

MEMBRÁN-

TECHNIKA

IPARI



BIOTECHNOLÓGIA

XVI. évfolyam 4. szám

2025. december

TARTALOM

oldal

Komáromy P., Kalauz-Simon V.: Keverő nélküli intenzív
fázisérintkeztetés bioreaktorokban 54

Membrános Nyári Egyetem, beszámoló 62

Közelgő konferenciák, kurzusok..... 67

Keverő nélküli intenzív fázisérintkeztetés bioreaktorokban

Komaromy Péter, Kalauz-Simon Veronika*

Pannon Egyetem, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató Fejlesztő Központ,
Biomérnöki, Membrántechnikai és Energetikai Kutató Csoport
Veszprém, Egyetem u. 10.

*komaromy.peter@mk.uni-pannon.hu

Bevezetés

A kémiai reakciók során a fokozott fázisérintkeztetés biztosítása talán az egyik legfontosabb feladat. Intenzív folyamatok megvalósulásakor drasztikusan nő az anyagtranszport sebessége, homogén reakciótér alakul ki és lecsökken az anyagátadásból adódó gát (határréteg). Az intenzív és gyors átalakulások kisebb berendezéseket, rövidebb tartózkodási időt eredményeznek, melyek végső soron kisebb beruházási és működési költséggel járnak. Reay és munkatársai [1] a folyamatok intenzifikálásának az alábbi négy legfontosabb következményét emelte ki:

1. A reakciókinetika fokozott kézben tartása nagyobb szelektivitást és ezzel együtt kevesebb hulladékot eredményez;
2. Nagyobb energiahatékonyság;
3. Alacsonyabb működési költségek;
4. A gyártás oldaláról nézve: Csökkentett raktárkészlet, nagyobb termelési biztonság, gyorsabb reagálás az igényekre.

A három fázis (gáz/folyadék/szilárd) különböző kombinációjú érintkeztetésére számos klasszikus eljárás ismert. Csak néhányat említve közülük [2]:

- Gáz/folyadék abszorpció/deszorpció, desztilláció
- Gáz/szilárd adszorpció/deszorpció, szublimáció, szárítás
- Folyadék/folyadék extrakció
- Folyadék/szilárd adszorpció/deszorpció, ioncsere, kristályosítás

A fenti, több-fázisú reakciók mindegyikére igaz, hogy az anyagátadás hajtóereje a kémiai potenciál: a magasabb potenciálú helyről az anyag átadódik az alacsonyabb kémiai potenciálú helyre. A folyamat mindaddig folytatódik, amíg be nem áll az egyensúly. Az anyagátadás folyamatára különböző modellek léteznek [3]. Az egyes modellek alapvetően kétféleképp közelítik meg a folyamatot:

- a mikro-modellek, melyek a két fázis határfelületét vizsgálják, illetve a
- makro-modellek, amelyek az egyedi fázisok keveredési sajátosságait elemzik.

A mikro-modellek a határfelületet kétféleképpen írják le: a Két-film modellel és a Penetrációs modellel. A Whitman-féle két-film elmélet [4] abból a feltételezésből indul ki, hogy

a határfelület két oldalán két, δ vastagságú állandósult film van, melyen keresztül a komponensek diffúzióval jutnak el a határfelületre és a folyadék fő-tömege jól kevert. A határfelületi film δ vastagsága alapvetően a készülék geometriától, a keveredéstől és a közegek fizikai tulajdonságaitól függ. A Higbie-féle penetrációs modell [5] azt feltételezi, hogy a felület minden eleme azonos Θ ideig van kitéve a gáznak, mielőtt a folyadék fő-tömegébe kerül. Az expozíciós időt (Θ) a hidrodinamikai tulajdonságokon keresztül lehet befolyásolni, mint például a határfelületi sebesség és hossz. Bármelyik megközelítést is fogadjuk el, az anyagátadás fokozását ezen határfelületi paraméterek változtatásával lehet elérni.

A szakirodalom két fő hagyományos reaktor típust különböztet meg: a tank-reaktorok és az oszlop reaktorok. A tankreaktor tulajdonképpen egy reaktor tartály, melyben a fázisérintkeztetést a mechanikus keveréssel lehet befolyásolni. Többfázisú rendszernél minél nagyobb a keverő sebessége annál finomabb a diszperz fázis, ezáltal annál nagyobb a fajlagos átadási felület és kisebb a határréteg vastagság. Ez egyértelműen kedvez az anyagátadásnak. A keverésnek azonban határt szab a mechanikai tulajdonságokon kívül a keverő motor energiafelvétele, de még inkább a lapátok éleinél fellépő nyíróerő, mely a reakcióban részt vevő katalizátorok (pl enzimek, sejtek) gyors degradálásához vezethet.

Az oszlop reaktorok esetén jellemzően van egy álló és egy mozgó fázis. A fázisok közötti anyagátadást a két fázis határfelületén fellépő lineáris áramlási sebesség-különbség befolyásolja: minél nagyobb ez a sebesség-különbség annál kevertebb a rendszer, kisebb a határréteg vastagsága és ezáltal nagyobb az anyagátadás sebessége.

