

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>Sipeki, Lilla – Márkus, Izabella Rebeka – Rácz, Ádám – Tompa, Richárd – Kristály, Ferenc</i>	
NAPRAFORGÓ BIOMINERALIZÁCIÓJA RIOLITTUFA NANOÓRLEMÉNY HATÁSÁRA BIOMINERALIZATION OF SUNFLOWER AND THE INFLUENCE OF NANOMILLED RHYOLITE TUFF ON IT'S MINERAL UPTAKE	558
<i>Sipeki, Lilla – Márkus, Izabella Rebeka – Rácz, Ádám – Tompa, Richárd – Tóth, Márton – Kristály, Ferenc</i>	
KUKORICA BIOMINERALIZÁCIÓJA ÉS ÁSVÁNYI ANYAG FELVÉTELÉNEK VÁLTOZÁSA RIOLITTUFA NANOÓRLEMÉNY HATÁSÁRA BIOMINERALIZATION OF ZEA MAYS AND THE INFLUENCE OF NANOMILLED RHYOLITE TUFF ON ITS MINERAL UPTAKE	564
<i>Siskáné Szilasi, Beáta</i>	
A TÁRSADALMI FENNTARTHATÓSÁG LOKÁLIS SZINTJEI LOCAL LEVELS OF SOCIAL SUSTAINABILITY	572
<i>Siskáné Szilasi, Beáta – Szepesi, Mariann</i>	
VÁROSI TERÜLETHASZNÁLAT VÁLTOZÁSOK VIZSGÁLATA CORINE ADATBÁZIS ALKALMAZÁSÁVAL INVESTIGATION OF THE LAND USE CHANGES IN THE URBAN AREAS WITH THE CORINE DATABASE	579
<i>Soós, Anita – Bozsik, Nándor</i>	
LOW ENERGY DATA CONNECTIVITY OF IOT SENSORS USED IN AGRICULTURE	586
<i>Soós, Anita – Bozsik, Nándor</i>	
POSSIBILITIES OF USING VERTICALLY INSTALLED BIFACIAL SOLAR CELLS IN AGRICULTURE	592
<i>Szeberényi, András – Lukács Rita – Papp-Váry Árpád</i>	
AZ EGYETEMISTÁK KÖRNYEZETTUDATOS MAGATARTÁSÁNAK VIZSGÁLATA A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS VONATKOZÁSÁBAN EXAMINING ENVIRONMENTAL FRIENDLY BEHAVIOURS OF UNIVERSITY STUDENTS TOWARDS SUSTAINABLE DEVELOPMENT	598
<i>Szegedi, László – Tury, Rita – Szabóné Béres, Beatrix – Lehoczky, Éva</i>	
AZ ÉSZAK-MAGYARORSZÁGI RÉGIÓ PRIMER BIOMASSZA POTENCIÁLJA POTENTIAL OF PRIMARY BIOMASS IN THE NORTHERN HUNGARIAN REGION	607
<i>Szelezcki, Balázs – Kristály, Ferenc – Tóth, Márton</i>	
RIOLITTUFA HATÁSA A LEVENDULÁBAN KIFEJLŐDŐ BIOMINERALIZÁCIÓRA THE EFFECT OF RHYOLITE TUFF ON THE BIOMINERALIZATION PROGRESS IN LAVENDER	614
<i>Szelezcki, Balázs – Tompa, Richárd – Kristály, Ferenc</i>	
RIOLITTUFA ÉS ANDEZIT TÖRMELEK HATÁSA A TALAJ VÍZTARTALMÁRA – LABORATÓRIUMI KÍSÉRLET THE EFFECT OF RHYOLITE TUFF DEBRIS AND ANDESITE DEBRIS ON THE WATER CONTENT – LABORATORY EXPERIMENT	622
<i>Szélpál, Szilárd</i>	
A KÖRKÖRÖS GAZDASÁGI ÁTÁLLÁS ÉS VÁRHATÓ TÁRSADALMI HATÁSAI CIRCULAR ECONOMIC TRANSITION AND ITS EXPECTED SOCIAL EFFECTS	628
<i>Szöllős-Tóth, Andrea</i>	
A TURISZTIKAI DESZTINÁCIÓK SEZONALITÁSÁNAK HATÁSA A TÚLZOTT MÉRTÉKŰ TURIZMUSRA THE IMPACT OF THE SEASONALITY OF TOURISM DESTINATIONS ON OVERTOURISM	634
<i>Szpisják-Gulyás, Nikolett – Gergely, Gréta – Huszár, Gabriella – Kertész, Szabolcs – Hodúr, Cecília</i>	
SZENNYVÍZ ULTRASZŰRÉSÉNEK MODELLEZÉSE KEVERTETETT MEMBRÁNSZŰRŐ CELLÁBA INTEGRÁLT PROMÓTERREL MODELLING OF WASTEWATER ULTRAFILTRATION WITH PROMOTER INTEGRATED INTO A STIRRING MEMBRANE FILTER CELL	642

