

**XVIII. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS NAPOK**  
**18th INTERNATIONAL SCIENTIFIC DAYS**

***A „ZÖLD MEGÁLLAPODÁS” – KIHÍVÁSOK ÉS LEHETŐSÉGEK***  
***THE 'GREEN DEAL' – CHALLENGES AND OPPORTUNITIES***

**Tanulmányok**  
**Publications**

**Szerkesztette**  
**Bujdosó Zoltán**



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Károly Róbert Campus  
Gyöngyös, 2022

MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM KÁROLY RÓBERT CAMPUS  
Károly Róbert Campus of the Hungarian University of Agriculture and Life Sciences

GYÖNGYÖSI FELSŐOKTATÁSÉRT ALAPÍTVÁNY  
Foundation for Higher Education in Gyöngyös

Szerkesztő

Dr. Bujdosó Zoltán

(Vidékfejlesztés és Fenntartható Gazdaság Intézet, MATE Károly Róbert Campus)

Lektorok

Dr. Ambrus Andrea (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Bujdosó Zoltán (Vidékfejlesztés és Fenntartható Gazdaság Intézet, MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Dinya László (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Domán Szilvia (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Fodor László (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Hágen István Zsombor (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Koncz Gábor (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Láposi Réka (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Lehoczky Éva (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Novák Tamás (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Pallás Edit (MATE Károly Róbert Campus)  
Szabóné Dr. Benedek Andrea (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Szűcs Csaba (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Taralik Krisztina (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Tóth Eszter Ilona (MATE Károly Róbert Campus)  
Dr. Zörög Zoltán (MATE Károly Róbert Campus)

© A szerzők, 2022

Szerkesztés © Bujdosó Zoltán, 2022

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik:

[CC-BY-NC-ND-4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



Kiadja

a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Károly Róbert Campus

Cím: 3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.

Telefon: 37/518-301

Honlap: <https://karolyrobertcampus.uni-mate.hu>

Felelős kiadó: Dr. Bujdosó Zoltán campus-főigazgató  
Szöveggondozó, korrektor: Kovácsné Burunkai E. Patrícia  
Technikai szerkesztő: Kovácsné Burunkai E. Patrícia

ISBN 978-963-623-032-6 (pdf)

