

AZ OZMOTIKUS ERŐMŰTŐL A LÉLEGZŐ ESŐKABÁTIG – MEMBRÁNOK

Bélafiné Bakó Katalin

PhD, Pannon Egyetem, Veszprém
bako@mukki.richem.hu

Zsigmondy Richárd Nobel-díjas magyar tudós emlékére, aki kilencven évvel ezelőtt megalkotta az első biokémiai kutatásokban használt

membránszűrőt, majd annak tökéletesített változatát, az ultraszűrőt (Zsigmondy–Bachmann, 1918).

Bevezetés

A membrán az 1985-ben nemzetközileg elfogadott definíció és nomenklatura szerint permszelektív gát két fázis között. Ez egyrészt azt jelenti, hogy a membrán egyszerre permeábilis, vagyis átjárható (bizonyos komponensek képesek átjutni rajta), és szelektív, így szeparációra alkalmas. Másrészt mindenképpen akadályt, ellenállást jelent a transzport lejátszódásánál. Az általános definíció szerint sokféle, első pillantásra meglepő anyag tekinthető membránnak, például a lekvárosüvegek lezárásánál használt cellofán éppúgy, mint a halászok hálója vagy az ápolónők arcmaszka. ...

A mérnöki területeken a membrán technológiai fogalom. Olyan technológiai válaszfalat jelöl, amely szelektív átteresztő képességénél fogva a feldolgozandó anyagok alkotórészeinek szétválasztását többnyire kémiai átalakulás nélkül teszi lehetővé.



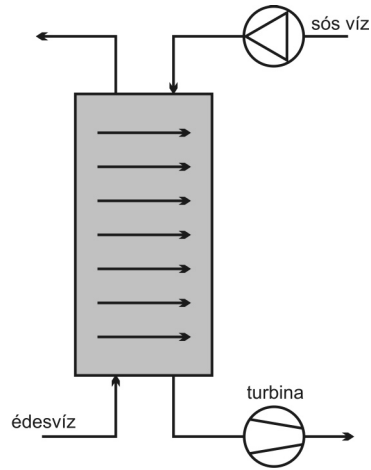
A membrános műveleteket a szeparáció mechanizmusa szerint csoportosíthatjuk (*i. táblázat*). Az egyik legfontosabb és legelterjedtebb csoport az ún. nyomáskülönbségen alapuló membrános technikák (ide tartozik a mikroszűrés, ultraszűrés, nanoszűrés és fordított ozmózis, amelyeket összefoglaló néven membránszűrésként emlegetnek), ahol a szűrés elvén valósul meg a szeparáció. A szeparáció hajtóereje lehet még a koncentrációkülönbség (pl. dialízis vagy pervaporáció esetén), az elektromos potenciálkülönbség (elektrodialízis) és a hőmérsékletkülönbség (membrán desztilláció) is.

Membránszűrések

A nyomáskülönbségen alapuló membrános technikák alkalmazása során a nagyobb molekulatömegű komponensek szeparációjánál kisebb, míg a kisebb méretű molekulák esetén egyre nagyobb nyomást kell alkalmazni. Nagyobb molekulá-

tömegű vegyületek szeparálására ma már rutinszerűen alkalmazzák a mikroszűrést és az ultraszűrést, például a tejiparban a sajtgyártásnál, vagy a söriparban az élesztők kiszűrésére. E technikák kivitelezése egyszerűnek tűnik, hiszen nyilvánvaló, hogy a kisebb méretű molekulákhoz kisebb pórusméretű membránt kell alkalmazni, ami nagyobb legyőzendő ellenállást jelent. De ahogy a komponensek mérete csökken, komplikációk léphetnek fel többek között az ozmózis jelensége miatt. A tengervíz sótalanításánál például már meglehetősen nagy nyomást (60–100 bar) kell alkalmazni, ha édesvizet akarunk előállítani, hiszen a tengervíz ozmózisnyomása 25 bar! Ráadásul az alkalmazható membrán ellenállását is le kell győzni... Mégis, a távoli, sivatagos területeken sokszor ez az egyetlen hatékony ivóvíz-előállítási technika. Napjainkban persze egyre kifinomultabbak, környezetkímélőbbek a módszerek: létezik már ún. ZDD (zero discharge desalination, hulladékmentes sótalanítás) technika, ahol a membrán által visszatartott só is maradéktalanul ki lehet nyerni és értékesíteni. Gyorsuló ütemben terjednek azok a technológiák is, ahol megújuló energiaforrásokat (például szél, napfény, a tenger hullámzása) használnak a sótalanításhoz szükséges energia biztosítására.