SZENNYVÍZ ULTRASZŰRÉSÉNEK MODELLEZÉSE KEVERTETETT MEMBRÁNSZŰRŐ CELLÁBA INTEGRÁLT PROMÓTERREL

MODELLING OF WASTEWATER ULTRAFILTRATION WITH PROMOTER INTEGRATED INTO A STIRRING MEMBRANE FILTER CELL

Szpisják-Gulyás, Nikolett – Gergely, Gréta – Huszár, Gabriella – Kertész, Szabolcs – Hodúr, Cecilia

Összefoglalás

Magyarországon, és az Európai Unióban is, az elmúlt évtizedekben jelentősen megnőtt a szennyvíz mennyisége, amelynek nagy része az élelmiszeriparból származik. Ennek jelentős hányada a tejiparból ered, melyek biztonságos és hatásos kezelése igen fontossá vált.

A membránszeparációs eljárásoknak nagyon sokféle felhasználási területe van, és az elmúlt években jelentősége a tejipari szennyvíztisztításban is megnövekedett. Számos előnyük mellett azonban a membrán eltömődése jelentősen befolyásolja a membránszeparáció teljesítményét, ami miatt fontos az eltömődési mechanizmusok jellemzése.

Munkánk során a sorba kapcsolt ellenállás modell és a Hermia modellek segítségével elemeztük a membrán eltömődés és a fluxus csökkenés jelenségét. A sorba kapcsolt ellenállás modell az eltömődés helyét határozza meg (a membrán felületén vagy a pórus belsejében), míg a Hermia modell a négy eltömődési mechanizmust azonosítja: teljes blokkolás, standard blokkolás, közbenső blokkolás és iszaplepleny szűrés modell.

A kísérletek során a membrán eltömődés csökkentésének lehetőségét vizsgáltuk a membrán felületén megnövelt nyírófeszültségek, lokális turbulenciák kialakításával. A modulban megváltoztatott hidrodinamikai körülményeket keveréssel (100, 200, 300 és 400 rpm), illetve 3D nyomtatással, speciálisan erre a célra megtervezett PLA (politejsav) promóterekkel alakítottuk ki.

Kulcsszavak: Hermia modell, membrán eltömődés, tejipari szennyvíz, ultraszűrés

JEL kód: Q5

Abstract

In Hungary, and European Union, the volume of wastewater production has increased significantly in recent decades, much of which comes from the food industry. Large proportion of this comes from the dairy industry, the management of which has become very important.

Membrane separation processes have a wide range of applications and have become increasingly important in dairy wastewater treatment in recent years. In addition to their many advantages, membrane fouling greatly affects the performance of membrane separation, so it is very important to characterize fouling mechanisms with resistance values.

In this work, the fouling and flux decline mechanism were investigated by Resistance-in-series and Hermia model. The Resistance-in-series model identifies the place (surface or internal pore) of fouling. According to the modified Hermia model, there are four main fouling mechanisms: complete blocking, standard, intermediate blocking and cake layer formation.

In this study, fouling was reduced by increasing shear rates and local turbulences on the surface of the membrane. The changed hydrodynamic conditions into the module were generated by stirring (100, 200, 300 and 400 rpm) and using designed 3D printing PLA promoters.

Keywords: dairy wastewater, Hermia's model, membrane fouling, ultrafiltration

Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben bekövetkezett nagymértékű ipari fejlődésnek köszönhetően jelentősen megnövekedett a termelői tejipari szennyvizek mennyisége, ami igen nagy veszélyt jelenthetnek a környezetre nézve. A tejipari szennyvizek magas szervesanyag tartalommal rendelkeznek - 89-95000

mgL⁻¹ -, emiatt kezeletlenül környezetbe történő kiengedésük esetén annak eutrofizációját okozzák, ami az oxigénkészlet kimerülését, illetve a biodiverzitás csökkenését eredményezi (Talha et al., 2019).