Alternatív reaktor konstrukciók

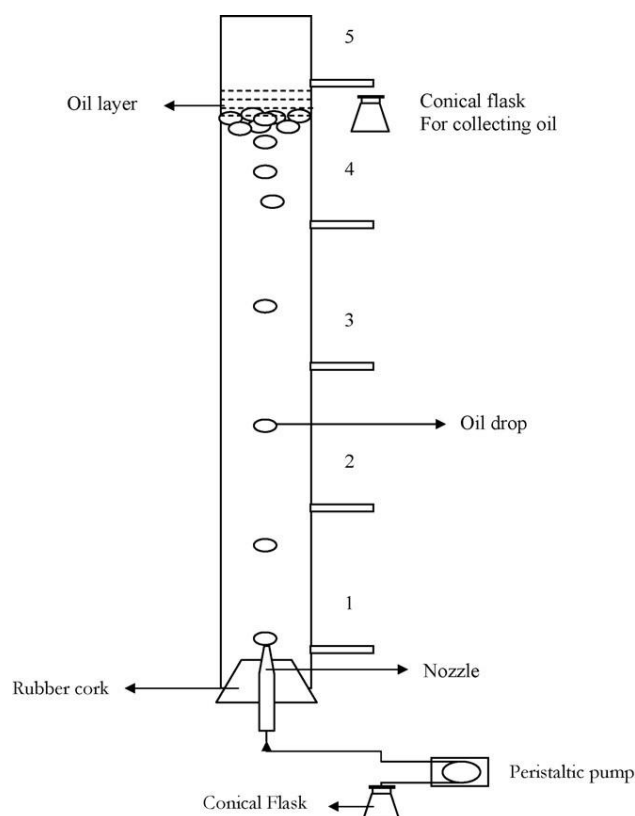
Az utóbbi időben, első sorban a biokatalitikus folyamatok elterjedésével fokozottan felmerül olyan alternatív reaktor konstrukció kialakításának igénye, mely egyrészt intenzív fázisérintkeztetést biztosít, de nem tartalmazza a hagyományos reaktorok biokatalizátorokra gyakorolt kedvezőtlen hatásait. A következőkben néhány alkalmazást mutatunk be egy-egy gyakorlati példán keresztül: Spray-oszlop reaktor, Jet-Loop reaktor, Mikro-szerkezetű reaktor, Membrán kontaktor.

Olaj enzimatis hidrolízise spray oszlop reaktorban

Rathod és munkatársai [6] a ricinusolaj enzimatis hidrolízisét vizsgálták. A kísérletekhez *Thermomyces lanuginosus* lipáz enzimet használtak. A kísérletek tervezésekor a hagyományos reaktor típusok (folyamatos és szakaszos kevert tankreaktor, fluid-reaktor, töltött oszlop reaktor, membrán reaktor) alkalmazása is felmerült. Ezek többnyire rögzített enzimekkel dolgoznak. Az előkísérletek során kevert tankreaktorban, szakaszos rendszerben használtak rögzített enzimet. A kísérletek során azt tapasztalták, hogy az enzim aktivitása rövid időn belül csökkent: az enzim kiszorult a vizes/olajos határfelületről azáltal, mert a képződő zsírsavnak nagyobb volt az affinitása az olajhoz. Mindezeket figyelembe véve a továbbiakban a termék folyamatos elvezetésével, folytonos rendszert alakítottak ki. A vizsgálatokhoz spray oszlop reaktort választottak.

A *T. lanuginosus* lipáz enzim foszfát pufferben (pH=7) volt oldva. Ez volt a reaktorban a folytonos fázis. A ricinusolajat az oszlop alján egy fúvókán keresztül vezették be a reaktorba.

Az olaj cseppek a sűrűség különbség miatt felemelkedtek. A készülék oldalán lévő csokon (1-5) előre meghatározott magasságban lehetett elvenni a részben hidrolizált olajat. Bármelyik elvételi magasságot állították be, az oszlop reaktorban a vizes fázis magassága 40 mm-rel lejjebb volt, mint a vizsgált elvételi pont. Így volt idő az olaj csepp/víz emulzió szétválására. A folyadék elvétel tisztán az olajos fázis és ezzel elkerülhető az enzim veszteség. Az elvételi pontok változtatásával befolyásolni lehet a tartózkodási időt, illetve teljesen töltött oszlop esetén a különböző magasságokban a vizes fázisból vett minta alapján ellenőrizhető, hogy a készülék hossza mentén hogyan alakul az aktuális helyen az enzim aktivitása abból adódóan, hogy mennyi ideig érintkezik az enzim az olajjal. A készülék sematikus felépítése látható az **1. ábrán**.



1. ábra: Spray oszlop reaktor [6]

A kísérletek során meghatározták a hidrolizált olaj savtartalmát és ez alapján értékelték az egyes paraméterek hatását a konverzióra. A vizsgált paraméterek: a fúvóka átmérője, mely az olajcseppek méretét határozta meg, az olaj betáplálási sebessége, melyet a perisztaltikus szivattyúval lehetett szabályozni, az olaj cseppek tartózkodási ideje, ami az elvételi magasságtól, illetve az olaj betáplálási sebességétől együttesen függ, valamint az oldott enzim vizesfázis-beli koncentrációja. A spray oszlop reaktor működést összehasonlították a hagyományos, szakaszos kevertetett reaktorban elérhető eredményekkel. A kevertetett reaktorban beállított tartózkodási idők és enzim koncentrációk megegyeztek az oszlop reaktor megfelelő beállításával.