Az ozmózis hallatlan erejét azonban kár lenne elvesztegetni! A sótalanításhoz használt



1. ábra • A csökkentett nyomású ozmózis elvi vázlata

membránok segítségével a sós víz ozmózisnyomása munkára fogható. Ha permszelektív membrán választja el a viszonylag tömény sóoldatot a víztől vagy hígabb oldattól, akkor az ozmózis hatására víz fog áramlani a membránon át a töményebb oldat felé (1. ábra). Az ozmotikus vízáram turbina segítségével elektromos áram generálására használható fel (Loeb, 1998). Ez az ozmotikus erőmű működésének elvi alapja, amelynek ötlete Sidney Loeb professzortól származik, s a folyamat neve: fékezett vagy csökkentett nyomású ozmózis (pressure-retarded osmosis – PRO).

Az utóbbi harminc évben sok-sok kísérletről, számításról beszámoltak a világon a csökkentett nyomású ozmózis alkalmazásá-

nyomáskülönbség	koncentráció-különbség	elektromos potenciálkülönbség	hőmérsékletkülönbség
mikroszűrés	dialízis	elektrodialízis	membrán-
ultraszűrés	pervaporáció	(tüzelőanyagcellák)	desztilláció
nanoszűrés	gázszerparáció		
fordított ozmózis	ozmotikus desztilláció		

1. táblázat • A membrános műveletek csoportosítása

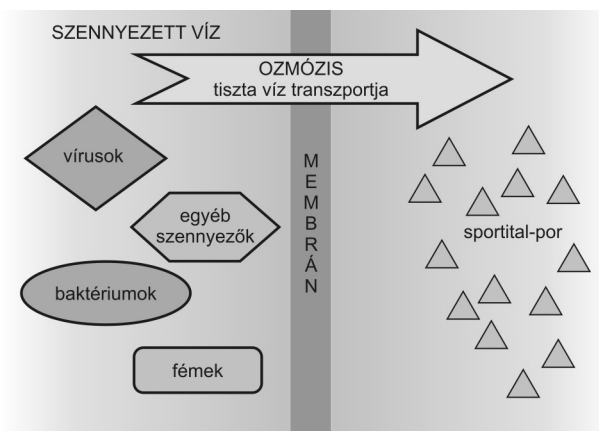
val kapcsolatban. A leghíresebb ezek között a tengerszint alatt fekvő Holt-tenger adottságait (fekvés, magas sókoncentráció) kihasználó elképzelés. Egyelőre a rendelkezésre álló, 2 nm-nél kisebb pórusméretű aszimmetrikus vagy kompozit membránok (anyaguk például cellulóz-acetát, aromás poliamid vagy poli(éter-karbamid)) közül egyiknek sincs akkora átteresztőképessége, hogy az ozmotikus erőmű gazdaságosan működhessenek, de a fejlődés e területen oly elképesztően gyors (léteznek már szinte kétdimenziós membránok, elhanyagolható vastagsággal), hogy talán már a közeljövőben értesülhetünk egy ozmotikus erőmű megépítéséről, üzembe helyezéséről.

Az ozmózis hajtóerejét azonban egészen hétköznapi módon is ki lehet használni. A legújabb, ivóvíz kinyerésére használható ozmotikus technikáról a Hydration Technology (Albany, Oregon) cég számolt be nemrégiben (<http://www.hydratationtech.com>). Találmányuk lényege egy zacskó, amelyben koncentrált sportital-por vagy szirup van elhelyezve. A zacskó természetesen membránként viselkedik, s ahogy bármilyen (szennye-

zett) vízbe merítjük, a tiszta víz azonnal elkezd áramolni a membránon keresztül, hogy hígítsa a tömény oldatot (2. ábra). A membrán csak a vízmolekulákat engedi át, a többi szerves és szerves komponens visszatartja.