A víz- és szennyvíztisztításban egyre inkább elterjedt módszer a membránszűrés, amelynek a klasszikus tisztítási eljárásokhoz képest számos előnye, azonban néhány hátránya is van. A művelet lényegét jelentő membrán egy válaszfalként működik, amely szelektív áteresztő képessége miatt az anyagok szétválasztását többnyire kémiai átalakulás nélkül teszi lehetővé. További előnye, hogy könnyen összekapcsolható más technikákkal - például fizikai, kémiai, illetve biológiai előkezelésekkel -, folyamatos működésűvé tehető, az energiaigénye kicsi - alacsony transzmembrán nyomás és szobahőmérséklet alkalmazása - mellett üzemeltethető, illetve az elválasztás nem igényel hozzáadott vegyszereket. A módszer hátránya azonban a membrán felszínén kialakuló koncentráció-polarizáció, ami a szűrés irányával ellentétes irányú hajtóerőt hoz létre, illetve a membrán eltömődése, amelynek a csökkentése számos közlemény tárgyát képezi.

A szakirodalmi adatok szerint a membrán felületi nyírási feszültség növelésével csökkenteni lehet a membrán eltömődését, ami kedvezően hat a szűrés fluxusára, azaz az egységnyi szűrőfelületen egységnyi idő alatt áthaladó fluidum mennyiségére, amely a membrán eltömődésének hatására jelentősen csökken. A nyírási feszültség növelésére, és ezáltal, a membrán eltömődésének csökkentésére alkalmas módszer az áramlási tulajdonságok megváltoztatása, ezen belül is legfőképpen a keverés alkalmazása a szűrés során (Kertész et al., 2017) (Cheng et al., 2021).

Mindezek mellett fontos megemlíteni, hogy az utóbbi években jelentősen fejlődött a 3D nyomtatás technikája is: az előállított termékeknek javult a minősége, bővült a használható anyagok választéka, illetve csökkent az előállítással járó környezetszennyezés és a termékek előállításának a költségei. Mindez lehetővé tette a 3D nyomtatott promóterek/spacerek alkalmazását a membránszűrések során (Yanar et al., 2020). Ezek a 3D nyomtatott elemek szintén növelik a membrán felszínén kialakuló turbulenciát, aminek a következtében csökkenhet a membrános eljárások során az eltömődés mértéke.

A membrán eltömődések vizsgálatára fél-empirikus modelleket használtunk, amelyek fizikai jelentéssel bírnak, így megoldást jelenthetnek az ultraszűrés fluxus csökkenésének pontos előrejelzésére és egyidejűleg magyarázzák meg az eltömődés mechanizmusát.

Anyag és módszer

Anyag

A laboratóriumi kísérleteink során tejipari modell szennyvizet használtunk fel. Ezt sovány tejporból 5 g/L koncentrációban, C180 márkanevű anionos detergensből 0,5 g/L koncentrációban, illetve 25°C hőmérsékletű csapvízből készítettük el, melyet egy 20 perces intenzív kevertetés segítségével történő homogenizálás követett.

Az ultraszűréseket egy kevertethető, szakaszos ultraszűrő cellában (Millipore) végeztük. A kísérletekhez két különböző pórusméretű poliéterszulfon (*PES*) membránt használtunk, melyeknek a vágási értéke (*MWCO*) 10 és 150 kDa volt. A mérések során az állandó paraméterek a következők voltak: a transzmembrán nyomás (*TMP*) 4 bar és a szűrendő oldat, model szennyvíz hőmérséklete 25 °C. Ennek mennyisége minden mérésnél 100 g volt és a mérést kétszeres sűrítési arányig (*VRR=2*) végeztük. A szűrőberendezés keverésének sebességét változtattuk, méréseket végeztünk 100, 200, 300 és 400 rpm keverési sebesség mellett is.

A laboratóriumi mérések során hat különböző 3D nyomtatással készült promóter tesztelését végeztük el. Ezek a szűrőberendezésben a membrán felszínén elhelyezkedve, a szűrőben kialakuló áramlási viszonyokat változtatták meg. A tesztelt kialakítások az 1. ábrán láthatóak. A tervezéshez Cura szoftvert használtunk, a nyomtatás pedig Creality CR-10S Pro V2 3D nyomtatóval történt. A nyomtatásokat politejsav (*PLA*) anyagból szálhúzott (*FDM*) technikával, 0,2 mm rétegvastagsággal, 100 %-os kitöltési sűrűséggel, 215°C-os nyomtatási és 60°C-os tálcahőmérsékleten végeztük.