<i>Kertész, Szabolcs – Szegedi, Balázs – Gergely, Gréta – Lennert, József Richárd – Szpisják-Gulyás, Nikolett – László, Zsuzsanna – Hodúr, Cecília</i>	TEJIPARI SZENNYVÍZ ULTRASZŰRÉSI HATÉKONYSÁGÁNAK JAVÍTÁSA IMPROVING THE EFFICIENCY OF DAIRY WASTEWATER ULTRAFILTRATION	343
<i>Klausmann-Dinya, Anikó</i>	A FENNTARTHATÓSÁG JELENTŐSÉGÉNEK TUDATOSÍTÁSA A HAZAI SZÁLLODAIPAR KERESLETI ÉS KÍNÁLATI OLDALÁN AWARENESS OF THE IMPORTANCE OF SUSTAINABILITY ON THE DEMAND AND SUPPLY SIDE OF THE HUNGARIAN HOTEL INDUSTRY	352
<i>Kneip, Antal – Zsigrai, György – Bene, Zsuzsanna – Kovács, Tibor – Molnár, Péter</i>	ORGANIC VITICULTURE IN THE TOKAJ WINE REGION: PRESENT SITUATION AND FUTURE POSSIBILITIES	360
<i>Kovács, Ernő – Lőke, Zsuzsanna – Pallás, Edit Ilona</i>	A BALATONI KERÉKPÁRTURIZMUS HELYZETE ÉS JÖVŐBELI LEHETŐSÉGEI THE SITUATION AND FUTURE OPPORTUNITIES OF CYCLING TOURISM AT LAKE BALATON	366
<i>Kovács, Gyöngyi</i>	TÁRSADALMI SZEREPVÁLLALÁS A XX. SZÁZAD ELEJÉN, AVAGY A KNER CSALÁD TEVÉKENYSÉGE GYOMAENDRÓDÖN SOCIAL INVOLVEMENT IN THE EARLY 20TH CENTURY, THE ACTIVITIES OF THE KNER FAMILY IN GYOMAENDRÓD	373
<i>Körei, László</i>	MAYOR OF INTEGRATOR IN THE LOCAL GOVERNMENT OF NYÍREGYHÁZA	381
<i>Kristály, Ferenc – Sipéki, Lilla – Márkus, Izabella Rebeka – Tompa, Richárd – Rácz, Ádám</i>	ANDEZIT NANOÓRLEMÉNY HATÁSA HASZONNÖVÉNYEK BIOMINERALIZÁCIÓJÁRA EFFECT OF ANDESITE NANOSUSPENSION ON THE BIOMINERALIZATION OF INDUSTRIAL PLANTS	386
<i>Kristály, Ferenc – Sipéki, Lilla – Márkus, Izabella Rebeka – Tompa, Richárd – Rácz, Ádám – Mucsi, Gábor</i>	FITOEXTRAKCIÓ, MINT KÁLIUM, NITRÁT ÉS EGYÉB ALAPNUTRIENS TRÁGYA FORRÁSA? PHYTOEXTRACTION, AS A SOURCE FOR POTASSIUM, NITRATE AND OTHER BASE NUTRIENT FERTILIZERS?	393
<i>Láposi, Réka – Tóth, Szilárd Zsolt – Lehoczky, Éva – Fodor, László – Tury, Rita</i>	ÁRPAFAJTÁK TALAJBAKTÉRIUMOS KEZELÉSÉNEK ÉRTÉKELÉSE IN VIVO MÓDSZEREKKEL EVALUATION OF SOIL BACTERIAL TREATMENT OF BARLEY CULTIVARS BY IN VIVO METHODS	400
<i>Le-Dai, Barbara</i>	CONSEQUENCES OF THE PANDEMIC PERIOD CAUSED BY THE CORONAVIRUS FOR ENROLLED JOB SEEKERS IN SZABOLCS-SZATMÁR-BEREG COUNTY	408
<i>Le-Dai, Barbara</i>	EXAMINATION OF JOBSEEKERS' POST-TRAINING EMPLOYMENT IN SZABOLCS-SZAMÁT- BEREG COUNTY	414
<i>Lipcsei, József – Hajdú, Dávid</i>	AGRICULTURAL TRAINING AMONG JOB SEEKERS IN THE NORTH-HUNGARY REGION	419
<i>Lipcsei, József – Hajdú, Dávid</i>	ANALYSIS OF AGRICULTURAL LAND RENTAL PRICE IN HUNGARY	425
<i>Ludányi, Lajos</i>	A KÉMIÁVAL KAPCSOLATOS TANTÁRGYAK OKTATÁSI NEHÉZSÉGEINEK OKAI CAUSES OF TEACHING DIFFICULTIES IN CHEMISTRY-RELATED SUBJECTS	430
<i>Madaras, Krisztina – Divéky-Ertsey, Anna – Csambalik, László – Gál, Izóra – Pusztai, Péter</i>	KÜLÖNBÖZŐ TALAJTAKARÓ ANYAGOK HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA ÖKOLÓGIAI SZAMÓCA ÁLLOMÁNYBAN EFFECT OF DIFFERENT SOIL COVERING MATERIALS ON ORGANIC STRAWBERRY	437
<i>Mohammad Shaker, Ahmed – Halupka, Gábor – De Barros, Vinicius Deganutti – Waltner, István</i>	ASSESSMENT OF SOIL MOISTURE DYNAMICS IN RAKOS STREAM CATCHMENT	445

# TEJIPARI SZENNYVÍZ ULTRASZŰRÉSI HATÉKONYSÁGÁNAK JAVÍTÁSA

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF DAIRY WASTEWATER ULTRAFILTRATION

*Kertész, Szabolcs – Szegedi, Balázs – Gergely, Gréta – Lennert, József Richárd –  
Szpisják-Gulyás, Nikolett – László, Zsuzsanna – Hodúr, Cecilia*

### Összefoglalás

A membránszűrési eljárásoknak már sokféle felhasználási területük van, és jelentőségük a szennyvíztisztításban mára megkérdőjelezhetetlen. A jelentős mennyiségben keletkező tejipari szennyvizek környezeti terhelésének csökkentésére hatékonyan alkalmazható például az ultraszűrés. Alkalmazásuk legnagyobb gátja a használt membránok eltömődése, ami lecsökkent fluxust és megnövekedett ellenállások kialakulását eredményezi, az élettartam csökkenésével.

Munkánk során egy folyamatos működtetésű, keresztáramú ultraszűrő membránmodulba illeszthető 3D nyomtatott promóter hatékonyságát vizsgáltuk és a megváltoztatott hidrodinamikai körülményeket modul vibrációval is teszteltük a membrán eltömődés csökkentése céljából.

Kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy az előre megtervezett és tesztelt különböző kialakítású 3D nyomtatott promóterek használatával akár háromszoros fluxusértékek és harmad akkora ellenállási értékek érhetők el. A modul vibrációjával ennél is kedvezőbb értékeket kaptunk, de ennek működtetése további energiafelvétellel jár. Célunk a vibráció és a további promóter típusok együttes hatékonyságvizsgálata csökkentett amplitúdó értékekkel is.