A mérések értékelése alapján a

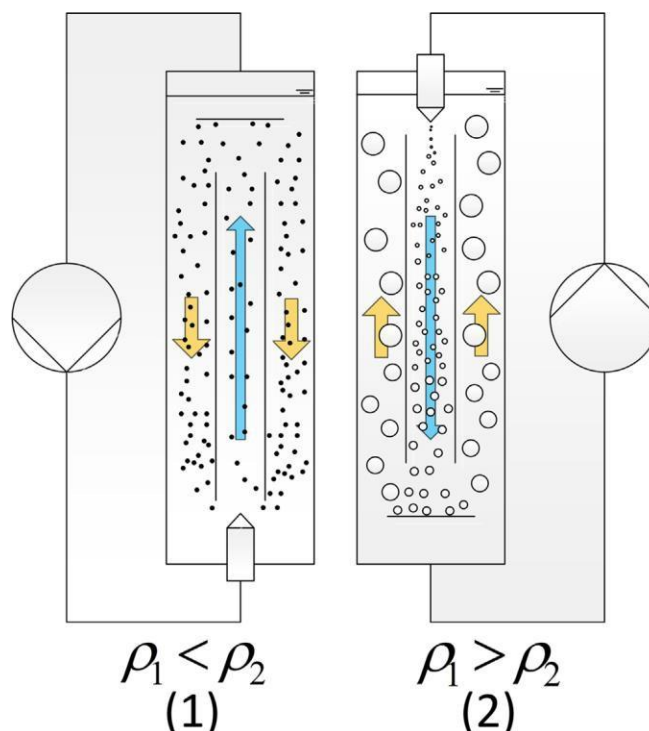
- Fúvóka méretének csökkenésével nőtt a hidrolízis, mivel minél kisebb a buborék átmérő, annál nagyobb a fajlagos felület, azaz a folyadék-folyadék érintkezési felület. Ezáltal kisebb csepp méret esetén intenzívebb a fázisérintkeztetés;
- Az enzimkoncentráció növelésével egyértelműen nőtt a hidrolízis sebessége;
- Tartózkodási idő növekedésével (hosszabb oszlop) nőtt a hidrolízis. Azonban a tartózkodási idő növekedéséhez képest kisebb arányban nőtt a hidrolízis. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy nagyobb tartózkodási időt például úgy lehet elérni, ha magasabb az oszlop. Ez esetben azonban a felfelé áramló cseppek idővel egyre nagyobbá olvadnak össze (bubble coalescence) és csökken az anyagátadási felület.

A mérések végkövetkeztetése az volt, hogy sikerült egy optimális beállítást elérni, ahol stabilan magas volt a hidrolízis, azonban a buborék összeolvadás a készülék hossza mentén csökkentette az átadási felületet, így a keverős reaktorral összevetve alacsonyabb hidrolízis érték el, azonos tartózkodási idő esetén. Növelhető volt a spray oszlop reaktorban a maximálisan elérhető hidrolízis, ha azonos tartózkodási időt nem egy hosszú oszlopban, hanem rövid oszlopban, többszöri olaj visszavezetéssel érték el.

Katalitikus reakció intenzifikálása Jet-loop reaktorban

A Jet-loop reaktor első ránézésre sok hasonlóságot mutat az előbbi spray oszlop reaktorral, hiszen itt is egy fúvókán keresztül lép be a folyadék- vagy gázáram és részben/vagy egészben visszacirkuláltatott. Azonban a nagy különbség, hogy ez esetben az intenzív fázisérintkeztetést és keverést nem a keringtető szivattyú biztosítja, hanem a nagy sebességgel beáramoltatott folyadék/gáz magával ragadja a reaktorban lévő folyadékot és szilárd anyagot és így alakul ki egy cirkuláció. Ez a hurok (loop) konstrukciótól függően lehet a reaktoron kívül, illetve belül. A betáplált és a reaktorban lévő közegek sűrűségétől függően folyadék/szilárd rendszernél a reaktor alján míg gáz/folyadék rendszer esetén a gázbevezetés célszerűen a reaktor tetején történik. Ez utóbbi esetben is növelve a bevezetett gáz tartózkodási idejét. Ezt a kétféle hurok kialakítást mutatja a **2. ábra** [7].

Egyik előnye a hurok reaktoroknak, hogy úgy történik a fázisérintkeztetés, hogy nincs keverő lapát, tehát a keverés során fellépő nyíróerővel nem kell számolni. Ez nagyon fontos a biológiai rendszereknél, főleg, ha puha, géles hordozójú rögzített biokatalízist valósítunk meg. Másik szintén fontos előny, hogy a reaktor nem tartalmaz mozgó alkatrészt, tehát nem kell számolni a keverő tengelyénél fellépő tömítési és kopási jelenségekkel. Ezáltal kisebb karbantartási igénnyel működtethetők.