1. ábra A tesztelt spacerek

Módszer

Sorbakapcsolt ellenállás modell

A teljes ellenállás (R_T) a membrán ellenállásból (R_M), a reverzibilis (R_{REV}), azaz a membrán felületéről mosással eltávolítható réteg ellenállásból és az irreverzibilis (R_{IRREV}), az egyszerű öblítéssel el nem távolítható eltömődési ellenállásból tevődik össze (1. egyenlet).

$$R_T = R_M + R_{IRREV} + R_{REV} \quad (1)$$

A membránellenállást a 2. egyenlet szerint, a vízfluxus segítségével az alábbi képlettel számoltuk ki:

$$R_M = \frac{\Delta p}{J_v \cdot \eta_v} \quad (2)$$

ahol: R_M : membrán ellenállás [m^{-1}], J_v : vízfluxus a tiszta membránon [$Lm^{-2}h^{-1}$], η_v : víz viszkozitása [Pas]
Az irreverzibilis ellenállás a szűrést követően az eltömődött membrán felületének átöblítése utáni vízfluxusból számítható:

$$R_{IRREV} = \frac{\Delta p}{J_{v1} \cdot \eta_v} - R_M \quad (3)$$

ahol: R_{IRREV} : irreverzibilis ellenállás [m^{-1}], J_{v1} : vízfluxus a szűrés után [$Lm^{-2}h^{-1}$]

A reverzibilis ellenállás az egyensúlyi állapotot megközelítő fluxusérték segítségével határozható meg:

$$R_{REV} = \frac{\Delta p}{J_p \cdot \eta_p} - R_M - R_{IRREV} \quad (4)$$

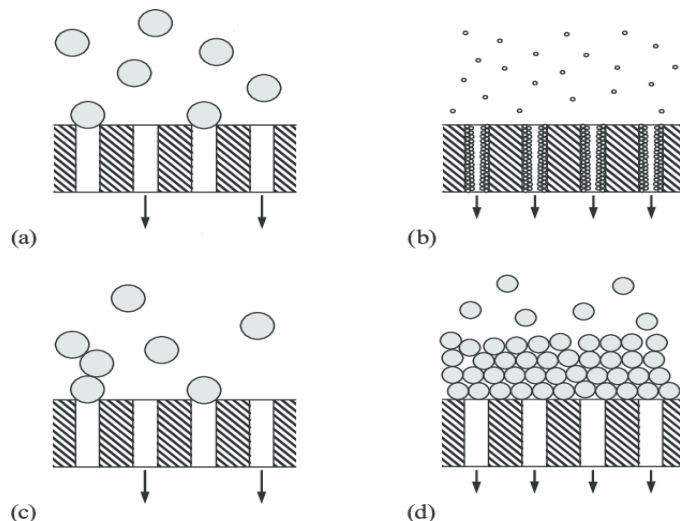
ahol: R_{REV} : reverzibilis ellenállás [m^{-1}], J_p : egyensúlyi állapotot megközelítő fluxus [$Lm^{-2}h^{-1}$], η_p : permeátum viszkozitása [Pas].

Hermia modell

Hermia (1982) félempirikus matematikai modellt készített a permeátum fluxus csökkenésének leírására. Ez a modell a klasszikus, állandó nyomású szűrési eljárás alapján alapszik. Az eltömődés mechanizmusa a Hermia modell alapján azonosítható. Az 5. egyenletben az 'n' jellemzi a szűrési mechanizmus típusát (Ng et al., 2014). Ezek a következők lehetnek: teljes blokkolás, közbenső blokkolás, standard blokkolás, iszapleány szűrés (2. ábra).

$$\frac{d^2 t}{dV^2} = K \left(\frac{dt}{dV} \right)^n \quad (5)$$

ahol t a szűrési idő, V a szűrlet térfogata K és n paraméterek pedig az eltömődési modellek paraméterei.