**Kulcsszavak:** tejipari szennyvíz tisztítás, membránszeparáció, ultraszűrés, 3D nyomtatott promóterek, hatékonyság javítás, modul vibráció

**JEL kód:** Q5

### Abstract

Membrane filtration processes already have a wide range of applications and their importance in wastewater treatment is now unquestionable. For example, ultrafiltration can be used effectively to reduce the environmental impact of the generated huge volume dairy processing wastewater. The biggest barrier to their application is the membrane fouling, which results in reduced flux and increased resistance values with reduced membrane service life.

In our work, the efficiencies of a 3D printed promoter that can be integrated into a continuous, cross-flow ultrafiltration membrane module were investigated, and the changed hydrodynamic conditions were also tested with modular vibration to reduce membrane fouling.

In our experiments, we have found that up to three times the permeate flux values and one third of the resistance values can be achieved using pre-designed and tested 3D printed promoter types. The vibration of the module resulted even better values, but its operation involves additional energy consumption. Our aim is to investigate the efficiency of the combined module vibration and the designed promoter integrations with reduced amplitude values.

**Keywords:** dairy wastewater treatment, membrane separation, ultrafiltration, 3D printed promoters, improving efficiency, module vibration

### Bevezetés

A membránszűrési eljárásokat, a mikroszűrést (MF), az ultraszűrést (UF), a nanoszűrést (NF) és a fordított ozmózist (RO) mára már igen széles körben alkalmazzák a különböző iparágakban. Az élelmiszeriparban elsősorban az alacsony hőmérsékleten megvalósítható kíméletes eljárásként a különböző molekulák és vegyületek szelektív leválasztására és sűrítésére alkalmazhatók. Közös bennük, hogy a nyomáskülönbség a fő hajtóerő a membrán két oldala között, ezért ezeket nyomáskülönbségen alapuló, membránszűrési vagy membránszeparációs eljárásoknak nevezzük. A tejiparban például az említett eljárás típusok mindegyikét körülbelül 4-5 évtizede alkalmazzák (K., L.

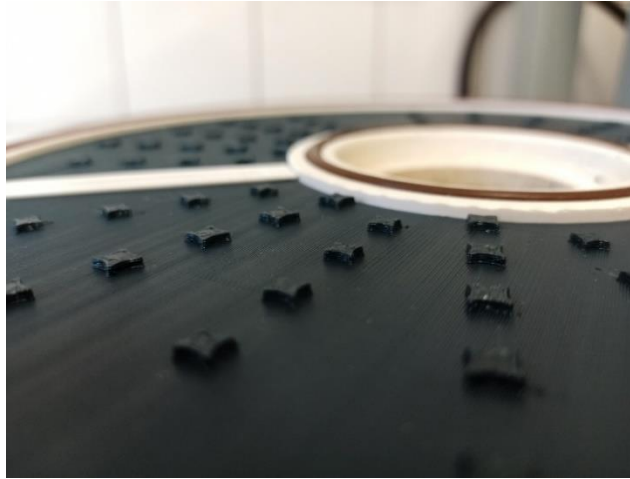
E., & Chenchaiyah, 2013). Ennek ellenére még napjainkban is alkalmazásuk egyik legnagyobb gátja a membránok eltömődése. Korábban kezdődtek kutatások azzal kapcsolatban, hogyan is lehetne redukálni a különböző szűrési műveletet lassító tényezőket például új elemek beiktatásával (J., D.E., A.G. , & R., 2000), (Fritzmann, Wiese, Melin, & Wessling, 2014). A membránok eltömődésének csökkentésére számos technikát teszteltek már és jelenleg is ígéretes kísérletek zajlanak. Ilyenek például az előre megtervezett és 3D nyomtatott anyagok, elemek, promóterek, melyek membrán modulba illeszthetőségét kutatják (Jing , és mtsai., 2021). Az ezek hatására létrejövő különböző szűrési paraméterek változását vizsgálják, elsősorban permeátum fluxus, membrán visszatartás és ellenállási értékekre vonatkozóan (Navya, és mtsai., 2019). Jelen munkánkban egyik célunk volt, hogy előzetes irodalmi kutatómunkával és előkísérletekkel alátámasztva néhány promótert megtervezzünk, kinyomtassunk és teszteljünk. Fő cél a promóterekkel megvalósítható modulban kialakuló áramlási tulajdonságok hatására bekövetkező szűrési paraméterek változásának vizsgálata és összehasonlítása. Olyan energiahatékony kialakítású promótereket tervezünk, melyek kialakításuk miatt, további energiabefektetés nélkül, nagyban javítják a szűrési hatékonyságot.