A zacskó anyaga különleges kompozit membrán, ahol egy ultravékony (10 mikrométeres) réteg van elhelyezve szendvicsszerűen egy mikroszűrő és egy erős támasztóréteg közé. A 0,5 nm (!!!) méretű pórusok kiszűrik az *E. coli* (*Escherichia coli*) baktériumot, az anthraxspórákat, vírusokat, nehézfémeket, részecskéket stb. Az aktív membrán réteg cellulóz észter származék, s így hidrofил karakterű, ami szintén elősegíti a spontán folyamatot. Így a membránon keresztül akár 1 liter/óra fluxus (permeációs sebesség) is elérhető.

Ezt a technikát a cápák kicsit régebben használják, mint az ember. Ők ugyanis nagy ozmózisnyomású, kis molekulatömegű vegyületeket (karbamidot [NH_2CONH_2] és trimetilamin-oxidot [$(\text{CH}_3)_3\text{NO}$] – a protein metabolizmus nitrogéntartalmú lebomlási termékeit) tárolnak viszonylag nagy koncentrációban a vérükben (<http://www.physics.arizona.edu/~kessler/> címen elérhe-



2. ábra • Ozmózis alkalmazása ivóvíz kinyerésére

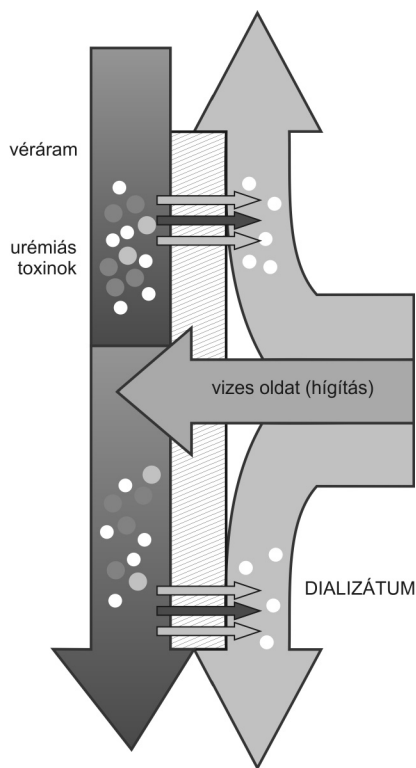
tő Forward Osmo&shark&history.ppt file), amelynek az ozmózisnyomása kicsivel meghaladja a tengervízét, s így a cápák testébe (pontosabban vérükbe) – mindenféle erőfeszítés nélkül – folyamatosan tiszta víz áramlik be ereik falán keresztül.

Dialízis

A klasszikus dialízis során semleges molekulák szelektív transzportja valósul meg a membránon keresztül a két oldal között fennálló koncentrációkülönbség mint hajtóerő hatására. A dialízis legnagyobb volumenű alkalmazása a hemodialízis, más néven művese-kezelés, amely egy vértisztító eljárás, a végstádiumú veseelégtelenségben (urémiában) szenvedő betegeknél alkalmazzák szervezetük méregtelenítésére: urémiás toxinok szeparációjára. A kis molekulatömegű (max. 200 daltonig) anyagcseretermékek (például: kreatinin, karbamid, húgysav és a nitrogén-, kálium-, foszforionok...) és egyes oligopeptidek (5000–10 000 dalton, amelyek fehérjék lebontásakor keletkeznek) eltávolításához 0,8–2,5 m² felületű ún. kapilláris membránmodulokat alkalmaznak, ahol regenerált cellulózból készült, kis átmérőjű membrán csövecskéket építenek be egy modulba. A folyamat során a beteg artériájából a vért 150–250 ml/perc sebességgel, szivattyúval áramoltatják a membrán belső csövecskéiben, majd onnan visszaáramlik a beteg vénájába. Ezalatt a modul külső köpenyében 400–600 ml/min sebességgel, ellenáramban ún. dializáló oldatot cirkuláltatnak, amelynek ionösszetétele az életfontosságú ionokra nézve izotóniás (fiziológias sóoldat). Ebbe a vizes oldatba jutnak át az eltávolítandó ionok, molekulák.