2. ábra Eltömődési modellek: (a) teljes blokkoló modell; (b) standard blokkoló modell
(c) közbenső blokkoló modell; (d) iszaplepleny szűrés modell

Forrás: Iritani és Katagiri (2016)

Hermia (1982) és Vela et al., (2008) az alábbiak szerint jellemezte a négyféle eltömődési modellt:

Teljes blokkoló modell ($n=2$): A részecskék mérete nagyobb, mint a membrán pórusmérete, így a pórusok teljesen el annak zárva. Ennél a modellnél a molekulák nem rakódnak egymásra.

Standard blokkoló modell ($n=1,5$): A molekulaméret kisebb, mint a membrán pórusmérete, így a molekulák könnyedén bejuthatnak a membrán pórusaiba. A blokkolás a membrán pórusain belül történik.

Közbenső blokkoló modell ($n=1$): Ez a modell hasonló a teljes blokkoló modellhez. A pórus bejáratához eljutó molekula szintén blokkolja a pórus bejáratot, azonban a közbenső blokkoló modell esetében egyes molekulák egymásra rakódhatnak. Ez azt jelenti, hogy nem minden molekula blokkolja a membrán pórusait, amely a membrán felületén van.

Iszaplepleny szűrés modell ($n=0$): A molekulák felhalmozódnak a membrán felületén úgy, hogy egy porózus/áteresztő iszaplepleny (cake) réteget alkotnak, és ezzel lehetővé teszik a művelet folytatódását.

1. táblázat Az eltömődési mechanizmusok egyenletei

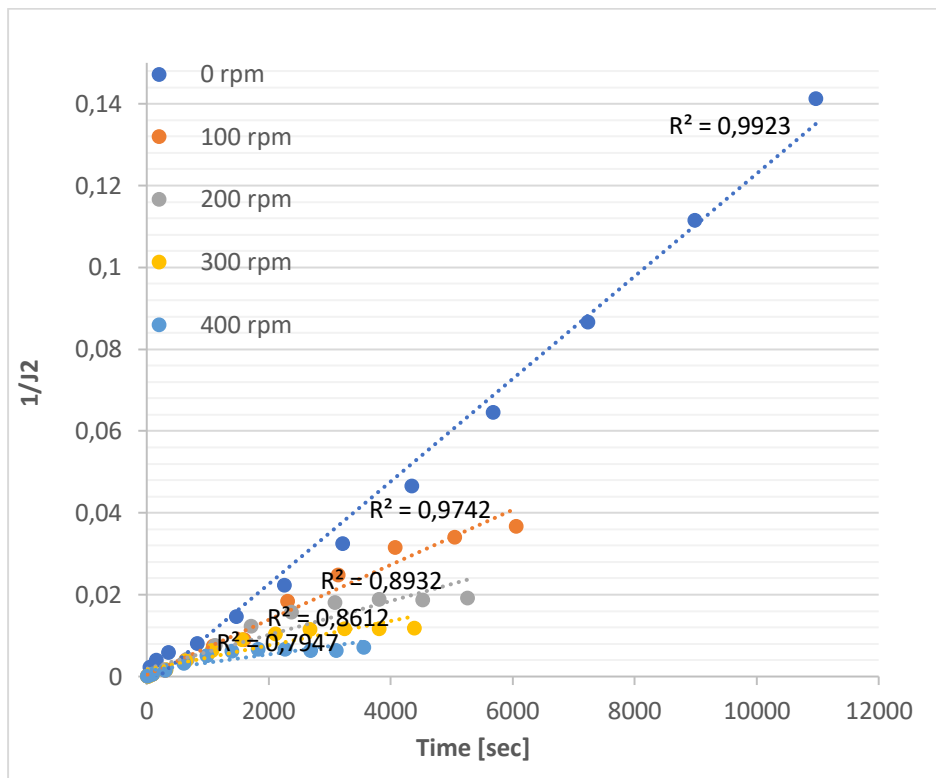
Teljes blokkoló modell $n=2$	Standard blokkoló modell $n=1,5$	Közbenső blokkoló modell $n=1$	Iszaplepleny szűrés modell $n=0$
$\ln J = \ln J_0 - k_c t$ <p>(6)</p>	$\frac{1}{J^{0,5}} = \frac{1}{J_0^{0,5}} + k_s t$ <p>(7)</p>	$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_0} + k_i t$ <p>(8)</p>	$\frac{1}{J^2} = \frac{1}{J_0^2} + k_g t$ <p>(9)</p>

A (6) – (9) egyenletekben, J a fluxus [$\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$]; t a szűrési idő [s]; J_0 a fluxus a $t = 0$ időpillanatban; k_c, k_s, k_i, k_g pedig a modell állandók.