A kutatási projektünk alapja a membránszeparációs eljárásokhoz tartozó ultraszűrések részletes vizsgálata egy folyamatos működtetésű, keresztáramú, modul vibrációra is képes membránszűrő berendezés tesztelésével. Célunk egy átlagos terhelésű modell tejipari szennyvíz ultraszűrési paramétereinek feltérképezése, elsősorban a modulba helyezhető 3D nyomtatott promóter használatával (Fritzmann, Wiese, Melin, & Wessling, 2014). A 3D nyomtatott elemek tesztelése mellett a megtervezésük és a nyomtatásuk is a munkánk részét képezte. Annak érdekében, hogy minél szélesebbkörű rálátásunk és összehasonlíthatósági alapunk legyen, vizsgáltuk a promóter használata mellett bekövetkező szűrési paraméterek változását, első sorban a szűrlet vagy permeációs fluxusokra, membrán visszatartási értékekre és a teljes, reverzibilis és irreverzibilis ellenállási értékek változására vonatkozóan is.

## **Anyag és módszer**

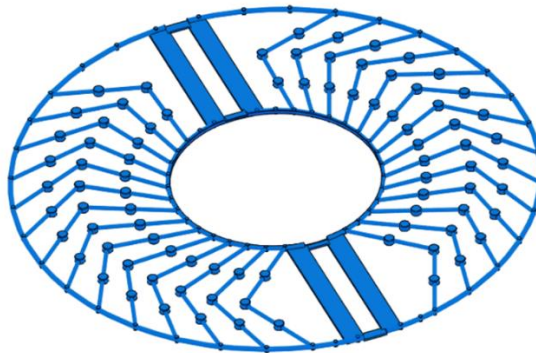
### **Anyag**

A membránszeparációs ultraszűrési kísérleteket egy VSEP típusú (Vibratory Shear Enhanced Processing) laboratóriumi üzemmódú (L-mode) készüléken (New Logic Research Inc., USA) végeztük, 50 kDa vágási értékű UHPES márkanevű poliéterszulfon membránokkal. A szűréseket, a minél jobb reprodukálhatóság érdekében minden esetben 10 liter frissen készített és homogenizált (Scilogex keverő; műanyag 2 ágú fej; 450 rpm), 5 g/dm<sup>3</sup> sovány tejpor és 0,5 g/dm<sup>3</sup> anionos detergens összetételű csapvízből készített modellszennyvízből kiindulva végeztük. A műveleti paramétereket állandó 8 bar átlagnyomáson (TMP), és 15 l/min térfogatáramon, valamint 25 °C-os szobahőmérsékleten tartva végeztük el. Ezeket egy korábbi, ugyanezen a műszeren elvégzett tanulmány szerint tűztük ki (Szerencsés, és mtsai., 2021). Laboratóriumi ultraszűrési kísérleteinkhez egy 500 cm<sup>2</sup> szűrőfelületű ultraszűrő membránt teszteltünk. A 3D nyomtatásokhoz kompozit anyagú politejsav (PLA) filatikumot használtunk fel, amely alakját és elrendezését a szűrési mutatók javítása érdekében terveztünk meg egy korábbi tanulmány alapján (5. ábra) (Nurshaun, és mtsai., 2020), majd a vizsgálatok során ennek megfelelően változtattunk, javítottunk fel (6. ábra).



5. ábra Első számú kísérleti távtartó a modulban

Forrás: saját kép



6. ábra Második számú kísérleti távtartó modellje

Forrás: saját kép

### **Módszer**

A hatékonysági paraméterek közül a permeátum fluxusokat mértük, majd a megfelelő átváltásokkal összehasonlítottuk. A szűrlet fluxusa azért nagyon fontos paraméter, mert a szennyvízkezelés során a szűrés sebességéről ad információt. Megadja, hogy az adott felületen adott idő alatt mekkora mennyiségű permeátum vagy szűrlet keletkezik a membránszűrés során. Cél a legrövidebb idő alatti minél nagyobb mennyiségű szűrlet előállítása (a teljes hatásfok még függ az energiabefektetéstől és a permeátum minőségétől, visszatartástól és az eltömődési foktól is). Az 1. egyenlettel adtuk meg az ellenállási értékeket

$$J_{perm} = \frac{TMP}{\eta \cdot (R_M + R_{IRR} + R_{REV})} \quad (1.),$$

ahol a  $J_{perm}$  a permeátum fluxus [ $m^3/m^2 \cdot s$ ],  $TMP$  a transzmembrán nyomás [Pa],  $\eta$  a dinamikai viszkozitása a modell szennyvíznek 25 °C-on [Pas],  $R_M$  a membrán saját ellenállása [ $1/m$ ],  $R_{IRR}$  az irreverzibilis eltömődési ellenállás és  $R_{REV}$  a reverzibilis eltömődési ellenállás, amely a polarizációs rétegből származik, ami a membrán felületén jön létre. A reverzibilis és irreverzibilis ellenállásértékek az áramlási viszonyoktól, a nyomáskülönbségtől, a hőmérséklettől és az oldat tulajdonságaitól függően változhatnak.