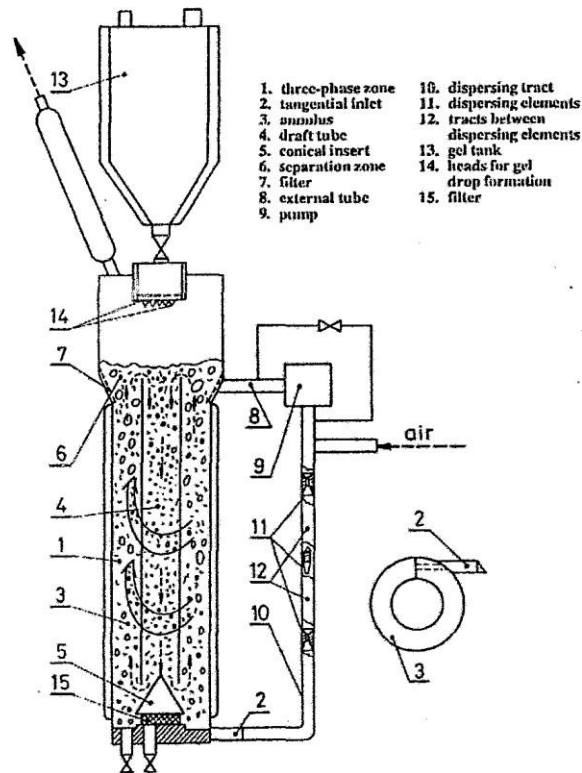
2. ábra: Hurok reaktor sémája folyadék/szilárd (1), illetve gáz/folyadék (2) rendszerben [7]

A biokatalitikus reakciók területén a Jet-loop reaktor leggyakoribb alkalmazása az aerob szennyvíztisztítás. A reaktor konstrukciójából adódóan finom gáz-folyadék diszperz rendszer alakítható ki, melynek következtében magas gáz-folyadék oxigénátadás érhető el, miközben kicsi az átadási felületre vetített fajlagos energiabevitel. Így nagyon gazdaságos működtetést lehet megvalósítani. A minimális fellépő nyíróerőből adódóan ideálisan alkalmazható nagy KOI-jú (kémiai oxigénigény) ipari szennyvizek biológiai kezelésére. Egyes integrált rendszereknél a Jet-loop reaktort membránnal kombinálják, ahol a kezelt vizet közvetlenül elválasztják a biomasszától.

Sisak és munkatársai [8] olyan hurok reaktort fejlesztettek ki, amelyben nagy oxigén-koncentráció érhető el a lágy agar gél hordozók sérülése nélkül. A rögzített sejteket tartalmazó gél szemcsék a betétcsöves, fluid-ágyas reaktorban az apró gázbuborékokkal együtt cirkulálnak. A finom gáz/folyadék rendszert a külső hurokban elhelyezett Venturi-szűkületes diszpergáló elemek segítségével sikerült elérni, ahol a cirkuláltatott folyadék és a steril levegő találkozik és együtt vezetik be a reaktor aljába. A bioreaktor egy gél tartállyal van összekötve. Így a fermentáció előtt helyben történik a gélbezárás. A kombinált bioreaktor/sejt rögzítő sematikus rajza látható a **3. ábrán**.

Mikro-szerkezetű reaktor

A hagyományos reaktor típusok legfőbb hátránya, hogy a komplex hidrodinamikából adódóan, többfázisú rendszereknél nehéz pontosan szabályozni a csepp-, vagy film méretet (vastagságot) és szinte lehetetlen elkerülni az inhomogenitást. Pedig e két paraméter meghatározó az anyagátadás és ezáltal a reakciósebesség szempontjából.



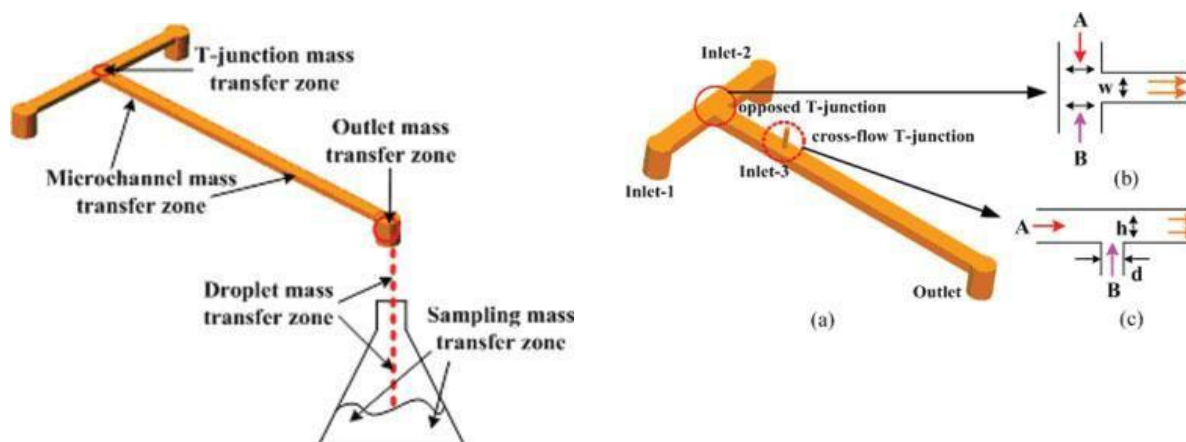
3. ábra: Kombinált betétsöves bioreaktor – sejtrögzítő berendezés [8]

A mikro-szerkezetű reaktorok jellemzője a kis reaktor térfogat, nagy felület/térfogat arány, nagy lokális áramlási sebesség és a turbulencia fokozására sok esetben beépített statikus keverő elemeket is tartalmaz. Ezek együttesen nagyon jó hő- és anyagátadást biztosítanak [9]. A kis méretek miatt szilárd szemcsék nem alkalmazhatók. Szilárd fázis csak úgy jöhet szóba, ha a készülék belső falán rögzítve van. Az áramló, keveredő fázis viszont lehet folyadék és gáz egyaránt. Biológiai rendszerek alkalmazásakor a maximális folyadéksebességnél figyelembe kell venni a fellépő nyíróerő hatását a mikroorganizmusokra. Ezzel együtt számos biokatalitikus alkalmazás is ismert. Éppen a kis anyagszükséglet miatt merül fel a biológiai rendszerekben való használat, a reagáló anyagok és a biokatalizátor magas ára miatt.