A hemodialízisnek – az urémiás toxinok eltávolításán túl – további funkciói is vannak:

a vízfőlölesleg eltávolítása, az ionegyensúly beállítása, valamint a pH szabályozása. A vízszeparáció során a permeáció mechanizmusa nem tisztán diffúzió, hanem – a membrán két oldala közötti transzmembrán nyomás (TMP) szabályozásával – konvektív áram is felléphet, ami segíti a diffúziós folyamatot. Ugyanakkor a beteg folyadékháztartásának szabályozására fokozottan ügyelni kell, továbbá előfordulhat, hogy a modulba belépő véráram túlságosan besűrűsödik a vízvesztés miatt, s ez nehezíti diffúziót. Ennek kiküszöbölésére nemrégiben egy olyan különleges készüléket fejlesztettek ki (<http://www.nephros.com>), ahol a modul közepén be lehet vezetni egy friss vizes oldatot (3. ábra),



3. ábra • A legújabb hemodialízis modul típus kialakítása

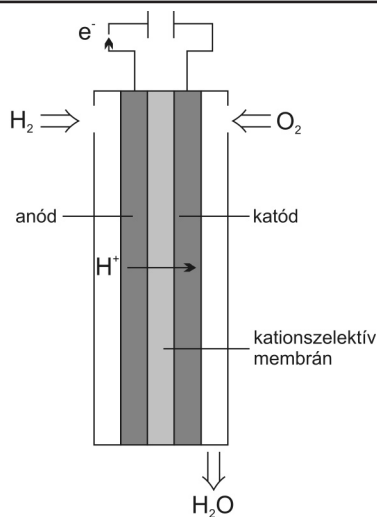
amely meghígítja a vért, s így a dialízis során csökkenthető a vízvesztés, hatékonyabb lehet a dialízis.

A dialízis miniatürizált változatát ma már az agykutatók is használják, akik mikro-dialízis mintavevő beültetésével képesek az adott agyterületen nyomon követni a transzmitterek koncentrációjának változását az idegsejtek közötti térben (Mayer et al., 2004).

Elektrodialízis és tüzelőanyag-cellák

Az elektrodialízis hajtóereje az elektromos potenciálkülönbség. Ha egy sóoldatot elektromos potenciálkülönbség (feszültség) alá helyeznek, a kationok a negatív elektród (katód) felé vándorolnak, míg az anionok a pozitív elektród (anód) felé. Az ionok vándorlásának szabályozására elektromosan töltött membránokat használnak. Az elektrodialízis folyamán kation- és anionszelektív membránokat helyeznek el váltakozó sorrendben a katód és az anód közötti térben. Amikor az ionokat tartalmazó szeparálható oldatot (pl. NaCl) keringetni kezdik ebben a térben, és egyenáramot kapcsolnak a rendszerre, az ionok vándorolni fognak a megfelelő elektród felé. Az anionok azonban nem tudnak áthatolni a negatív töltésű (kationszelektív) membránon, s a kationokat hasonlóképpen visszatartja a pozitív töltésű (anionszelektív) membrán. Így összességében az ionok koncentrációja minden második egységben emelkedik, míg a többi egységben csökken. Váltakozva híguló és töményedő oldatot tartalmazó egységek alakulnak ki. Az elektrodialízis ily módon a töltéssel bíró komponensek szeparációjára alkalmazható membrános eljárás.

A tüzelőanyag-cellákban szintén töltéssel rendelkező membránt, egészen pontosan kationszelektív (protonszelektív) membránt alkalmaznak, de a cél itt kémiai energia átala-



4. ábra • Tüzelőanyag-cella vázlata

kítása elektromos energiává. A tüzelőanyag-cellában (4. ábra) az anód oldalán bevezetett hidrogéngáz hidrogénionokká oxidálódik, s a képződő elektronok egy külső körön az anód felől a katód felé áramlanak. A hidrogénionok a kationcserélő membránon át a katódtérbe diffundálnak, ahol az oxigénnel reagálnak, s víz képződik. A cellában történő reakció elektromotoros ereje $E = 1,2$ V. Ezt az értéket nyerjük mint elektródpotenciált.

