváltozás retencióra és csúcsalakra, ezzel együtt az elválasztási hatékonyságra gyakorolt hatásának vizsgálata és modellezése. Kutatásunk során elméleti úton, de a gyakorlatban is megvalósítható, különböző nyomásgradiens- (lineáris és nemlineáris, pozitív és negatív) programokat alkalmazunk eltérő molekulaméretű komponensek csúcsprofiljainak számítására, előrejelezve a műszeres mérések során várható kromatogramokat. Modellszámításaink során a kromatográfia területén általánosan elfogadott lineáris oldószererősségi, valamint egyensúlyi diszperzív modelleket kombináltan alkalmazzuk, ezáltal részletes képet kapva a kontrollált nyomás alatt működő kolonnákban lejátszódó retenciós/elúciós folyamatokról.

## **Irodalomjegyzék**

- [1] Fekete, Sz., Fogwill, M., Lauber, M.A., *Anal. Chem.*, 94 (22), 7877-7884 (2022)
- [2] Fekete, Sz., Lauber, M.A., *J. Chromatogr. A*, 1692, 463872 (2023)
- [3] Lardeux, H., Guillaume, D., *LCGC*, 41 (s4), 28–34 (2023)

---

<sup>93</sup> Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar, Természettudományi Központ  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10