A mikro reaktorok a kis térfogat miatt leginkább kísérleti berendezésként jönnek szóba. Így kicsi a veszélyes, vagy drága anyagok felhasználásából adódó kockázat. Több mikro reaktor összekapcsolásával a méretnövelés elvileg megoldható, ám ipari alkalmazása nem jellemző. Fázisérintkeztetés szempontjából alapvetően kétféle jelenség lép fel [9]:

- *Mikro-keverés*, ahol a véletlenszerű keveredés a nagy folyadék áramlási sebesség és a beépített ütköző elemek miatt alakul ki;
- *Mikro-csatornás*, melynél a keveredés az áramlás és a diffúzió együttes hatására történik, mint például a mikro-csatornás membránoknál, vagy a fém-kontaktoroknál, az Y- és T-alakú kontaktoroknál, vagy a statikus elemeket is tartalmazó töltött ágyas reaktoroknál;

Zhao és munkatársai [9] egy T-alakú kontaktor anyagátadását vizsgálták. A 4. ábrán látható, hogy a reaktor hossza mentén, a betáplálás helyétől függően különböző anyagátadási zónák alakulnak ki. (Tájékoztatásul: a csőátmérők ebben az esetben 500 -1000 μm):



4. ábra: T-alakú mikro-szerkezetű reaktor anyagátadási zónái [9]

A T-alakú mikro-szerkezetű reaktorral végzett kísérletek alapján a legfontosabb tapasztalatok:

- A különböző folyadék betáplálás és a kialakult Reynolds szám meghatározó az anyagátadásban;
- A keveredési csatorna hosszának csökkenésével (adott Re-szám mellett) nő az anyagátadási együttható;
- Adott Re-szám és folyadék belépési konfiguráció mellett a felállított modellel, elméleti számításokkal $\pm 20\%$ -n belül lehet becsülni a kialakuló anyagátadási együtthatót;
- Összehasonlítva más folyadék/folyadék kontaktorokkal, a T-alakú mikro reaktorral elért anyagátadási együttható lényegesen nagyobb.

Hidrogén bevitel membrán kontaktor segítségével

Speciális gáz/folyadék érintkeztetés látható Kalauz-Simon Veronika és munkatársainak [10] publikációjában. A kutatócsoport konyhai hulladékból előállított biogáz vizsgálatával foglalkozik. A kutatás ezen szakaszában azt vizsgálták, hogy a biogáz fermentáció során keletkező metán/szén-dioxid gázkeverék metán tartalma hogyan növelhető. A kísérletek azt mutatták, hogy a fermentáció során felszaporodó metanogén archeák képesek a keletkező szén-dioxidot hidrogén jelenlétében metánná alakítani. Köztudott, hogy a hidrogén nagyon rosszul oldódik vízben. A kísérleti berendezésben szilikon membránt alkalmaztak, mely a rajta átdiffundáló hidrogénnel biztosította a folyadék fázisban a metanogének számára elérhető folyamatos hidrogén koncentrációt. A membrán kontaktoros biogáz reaktorban a keletkező biogáz metán tartalmát 12%-kal sikerült emelni (64%-ról 76%-ra) [10].

Összefoglalás

A reaktor típusok ismertetésével az volt a célunk, hogy bemutassunk olyan megoldásokat, ahol intenzív fázisérítkeztetés érhető el a hagyományos mechanikai keverős

megoldás nélkül. Természetesen ezek a megoldások sem mindenhatóak. Konkrét alkalmazás esetén a reaktor típus kiválasztásánál alaposan mérlegelni kell az előnyöket és hátrányokat.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikációt/kutatást részben a 2022-1.1.1-KK-2022-00002 számú „Hulladékgyártási Kompetencia Központ létrehozása a Pannon Egyetemen” című projekt finanszírozta, amely a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2022-1.1.1-KK pályázati program finanszírozásában valósult meg."