A hatékonysági paraméterek közül a 2. egyenlettel megadott membrán visszatartás. Ez a szűrlet minőségét meghatározó visszatartási tendencia, idegen kifejezéssel retenciónak is nevezik. A szűrés szelektivitásának számszerűsítésére alkalmas mutató. Százalékosan reprezentálja a visszamaradt komponens tartalmát, ha a kezdeti koncentrációt vesszük viszonyítási alapnak. Jelen munkánkban a kémiai oxigénigényre vonatkoztattunk (KOI, mg/l), amely általánosságában a szerves anyagok visszatartásának mennyiségét adja meg [%].

$$R = \left(1 - \frac{c_P}{c_F}\right) \cdot 100 \quad (2.),$$

ahol  $R$  a visszatartás [%],  $c_F$  a kiindulási anyag koncentrációja [mg/l] és  $c_P$  a permeátum koncentrációja [mg/l].

Az eltömődési fok vagy a membránok eltömődésének tendenciáiról, illetve fajtájáról a szűrési ellenállások részletes vizsgálata adhat információt. Az ellenállásmodell alapján a permeátum fluxusa fordítottan arányos a teljes ellenállás értékével. Ez pedig szoros összefüggésben van a membrán élettartamával, eltömődésével és felhasználhatóságával. A teljes ellenállás (3.) érték a membrán különböző ellenállás értékeinek összességéből adható meg: saját ellenállás (4.), irreverzibilis ellenállás (5.), reverzibilis ellenállás (6.). Az irreverzibilis ellenállás a membrán pórusainak eltömődéseiből származik, amelyeket egyszerű felület tisztítással nem lehet eltávolítani.

$$R_T = R_M + R_{IRR} + R_{REV} \quad (3.)$$

$$R_M = \frac{TMP}{J_{v\acute{e}z} \cdot \eta_W} \quad (4.)$$

$$R_{IRR} = \frac{TMP}{J_{tisztított} \cdot \eta_W} - R_M \quad (5.)$$

$$R_{REV} = \frac{TMP}{J_{\acute{a}llandósult} \cdot \eta_{WW}} - R_M - R_{IRR} \quad (6.),$$

ahol  $R_T$  a teljes ellenállás [1/m],  $J_{v\acute{e}z}$  a szűrés előtti, tisztavizes vizsgálatból kapott fluxusérték [ $m^3/m^2s$ ],  $J_{tisztított}$  a mérést követő polarizációs réteg eltávolítása után mért tisztavizes fluxus [ $m^3/m^2s$ ],  $J_{\acute{a}llandósult}$  a szűrés során beállt állandó fluxus nagysága [ $m^3/m^2s$ ],  $\eta_W$  a víz dinamikai viszkozitása szobahőmérsékleten [Pas],  $\eta_{WW}$  a modell szennyvíz dinamikai viszkozitása szobahőmérsékleten [Pas].

A besűrítési aránnyal definiálhatunk több mutatót, összefogva a szűrés jellegét. A magasabb besűrítési arány a szűrendő anyag szétválasztásának mértékét adja meg dimenziómentes arányszám formájában. Ennek kiszámítását a következő (7.) egyenlet adja.

$$VRR = \frac{V_B}{V_B - V_{SZ}} \quad (7.),$$

ahol VRR a besűrítési arány [-],  $V_B$  kiindulási térfogat és  $V_{SZ}$  a szűrlet térfogata.

A promóterek megtervezésénél meglévő kutatások eredményeit vettük alapul, amik szerint a halszálla, hengeres elrendezést választottuk meg a leghatékonyabb áramlási körülmények eléréséhez (Ho Ng, Hoon Koo, Chan Chong, & Yuen Tey, 2021).