Sokféle típusú tüzelőanyag-cellát fejlesztettek ki, amelyek az alkalmazott elektrolit, elektród és a hőfok tekintetében térnek el. Az ún. „szilárd polimer tüzelőanyag-cellában” például Nafion típusú kationszelektív membránt használnak, s a hőfok 100 °C alatt van. Ha szerves anyagokat alkalmaznak az iontranszferhez, jóval magasabb hőmérsékleten is végezhető a folyamat (500 – 1000 °C), ami növeli a hatékonyságát. Ezekon kívül más reagensek is használhatók, például hidrogén helyett propán vagy metanol, oxigén helyett pedig például hidrogén-peroxid.

A tüzelőanyag-cellák nagy előnye a többi energiatermelő folyamattal szemben, hogy

igen jó a hatékonyságuk, s nem termelnek semmilyen környezetszennyező anyagot. A hidrogén és oxigén egyesülésével csupán tiszta víz keletkezik, ellentétben a fosszilis energiaforrásokkal, amelyek eltüzelésénél nagy mennyiségű NO_x , SO_2 és CO_2 képződik.

Membrán desztilláció és ozmotikus desztilláció

A membrán desztilláció olyan eljárás, ahol két különböző hőmérsékletű folyadékkeveget pórusos membrán választ el. A folyadékok nem nedvesíthetik a membránt, különben a kapilláris erők hatására a pórusok azonnal feltöltődnek. Így pórusos hidrofób membránokat szoktak itt használni vizes oldatok esetén. Ha a fázisok tiszta vizet tartalmaznak, és nincs hőmérséklet-különbség, a rendszer egyensúlyban van, és nem lép fel transzport. Ha azonban az egyik fázis hőfoka magasabb, a hőmérséklet-különbség gőznyomáskülönbséget okoz. Tehát a gőzmolekulák a membrán pórusain át vándorolni kezdenek a magasabb gőznyomású (magasabb hőfokú) helyről az alacsonyabb felé.

A lélegző esőkabátok titka is egy pórusos, hidrofób membrán, a Raintex anyagnál lehet például polipropilén vagy polietilén (www.raintex.com), a Gore-tex anyagnál (www.gore-tex.com) politetrafluor-etilén (PTFE), hétköznapi nevén teflon. Ezt a membránt olyan szövetbe ágyazzák, amely megvédi a mechanikai behatásoktól, hiszen önmagában meglehetősen sérülékeny volna. Az így kialakított anyag a folyadék halmazállapotú vízmolekulákkal szemben víztaszító módon viselkedik (leperegnek róla az esőcseppek), míg a testfelületen keletkező párárt (gőz halmazállapotú vizet) könnyedén átterszti.

Az ozmotikus desztilláció olyan membrános művelet, ahol a hajtóerő a membrán két

oldala közötti ozmózisnyomás-különbség. Membránként – a membrán desztillációhoz hasonlóan – pórusos, hidrofób anyagot használnak, s a primer oldalon például híg vizes oldatot, a szekunder oldalon pedig például tömény sóoldatot áramoltatnak. Az elválasztás alapja az, hogy a vízmolekulák a hígabb oldat felől a töményebbe vándorolnának az ozmotikus nyomáskülönbség miatt, s így előbbi víztartalma jelentősen lecsökkenhet. A membrán hidrofób karaktere miatt a vizes oldat folyadékállapotban nem képes behatolni a membránpórusokba, s így folyadék-gőz határfelület alakul ki minden pórus végénél. A nagyobb vízakaktivitású oldatból a víz elpárolog, és a gőz konvekciós és/vagy diffúziós mechanizmussal átjut a membrán pórusain, majd lecsapódik a kisebb vízakaktivitású oldatba. Ekképpen nincs közvetlen érintkezés a két fázis között, ami rendkívül fontos és hasznos például élelmiszeripari alkalmazások esetén (higiénia).