Eredmények

Az ultraszűrés során először a Hermia modelleket alkalmaztuk az eltömődési mechanizmusok elemzésére. A kísérleti adatoknak a négy modellbe illesztésével meghatározható, hogy melyik a legjellemzőbb eltömődési mechanizmus. A 3. ábrán látható a 10 kDa vágási értékű membránon, különböző fordulatszámmal mért értékei a (6) – (9) egyenletekbe illesztve, és az illesztési eredmények alapján a valószínűsíthető modell meghatározása. Az ábrán jól látható, hogy a determinációs együttható (R^2) az $n=0$, vagyis a cake layer formation model esetében a legnagyobb. A 2-5. táblázatokban az összes

mérésre történő illesztések, vagyis az R^2 értékeit mutatjuk be. A legmagasabb R^2 érték a legjobban illeszkedő modellt jelenti, ezeket a táblázatokban piros színnel emeltük ki.



3. ábra R^2 értékek iszaplepenyszűrés model esetében (10 kDa PES UF membránnal)

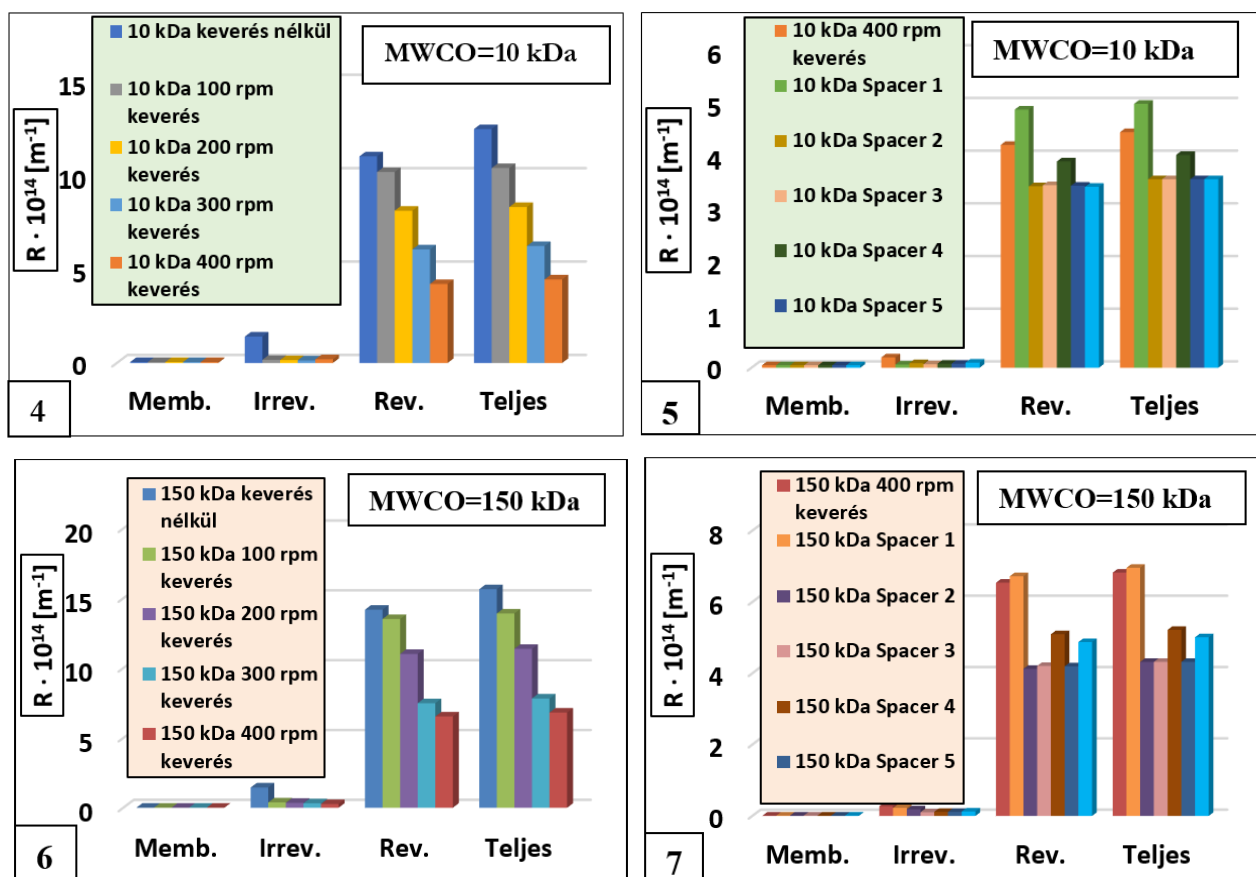
A táblázatokból jól látható, hogy minden esetben, a membrán vágási értékétől, a keverési fordulatszám és a spacer típusától függetlenül a iszaplepeny szűrés model a legjellemzőbb eltömődési mechanizmus. Ez a mechanizmus abban az esetben fordul elő, amikor az oldott molekulák nagyobbak, mint a membrán pórusmérete. Ebből következik, hogy nem tudnak sem bejutni, sem átjutni a membrán pórusain, felhalmozódnak a membrán felületén és iszaplepeny réteget alakítanak ki. Az iszaplepeny réteg a szűrés után vizes öblítéssel könnyen eltávolítható.