## Eredmények

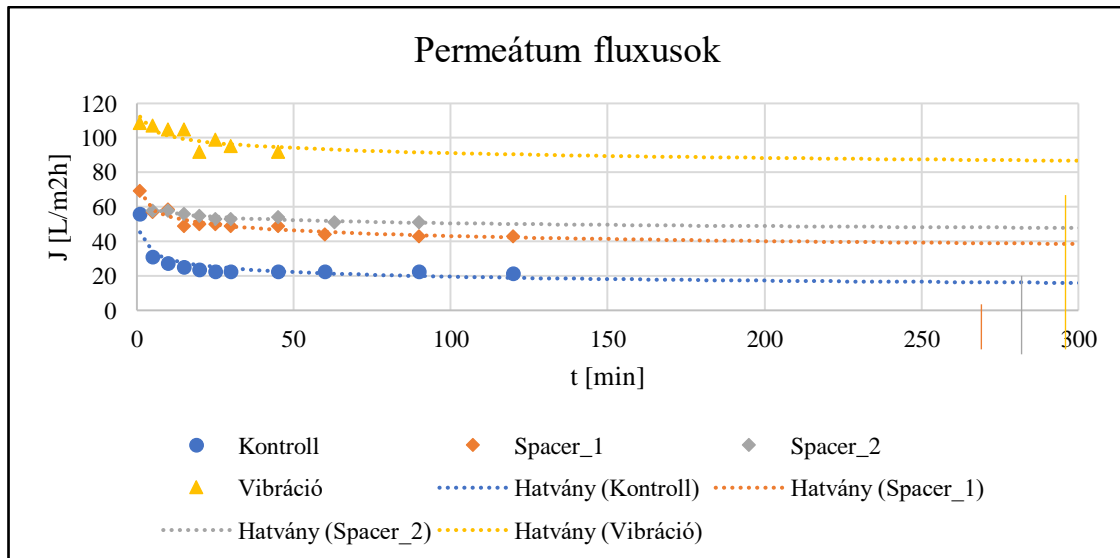
A méréseket legalább három alkalommal végeztük el. Ezek eredményeit megfelelően átlagoltuk, amit az alábbi (6. táblázat) tartalmaz.

6. táblázat Mérési eredmények átlagai

	Kontroll	Spacer_1	Spacer_2	Vibráció
<b><math>J_{\acute{a}llandósult}</math> (L/m<sup>2</sup>h)</b>	13,75	32,00	62,10	79,00
<b>VRR-t meredekség</b>	0,002316	0,006093	0,011605	0,012481
<b><math>R_{(KOI)}</math> (%)</b>	60,88	60,11	57,42	58,25
<b><math>R_{teljes, \acute{a}tlag}</math> (<math>10^{13}</math> 1/m)</b>	22,3297	10,2054	6,9501	5,5317

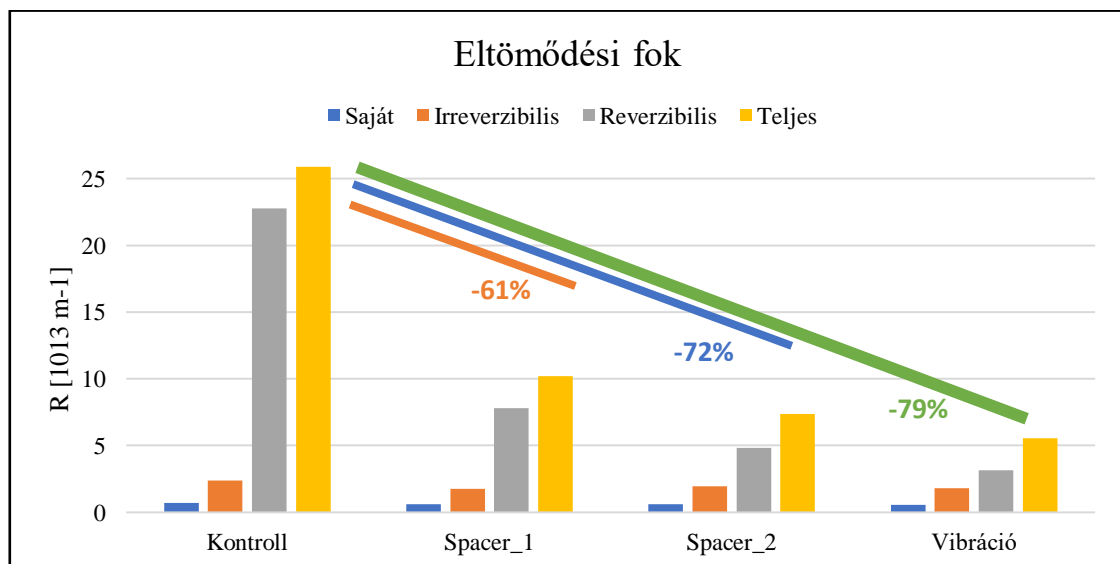
Jól látható a tendencia a kapott eredmények között, miszerint a kontroll vizsgálatához képest, bármely promóter, vagy modulvibráció alkalmazása pozitív változást jelent a szűrési paramétereken. Ez alól kivételt képez a szerves anyag visszatartás, ahol a mért eredmények közötti eltérés minimális, azaz infinitezimális.

A permeátum fluxusokat vizsgálva (7. ábra Permeátum fluxusok időbeli változása megállapítható, hogy az már első számú promóter alkalmazása is, egy elég magas, 230% javulást hozott a kontrollhoz képest, sőt a második számú promóter 300%-os javulást azonos viszonyításban. A legnagyobb hatékonyság javulást ezen a téren a vibráció alkalmazása jelentette a maga kontrollt alapul véve, 500%-os értéknövekedésével.