Az ozmotikus és a membrán desztillációt kombinálni is lehet, ekkor egyetlen modulban, jobb hatékonysággal játszódhat le a vízeltávolítás, mivel a kétféle hajtóerő (hőfokkülönbség és ozmotikus nyomás) összedől. Laborkísérleteink során gyümölcslevek koncentrációját vizsgáltuk ily módon (Bélafi-Bakó – Koroknai, 2006): kapilláris modul csövecskéinek belsejében áramoltatva a 40–45 °C-ra termosztált gyümölcslevet, a köpenytérben pedig például 6 M koncentrációjú CaCl_2 sóoldatot 15–20 °C-ra hűtve, a gyümölcslezből vízáram indult meg a membránon keresztül, ami a tömény sóoldatot hígította, s mindeközben a gyümölcsle 60 % szárazanyag-tartalomig töményedett (5. ábra). Hűtés nélkül akár egy évig is eltartható sűrű szörpöt nyertünk terméként, amit vízzel vissza lehet hígítani, s végeredményben

az eredeti friss gyümölcs zamatával teljesen megegyező gyümölcslevet fogyaszthatunk az év bármely napján (organoleptikus vizsgálatokkal igazolva).

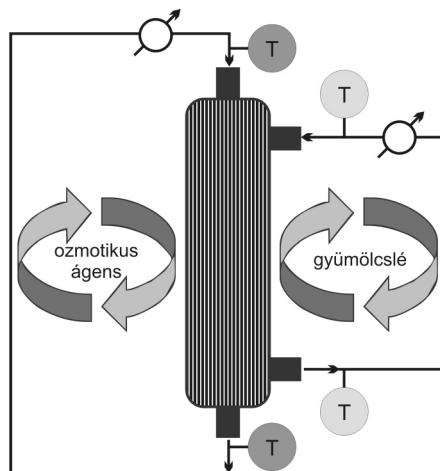
Pervaporáció

A pervaporáció az egyetlen olyan elterjedt membránszeparációs művelet, ahol fázisváltozás (folyadék-gőz) történik. Az eljárás során az elválasztandó folyadékelegyr érintkezik a membránnal a primer oldalon atmoszferikus nyomáson, míg a permeátum gőzfázisként nyerhető ki a szekunder oldalon, kis (parciális) gőznyomáson, például vákuumot alkalmazva. A pervaporáció hajtóereje a koncentrációgradiens, bár a nyomás is szerepet játszik az elválasztáskor, s relatíve illékony komponensek kinyerésére szokták alkalmazni.

A pervaporációt ipari méretben eddig leginkább oldószerek víztelenítésére használták, amelyhez hidrofil karakterű poli(vinil-alkohol) membránokat alkalmaztak. Manapság a megújuló energiaforrások egyik ígéretes jelöltje, a bioetanol előállításánál fűznek nagy reményeket a pervaporációhoz, amely a termékeltávolítás és -koncentráció során a desztilláció környezetkímélő és energiatakarékos alternatívája lehet.

Gázszeperáció

Ez a membrános eljárás – mint a nevéből is látszik – gázkeverékek elválasztására alkalmas művelet, amelyet ipari méretben alkalmaznak ma már például a levegő komponenseinek szétválasztására (oxigén dúsítása, nitrogéngáz előállítása), illetve a földgáz kitermelésekor az inert gázok (N_2 , CO_2) eltávolítására (Anjan – Pradip, 2006). A fő kutatásfejlesztési területek napjainkban a környezetvédelemhez kapcsolódnak: például a szénhidrogéngázok visszanyerése a benzin-



5. ábra • Az ozmotikus és a membrán desztilláció kombinálásával kialakított művelet vázlat

elosztó és -tároló egységeknél, illetve az olefin monomerek visszanyerése a polimergyártó iparágaknál.

A megújuló energiaforrások egy másik jelöltje, a biohidrogén, amelynek fermentációval történő képzésénél is szerepet kaphat a gázszeperáció. Itt a fermentáció során termelődő CO_2 eltávolítása, illetve az inert atmoszféraként alkalmazott N_2 szeperációja a két legfontosabb feladat (Bélafi-Bakó et al., 2006), melyek megvalósítása közben a hidrogéntartalom akár 70 % fölé feldúsítható a gázelegyenben, s így már alkalmazható például a korábban említett tüzelőanyag-cellákban.