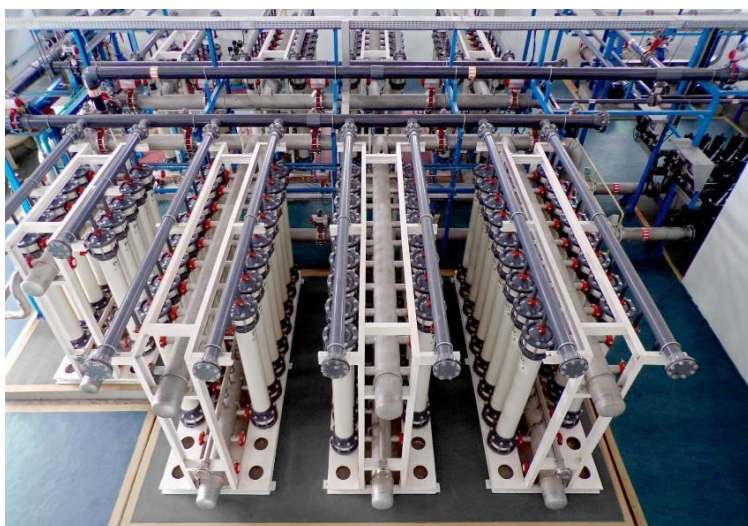
Irodalomjegyzék

- [1] Reay, D., Ramshaw, C., Harvey, A., (2013). Introduction. In: Process Intensification. Elsevier, Oxford, UK, pp. xxvii–xxxi. doi:10.1016/B978-0-08-098304-2.00015-8.
- [2] Cséfalvay E., Deák A., Farkas T., Hanák L., Mika L. T., Mizsey P., Sawinsky J., Simándi B., Szánya T., Székely E., Vágó E.: Vegyipari Műveletek II. Anyagátadó műveletek és kémiai reaktorok. Egyetemi tananyag. Typotex Kiadó 2012.
- [3] Madhvanand N. K., Albert R., Liubov Kiwi-Minsker: Gas–liquid and liquid–liquid mass transfer in microstructured reactors. Chemical Engineering Science 66 (2011) 3876–3897. doi:10.1016/j.ces.2011.05.015
- [4] Whitman, W.G., 1923. Preliminary experimental confirmation of the two-film theory of gas absorption. Chemical and Metallurgical Engineering 29, 146–148.
- [5] Higbie, R., 1935. The rate of absorption of a pure gas into a still liquid during short periods of exposure. Transactions of the American Institute of Chemical Engineers 31, 365–389.
- [6] Rathod, V., K., Pandit, A. B.: Enzymatic hydrolysis of oil in a spray column. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic 67 (2010) 1–9. doi:10.1016/j.molcatb.2010.06.010
- [7] Warmeling, H., Behr, A., Vorholt, A. J.: Jet loop reactors as a versatile reactor set up - Intensifying catalytic reactions: A review. Chemical Engineering Science 149 (2016) 229–248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2016.04.032>
- [8] Sisak Cs., Komáromy, P., Szajáni B.: Dependence of gas-liquid mass transfer on structure and hydrodynamics of bioreactors with low-density bioparticles. Hungarian Journal of Industrial Chemistry, Veszprém. Vol. 22. (1994) pp. 309-313.
- [9] Zhao, Y., Chen, G., Quan Yuan, Q.: Liquid–Liquid Two-Phase Mass Transfer in the T-Junction Microchannels. AIChE Journal, December (2007) Vol. 53, No. 12. 3042-3053. doi:10.1002/aic.11333
- [10] Kalauz-Simon V., Komáromy P., Nemestóthy N., Rózsenberszki T., Tóth G., Fejes R., Kovács K., Bélafeiné Bakó K.: Szerves hulladékok innovatív hasznosítása: a konyhai hulladék és a Power-to-Gas koncepció találkozása. Energiagazdálkodás 66. évfolyam 1-2. szám, 20-26.

Membrános Nyári Egyetem 2025 Beszámoló

Az idei EMS Membrános Nyári Egyetemet (Membrane Summer School) július 6. és 11. között szervezte meg a Twente Egyetem (Hollandia). Vasárnap este volt a regisztráció, majd egy ismerkedési est, a szakmai előadások hétfőtől kezdődtek. A program tematikáját úgy állították össze, hogy a résztvevők átfogó képet kapjanak a membránok fejlesztéséről és működéséről, gyártásáról és alkalmazásáról a vízkezeléstől az élelmiszeriparon át egészen az orvosi technológiákig. A szakmai előadások mellett több gyár és labor látogatás is a program része volt, ahol a hallottakat láthattuk is.

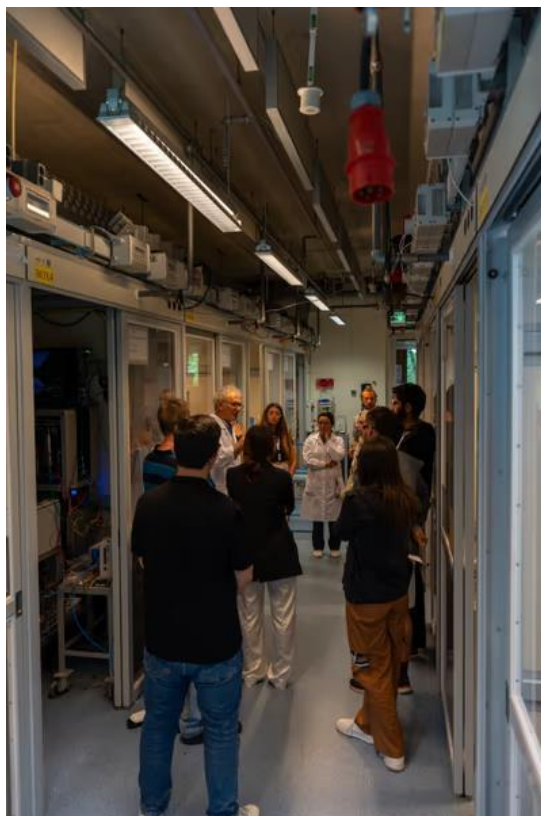
Hétfőn a megnyitó előadások után Rob Lammertink tartott egy előadást a membrántranszport megértése érdekében. Az előadás után az NXFiltration céghez mentünk, amely hollow fiber nanoszűrést alkalmaznak víztisztításhoz. Az általuk tisztított vízből már sört is főznek, amelyből kóstolót is kaptunk. Ez a gyárlátogatás megalapozta a nap további részén megtartott előadásokat, ahol a vízé volt a főszerep. Wiebe M. de Vos tartott először előadást, amelyben mind a vízhiányról, mind az ivóvíz- és szennyvízkezelésről is beszélt. Ezzel felvezette az RO technológiát, amely az egyik vezető technológiává vált a vízkezelés szempontjából. Majd a vízkezelési eljárások megismerése után Ronald van't Oever adott elő az ipari alkalmazásról. Előadásában felvezette a membrán bioreaktorokat, amelyek által anaerob körülmények között kombinálható a szennyvízkezelés és a biogáz-termelés. Ilyen kombinált technológiák már nagyobb léptékben is üzemelnek különböző országokban. Számomra ez volt a napon legérdekesebb előadása, mivel úgy gondolom, a mikrobiológia a vegyipar jövője.