7. ábra Permeátum fluxusok időbeli változása

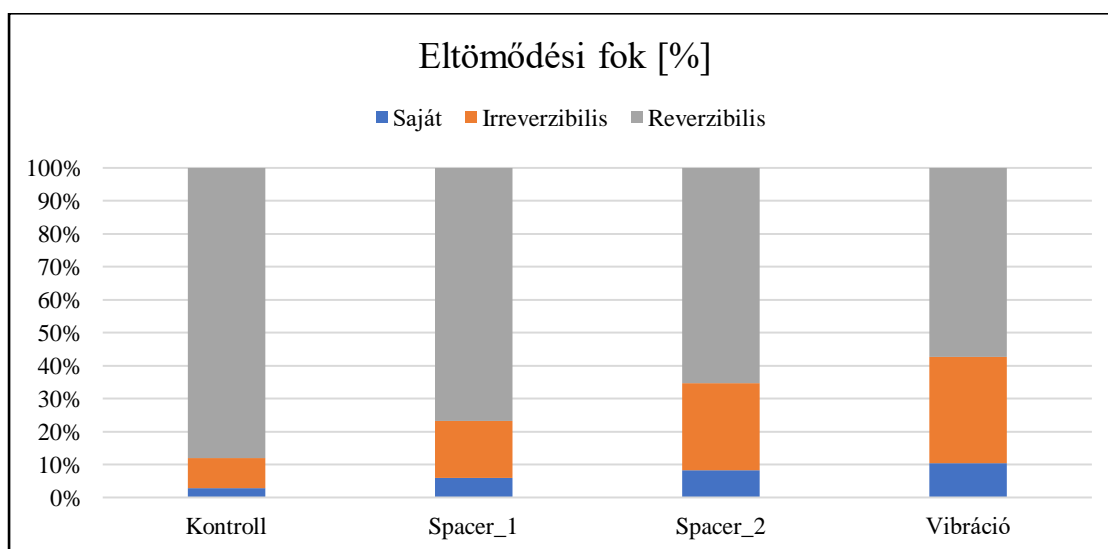
A szűrési ellenállások esetén (8. ábra), azt tapasztaltuk, hogy a promóterek áramlást befolyásoló hatásának köszönhetően a teljes eltömődés értéke sorra javult. Amennyiben a kontroll szűrésünket tekintjük a 100%-nak, úgy az első számú promóteré 61%-os, a kettes számúé 72%-os, míg a vibrációé 79%-os csökkenést jelentett a teljes ellenállás tekintetében, ami nagyon jónak mondható.



8. ábra Membrán eltömődési fok változása

Amennyiben a teljes szűrési ellenállás összetételének százalékos eloszlását tekintjük (9. ábra Membrán eltömődési fok százalékos eloszlása, úgy a fluxus javulásokhoz hasonló tendencia tapasztalható, azaz a reverzibilis ellenállás részaránya csökken. Mellette az eltömődés mértéke változatlan, az irreverzibilis eltömődés közel állandó minden mérés során. Ez ugyancsak igaz a membrán saját ellenállására is, ami a gyártási paraméterektől függően állandó.





9. ábra Membrán eltömődési fok százalékos eloszlása

## Következtetések

Az eredményekből tisztán kirajzolódik, hogy bármely promóter, és a modul vibráció alkalmazása önmagában is nagyban elősegíti a szűrés időbeli feljavítását, hatékonyságának növelését, illetve a membrán felületén keletkező polarizációs réteg csökkentését. Továbbá jól érzékelhető, hogy ezen promóterek kizárólag fizikai szempontokból hoznak megengedett mértékű javulást, mivel a tapasztaltak okán nem jelentkezik jelentős változás az irreverzibilis eltömődésben, vagy a szerves anyag visszatartásban.

A módszerek összehasonlításában egyértelmű első helyet foglal el a vibráció alkalmazása a modulon, akármelyik paramétert is helyezünk a vizsgálat középpontjába, bár ennek használata nagyobb energiaértékekkel jár. Ezt követően lesz második helyen, a 'feljavított' promóter, ami nagymértékű javulást jelent mind fluxus értékekben, mind besűrítési arány szempontjából. Az első számú promóter viselkedése szempontjából javulás írható le a kontroll vizsgálathoz képest, ellenben a szűrések következtében könnyen rongálódott, illetve hasznos területet vett el a modulból, ami nem megfelelő feszültségeket eredményezett, aminek hatása az elem meghibásodása, törése, illetve ebből adódóan a membrán sérülését okozta.