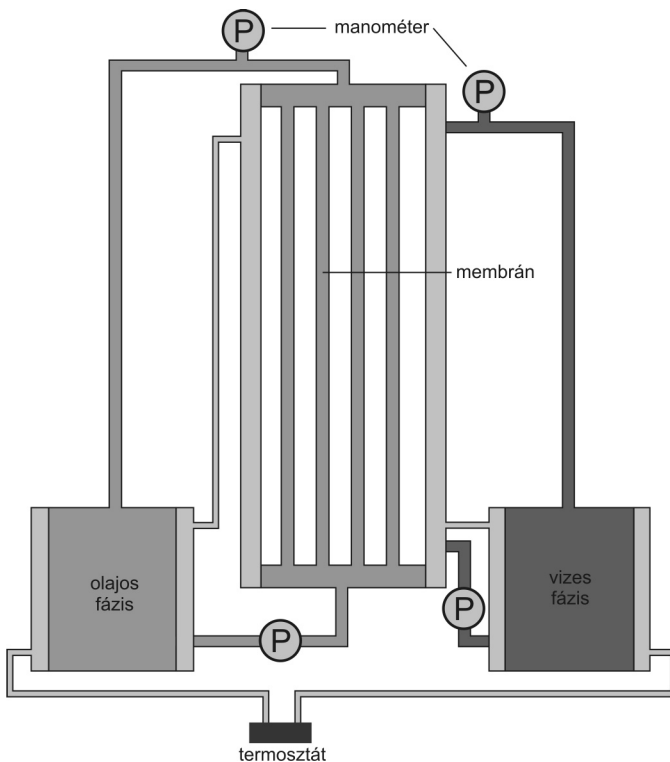
Membrán bioreaktorok

Biokatalitikus reakciók és valamilyen membránszeparációs művelet összekapcsolásával ún. membrán bioreaktorok alakíthatók ki, ahol a biokonverzió és a szeperáció egy egyben, szimultán játszódik le. Intézetünkben olajok, zsírok enzimikus hidrolízisét valószínűsíthetjük meg termosztálható membrán bio-

reaktorban (6. ábra), zsírsavak előállítására céljából (Bélafi-Bakó et al., 1994). E reakció során mind a kiinduló (trigliceridek és víz), mind a képződő (zsírsavak és glicerin) komponensek oldhatósága eltérő. A bioreaktorunk membránja egyrészt képes szeparálni a komponenseket, ugyanakkor a pórusokon keresztül érintkezési felületként is szolgál. A reakció biokatalizátorát, a lipáz enzimet a membrán pórusaiba rögzítettük, s a kapilláris membránmodul csövecskéiben az olajos fázist, a köpenyoldalon pedig a vizes fázist áramoltattuk. A membrán felületén lejátszódtott a reakció, a képződő zsírsavak az olajos fázisban maradtak, míg a glicerin átdiffundált a vizes fázisba. Így a reakció – a hagyományos, magas hőmérsékleten, nagy nyo-

máson zajló zsírbontástól eltérően – enyhe körülmények között (37 °C-on, atmoszferikus nyomáson), szelektíven, 9,5% feletti konverzióval megvalósítható volt, ráadásul nem volt szükség további szeparációra: a zsírsavas fázist tisztán, a glicerint vizes oldatban nyertük ki a folyamat végén.