2-3. táblázat A determinációs együttható és a reverzibilis ellenállás értékei (MWCO=10 kDa)

Spacer típusai	n=2	n=1,5	n=1	n=0	R_{rev}
Spacer 1	0,8513	0,891	0,9253	0,9737	4,9
Spacer 2	0,6206	0,7205	0,8056	0,9198	3,44
Spacer 3	0,6509	0,7537	0,8396	0,9483	3,46
Spacer 4	0,6367	0,7459	0,8379	0,9526	3,92
Spacer 5	0,6337	0,7377	0,8235	0,9315	3,45
Spacer 6	0,6395	0,7316	0,8093	0,9127	3,43

Spacer típusai	n=2	n=1,5	n=1	n=0	R_{rev}
Spacer 1	0,8513	0,891	0,9253	0,9737	4,9
Spacer 2	0,6206	0,7205	0,8056	0,9198	3,44
Spacer 3	0,6509	0,7537	0,8396	0,9483	3,46
Spacer 4	0,6367	0,7459	0,8379	0,9526	3,92
Spacer 5	0,6337	0,7377	0,8235	0,9315	3,45
Spacer 6	0,6395	0,7316	0,8093	0,9127	3,43

A 2. táblázatban látható, a 10 kDa vágási értékű membránnál hogy $n=0$ esetében az R^2 értékek 0,9923 és 0,7947 között változnak. A keverési sebesség növekedésével csökkennek az értékek, vagyis a keverés részben eltávolítja, vékonyítja a membrán felületén kialakult iszapréteget. A reverzibilis ellenállások értékei is jól követik ezt a csökkenő tendenciát. A 4. táblázatban is ugyanez figyelhető meg a 150 kDa vágási értékű membránoknál, hogy a keverési fordulatszám növekedésével csökkennek az R^2 értékek a legjellemzőbb mechanizmusnál ($n=0$) és a reverzibilis ellenállások értékei is.



4-7. ábra Ellenállás értékek különböző membránok, spacerok és keverési sebességek mellett

A 4-7. ábrákon az ellenállás értékek láthatóak, amelyek az (1) – (4) egyenletek segítségével kerültek meghatározásra. Látható, hogy minden esetben a reverzibilis ellenállás értéke a legnagyobb. Ezt az ellenállást a mosással eltávolítható részecskék adják. Ezek az eredmények igazolják a Hermia modellt is, hiszen ott is minden mérésnél az iszaplepleny szűrés modell volt a legjellemzőbb szűrés mechanizmus. A reverzibilis ellenállások értékei szintén a 2-5. táblázatban láthatóak.

A 3. és 5. táblázatokban látható, hogy a különböző spacerok alkalmazásánál a determinációs együtthatók változását a reverzibilis ellenállás értékek jól követik.