A nyári egyetem második napján az előadások középpontjában az ioncserélő membránok és az iontranszport alapelvei álltak, amelyeket Jeff Wood és Saskia

Lindhoud mutattak be. Először az elektrosztatikai jelenségek és a Donnan-egyensúly részletes bemutatását hallgathattuk meg, majd az elektrodialízis működési elvét is megismerhettük. Ezt követően polielektrolit-komplexekeken (PEC) alapuló membránokat mutatott be Lindhoud professzorasszony, amelyek fenntartható eljárással készülnek, így ígéretes alternatíva lehet a hagyományos ioncserélő membránokkal szemben. Délután különböző sporttevékenységeken lehetett részt venni.

A szerdai nap témája a membrán tervezés és a folyamat tervezés állt, s a Twente Egyetem Membrános laborjainak és a Nobian cég megtekintése (amely szintén az egyetemi campus területén volt). Az előadások során megismertük az általános folyamattervezési elveket, illetve ipari példákkal színesítették az előadást, továbbá az egyetemen történő membrán fejlesztési kutatásokat is bemutatták. A legérdekesebb számomra a ZLD kutatás volt, ahol a cél a folyékony hulladékmentes eljárás technológia fejlesztése. A Twente Egyetem laboratóriumainak kialakítása lenyűgöző volt. Mindegyik laborban különböző vizsgálatok folytak a membránokkal kapcsolatban, elszeparálva egymástól. Hollow fiber membrán előállítás volt számomra a legérdekesebb. Illetve a gázszeperációs laborban, minden különböző gáz vizsgálatához volt egy-egy külön fülke, ahol az adott gáz szeperációját vizsgálták. Mindemelett jól felszerelt analitikai labor és SEM labor is volt a szükséges analízisekhez.



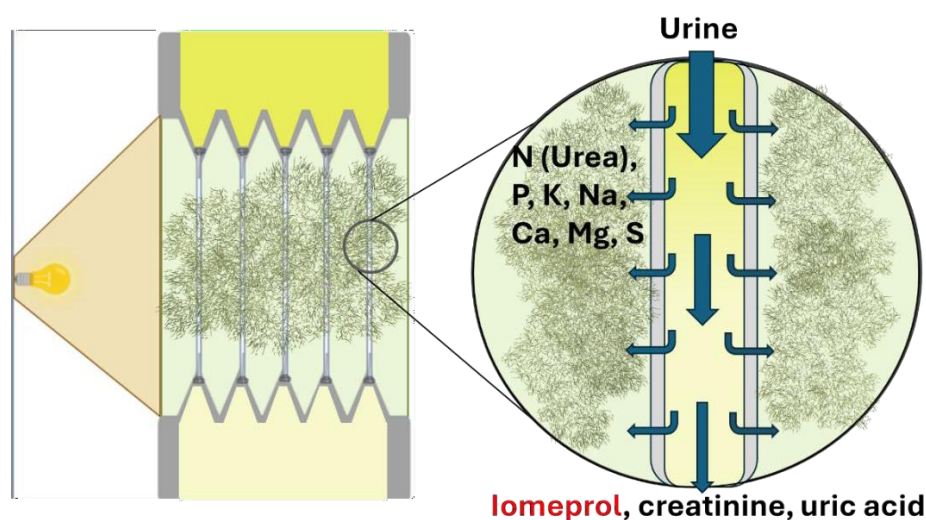
A Nobian cég két nagyobb laborra osztható, amely közül az egyik főprofilja az elektorkémiai mérések, a másik pedig a folyamat-technológia, illetve a fenntarthatóság. Nobian egyik legnagyobb missziója a klímasemlegesség elérése 2040-re. A pilot léptékű vizsgálatok mellett megvan a szükséges infrastruktúra, hogy ipari alkalmazásokat is képesek legyenek fejleszteni.

Az utolsó két nap tematikája már a membránok ipari alkalmazása volt, azon belül is az élelmiszeriparban, biotechnológiában és az egészségügyben játszott szerepe. Első előadásban bemutatták a membránszűrés szerepét az élelmiszeriparban, különösen a lágy anyagok szűrésének kihívásait mutatta, mivel ezek az anyagok deformálódnak, biológiailag változékonyak, így nehezen modellezhető a szűrés viselkedésük. Ezen belül is részletesebben bemutatásra került a tejiparban való jelentősége. Ebben a témában a következő előadás már a hollow fiber membránoknak az egészségügyi vonatkozásait mutatta be, illetve azok tervezését és gyártását. Fő téma a dialízisben játszott szerep volt, illetve annak továbbfejlesztése.