A második számú promóter az első számúnak a feljavítására, továbbfejlesztésére szolgált, ez jól megmutatkozik a kettejük különbségén is. A forma és elrendezés megfelelő teret és áramlási változást tudott jelenteni annak érdekében, hogy a membrán felületen keletkezett polarizációs réteget könnyűszerrel eltávolítsa az áramló közeg. Ezzel eredményül hozta, hogy a fluxusok tartósan magasabb értéken tudtak maradni a szűrés folyamán. Ezt igazolja az eltömődési fok százalékos alakulása is, ami a reverzibilis eltömődés csökkenését hivatott igazolni.

Mindent összevetve elmondható, hogy a membrán modul vibráltatása nagyobb javulást ér el a szűrés paraméterek tekintetében, azonban a vibrációnak magas az energiaigénye, míg a promóter elhelyezésének minimális a többlet energiaigénye. Tehát hasznos változást értünk el energia befektetés nélkül. Célunk továbbiakban annak vizsgálata, hogy képesek vagyunk-e ötvözni a vibráció alacsonyabb energiaigényű beállítását a megfelelően megtervezett promóterek beillesztésével. Így az eredményesebb szűrés paraméterek javulásra tehetünk-e szert, mint külön-külön a vibrációval vagy a promóterek alkalmazásával.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-5-SZTE-550 kódszámú Új Nemzeti Kiválósági Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs alapról finanszírozott szakmai támogatásának, valamint az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjnak (BO/00576/20/4) az általuk nyújtott támogatásért.

## Hivatkozott források

- Fritzmann, C. - Wiese, M. - Melin, T. - Wessling, M. (2014): Helically microstructured spacers improve mass transfer and fraction selectivity in ultrafiltration. *Journal of Membrane Science*, 463, 41-48.
- Ho Ng, V. - Hoon Koo, C. - Chan Chong, W. - Yuen Tey, J. (2021): Progress of 3D printed feed spacers for membrane filtration. *Materials Today: Proceedings*, 46, 2070-2077.
- J., S., D.E., W., A.G., F., - R., G. (2000). Characterization of a zigzag spacer for ultrafiltration. *Journal of Membrane Science*, 172, 19-31.
- Jing, W. K. - Jia, S. H. - Jia, A. - Yi, Z. - Chee, K. C. - Tzyy, H. C. (2021): A review on spacers and membranes. *Water Research*, 188, 116497.
- K., M., L. E., M., & Chenchiah, M. (2013): Application of Membrane Separation Technology for Developing Novel Dairy Food Ingredients. *Journal of Food Processing & Technology*, 4, 269-274.
- Navya, T. - Nurshaun, S. - Orabi, A.-K. - Reza, R. - Rashid K. - A. A.-R. - Hassan, A. (2019): 3D printed spacers based on TPMS architectures for scaling control in membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 581, 38-49.
- Nurshaun, S. - Navya, T. - Oraib, A.-K. - Reza, R. - Rashid K. - A.-R. - Seungkwan, H. - Hassan A., A. (2020): Impacts of feed spacer design on UF membrane cleaning efficiency. *Journal of Membrane Science*, 616, 118571. doi:<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118571>
- Szerencsés, S. G. - Beszédes, S. - László, Z. - Veréb, G. - Szegedi, B. - Hovorkáné Horváth, Z. - Kertész, S. (2021): EFFECT OF VIBRATION ON THE EFFICIENCY OF ULTRAFILTRATION. *Analecta Technica Szegedinensia*, 15 (1), 37-44.

## Szerzők:

### ***Dr. habil. Kertész Szabolcs PhD***

egyetemi docens

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar,  
Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete  
6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

[kertesz@mk.u-szeged.hu](mailto:kertesz@mk.u-szeged.hu)

### ***Szegedi Balázs***

BSc-hallgató

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar  
6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

[szegedib@mk.u-szeged.hu](mailto:szegedib@mk.u-szeged.hu)

### ***Gergely Gréta***

BSc-hallgató

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar  
6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

[gergely.gretii@gmail.com](mailto:gergely.gretii@gmail.com)

### ***Lennert József Richárd***

MSc-hallgató

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar  
6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

[lennert.jozsef.richard@gmail.com](mailto:lennert.jozsef.richard@gmail.com)

***Szpisják-Gulyás Nikolett***

PhD-hallgató

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar  
6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

[gulyasn@mk.u-szeged.hu](mailto:gulyasn@mk.u-szeged.hu)

***Prof. Dr. László Zsuzsanna PhD***

egyetemi tanár

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar,  
Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete  
6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

[zsizsu@mk.u-szeged.hu](mailto:zsizsu@mk.u-szeged.hu)

***Prof. Dr. Hodúr Cecília DSc***

egyetemi tanár

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar,  
Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete  
6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

[hodur@mk.u-szeged.hu](mailto:hodur@mk.u-szeged.hu)