4-5. táblázat A determinációs együttható és a reverzibilis ellenállás értékei (MWCO=150 kDa)

Keverési sebesség [rpm]	n=2	n=1,5	n=1	n=0	R _{rev}
0 rpm	0,664	0,8524	0,9601	0,9945	14,19
100 rpm	0,5788	0,8014	0,9213	0,9893	13,52
200 rpm	0,5646	0,7695	0,8867	0,9711	11,02
300 rpm	0,5042	0,6637	0,7701	0,8791	7,49
400 rpm	0,4846	0,6246	0,7201	0,8271	6,54

Spacerok típusai	n=2	n=1,5	n=1	n=0	R _{rev}
Spacer 1	0,546	0,727	0,8509	0,9584	6,72
Spacer 2	0,5322	0,6987	0,8125	0,9312	4,12
Spacer 3	0,5313	0,6963	0,813	0,9385	4,2
Spacer 4	0,5548	0,7036	0,8153	0,9416	5,09
Spacer 5	0,5823	0,7091	0,8099	0,9329	4,19
Spacer 6	0,5842	0,7161	0,8184	0,9388	4,87

Következtetések

A munkánk során megtervezett és kinyomtatott hat darab promoter mindegyike javította a szűrés tulajdonságokat, a szűrőcellában kialakuló áramlási viszonyok megváltoztatása miatt. Jelen

tanulmányban, a vizsgált promóterek közül az elsőt leszámítva, alkalmasnak bizonyultak a reverzibilis ellenállás értékek csökkentésére, azaz a membrán eltömődésének késleltetésére.

A Hermia modellek elemzésekor azt az eredményt kaptuk, hogy minden esetben az iszaplepleny szűrés model volt a legjellemzőbb eltömődési mechanizmus. Ennél a mechanizmusnál a leválasztandó molekulák/részecskék a membrán felületén úgy rakódnak le, hogy nem tömí el a bejáratú porusnyílásokat, tehát egy iszapréteget alakítanak ki. Az iszaplepleny szűrés model abból a szempontból szerencsés, hogy az eltömődést okozó részecskék rétege könnyen eltávolítható, ezzel lehetővé téve a membrán gyorsabb tisztítását és újbóli felhasználását. A sorbakapcsolt ellenállás modell esetében mindenhol a reverzibilis ellenállás volt a legnagyobb, ami szintén alátámasztja a Hermia modell által kapott eredményeket.

Köszönetnyilvánítás

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

Hivatkozott források

- Ahmad, T. - Muhammad Aadil, R. - Ahmed, H. - Ubaid Ur Rahman - C. V. Soares, B. - L. Q. Souza, S. - C. Pimentel, T. - Scudino, H. - Jonas T. Guimarães - A. Esmerino, E. - Q. Freitas, M. - B. Almada, R. - M. R. Vendramel, S. - C. Silva, M. - G. Cruz, A. (2019): Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 88, pp. 361-372.
- Cheng, M. - Xie, X. - Schmitz, P. - Fillaudeau, L. (2021): Extensive review about industrial and laboratory dynamic filtration modules: Scientific production, configurations and performances, *Separation and Purification Technology*, 265, 118293.
- Hermia, J. (1982): Constant pressure blocking filtration laws - application to powerlaw non-newtonian fluids, *Trans. Inst. Chem. Eng.* 60, 183–187.
- Iritani, E. - Katagiri, N. (2016): Developments of Blocking Filtration Model in Membrane Filtration, *KONA Powder and Particle Journal No. 33* 179-202
- Kertész, S. - Bor, P. - Hodúr, C. - Csanádi, J. - Veréb, G. - Kovács, I. - Keszthelyi-Szabó, G. - László, Z. (2017): Effects of shear rate on membrane filtration, *Desalination and Water Treatment*, 69, pp. 43-49.
- Ng, C. Y. - Mohammad, A. W. - Ng, L. Y. - Jahim, J. M. (2014): Membrane fouling mechanisms during ultrafiltration of skimmed coconut milk, *Journal of Food Engineering* 142, 190-200
- Vela, M. C. V. - Blanco, S. A. - García, J. L. - Rodríguez, E. B. (2008): Analysis of membrane pore blocking models applied to the ultrafiltration of PEG, *Separation and Purification Technology* 62, 489–498.
- Yanar, N. - Kallem, P. - Son, M. - Park, H. - Kang, S. - Choi, H. (2020): A New era of water treatment technologies: 3D printing for membranes, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 91, pp. 1-14.

Szerzők:

Szpisják-Gulyás Nikolett

PhD-hallgató

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar

6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

gulyasn@mk.u-szeged.hu

Gergely Gréta

BSc hallgató

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar

6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

gergely.gretii@gmail.com

Huszár Gabriella

BSc hallgató

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar

6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

huszargabb@gmail.com

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

Prof. Dr. Hodúr Cecilia DSc

egyetemi tanár

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete

6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.

hodur@mk.u-szeged.hu