Az utolsó gyárlátogatás alkalmával a Pentair tesztüzemben voltunk, ahol a különböző víz- és szennyvízkezelési technológiákat valós körülmények között vizsgálták. A fejlesztett modulokat félüzemi méretben képesek tesztelni, elsősorban hollow fiber és NF membránmodulokkal dolgoznak. Ezt követően a nap végén a Grolsch sörgyárba látogattunk el, amelynek egyik fő védjegye a fenntartható vízkezelés és erőforrás-visszanyerés.

A szakmai előadások mellett voltak különböző workshopok vagy előadások, amelyek különböző kutatói/előadói készségek fejlesztésére szolgáltak. Ilyen volt a digitális étellel foglalkozó előadás, ahol a Obsidian, Zotero és Anara programokkal ismerkedtünk meg. Illetve hallhattunk az eredmények megfelelő kiértékeléséről, valamint a látványos, jó prezentáció és diagrammok kinézetéről egy előadásban.

A hét során mindennap volt egy-egy óra, ahol csoportmunkában kellett egy feladatot megoldani. A csapatom témája az Iomeprol kontrasztanyag visszanyerése a vizeletből. Az alapötletünk egy MBR kialakítása volt, ahol a vizeletben lévő tápanyagok permeátumként távoznak, ami tápanyaga lenne a *Spirulina platensis* cianobaktériumnak. Előtte egy MF szükséges a fehérjék eltávolítása érdekében. Ezt követte az MBR, amely alapja a *Spirulina platensis* által kialakított koncentráció gradiens. Több kutatás is bizonyította, hogy ez a mikroba képes vizeleten nőni, illetve az űrkutatásban SCP-ként tartják számon a sejttömegét.



Az elv, amit kitaláltunk, hogy a mikroba által felvett anyagok végezt kialakul a koncentrációradiens, míg az Iomeprol a retentátban marad (minimális veszteséggel). Ezt követően egy NF szűrővel eltávolítjuk a maradék szennyező mellől, így nem csak minimális veszteségű visszanyerést érünk el, hanem a MBR által termelt sejttömeg eladható táplálékkiegészítőként. A csapatmunka eredményeit elő is kellett adni (képünkön a csapat tagjai).



Összeségében ez a nyári egyetem nem csupán szakmai képzés volt, hanem a készségeink fejlesztésére is szolgált, mind egyéni, mind csapat szinten. Az előadókat – színvonalas prezentációiknak és előadásmódjuknak köszönhetően – nagyon élvezetes volt hallgatni. Az elméleti előadások, az interaktív laborlátogatások és a csapatmunka együtt megmutatták, hogy a membrántechnológia a fenntartható jövő legígéretesebb területe.



A résztvevők



Gyuris-Bocska Boglárka
PhD hallgató
Pannon Egyetem, Veszprém

KÖZELGŐ KONFERENCIÁK, KURZUSOK

12th International Membrane Science and Technology Conference (IMSTEC'25)

2025. december 8-10., Brisbane, Ausztrália

<https://www.membrane-australasia.org>

Kassel Membrane Days 2026

2026. február 3-4., Kassel, Németország

<https://www.wa-ms.org/event-details/kassel-membrane-days-2026>

Nanofiltration 2026

2026. május 31 – június 4., Nantou, Taiwan

<https://sites.google.com/view/nanofiltration-2026/home>

Euromed 2026, Desalination, Water Reuse and the Environment

2026. június 23 – 26., Casablanca, Marokkó

<https://www.wa-ms.org/event-details/euromed-2026-desalination-water-reuse-and-the-environment>

18th International Conference on Inorganic Membranes (ICIM 2026)

2026. június 29 – július 3., Montpellier, Franciaország

<https://icim2026.org/>

FILTECH 2026

2026. június 30 – július 2., Köln, Németország

<https://www.wa-ms.org/event-details/filtech-2026>

14th International Conference on Membranes and Membrane Processes (ICOM 2026)

2026. július 18 – 24., San Antonio, Texas, USA

<https://www.membranes.org/icom2026>

**Minden kedves Olvasónknak
áldott, békés karácsonyi ünnepeket
és boldog új évet kívánunk!**



Szerkesztőség

MEMBRÁNTECHNIKA ÉS IPARI BIOTECHNOLÓGIA

A MKE Membrántechnikai Szakosztályának kiadványa ISSN 2061-6392

Felelős szerkesztő:

Bélafiné Dr. Bakó Katalin, Pannon Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatócsoport, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

E-mail: belafine.bako.katalin@mk.uni-pannon.hu

A szerkesztőbizottság tagjai:

a MKE Membrántechnikai Szakosztály vezetősége: Dr. Nemestóthy Nándor, Békássyné Dr. Molnár Erika, Dr. Mizsey Péter, Dr. Hodúr Cecília, Dr. Vatai Gyula, Dr. Cséfalvay Edit, valamint Dr. Gubicza László (lektor)

Megjelenik: negyedévente online

Megrendelhető: MKE Membrántechnikai Szakosztály, 1015 Budapest, Hattyú u. 16.