A membrán bioreaktorok a szennyvíztisztításban harcoltak ki maguknak speciális helyet az utóbbi időszakban. 1985-ben jelentek meg az első, ún. bemező membrán modulok, amelyek áttörést jelentettek a szennyvíztisztításban kicsi energiaigényük és hosszú távon is megbízható működtetésüknek köszönhetően. Ezeket a membrán bioreaktorokat úgy alakítják ki, hogy az ultra-szűrő tartományba tartozó pórusos kapilláris



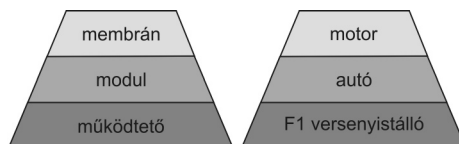
6. ábra • Membrán bioreaktor zsírok, olajok enzimes hidrolíziséhez

membránkötegeket vagy a membránlapokat vízszintesen vagy függőlegesen a bioreaktorba helyezik el, alulról levegőztetik őket, és a permeátumot vákuum segítségével nyerik ki. Így a primer oldalon túlnyomás nélküli „szűrés” játszódik le, s a kialakuló szűrőleplenyréteget időről időre el kell távolítani, amit egyrészt egy-egy visszamosási periódus segítségével lehet megvalósítani, nagyjából azonban – s ez jelentette a nagy áttörést e területen – a folyamat során a szabadon mozgó membránkötegek mintegy „lerázzák” magukról az odatapadt szűrőleplenyt (Cui et al., 2003) az intenzív levegő-buborékolatás hatására. Ezzel energiatakarékos és hosszú távon is megbízhatóan működtethető szennyvíztisztító rendszerek alakíthatók ki. A Magyarországon is jelen levő Zenon cég világszerte tekinthető ezen a területen (www.zenon.com).

A bemező membrán bioreaktorok továbbfejlesztett változatai már anaerob rendszerekre is alkalmazhatók, ahol levegőbuborékok helyett a képződő metán, illetve széndioxid biztosítja a membránkötegek mozgását. Az egyik legújabb változat pedig az ún. mozgóágyas biofilm membrán reaktor, ahol a biodegradációért felelős mozgó ágyas biofilm reaktort kombinálják a bemező membrán szeparációs egységgel.

Végezetül

A membrán, a modul és a vele dolgozó, ezt működtető szakemberegáda koncepciója a membrántechnológiában – Thomas Melin professzor plasztikus hasonlatával élve (Melin, 2004) – analógiát mutat a motor, az autó és a versenystálló (a pilótát is beleértve) hármassal a Forma-1 autóversenyeken:



A membránok és a modulok működtetésénél – a motor és az autó mozgásba lendítéséhez és hajtásához hasonlóan – a cél az, hogy a lehető legjobban kihasználjuk a membrán teljesítőképességét, ahogy a pilóta célja is a motor és az autó maximális teljesítményének elérése. A membránok fejlesztése ma már olyan szintet ért el, hogy a legújabb membránok szinte kétdimenziósoknak tekinthetők, a fluxusok jelentősen megnöttek a hihetetlenül vékony membránoknak köszönhetően. Ez már olyan léptékű változás, ahol a régi tervezési, működtetési koncepciók nem megfelelőek, újakat kell kidolgozni, s a XXI. századi membrános szakembereknek ez jelenti a legnagyobb kihívást.

Kulcsszavak: *oszmózis, permszelektív, környezetbarát és energiatakarékos szeparáció*

IRODALOM

- Anjan, K. Datta – Pradip, K. Sen (2006): Optimization of Membrane Unit for removing Carbon Dioxide from Natural Gas. *Journal of Membrane Science*. 283, 1–2, 291–300.
- Bélafi-Bakó Katalin – Dombi Á. – Szabó L. – Nagy E. (1994): Triacylglycerol Hydrolysis by Lipase in a Flat Membrane Bioreactor. *Biotechnology Techniques*. 8, 9, 671–674.

- Bélafi-Bakó Katalin – Koroknai Balázs (2006a): Enhanced Flux in Fruit Juice Concentration: Coupled Operation of Osmotic Evaporation and Membrane Distillation. *Journal of Membrane Science*. 269, 2, 187–193.
- Bélafi-Bakó Katalin – Búcsú D. – Pientka Z. – Bálint B. – Herbel Z. – Kovács K. L. – Wessling M. (2006b): Integration of Biohydrogen Fermentation and Gas Separation Processes to Recover and En-

- rich Hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*. 31, 2, 1490–1495.
- Cui, Zhanfeng – Chang, S. – Fane, A. (2003): The Use of Bubbling to Enhance Membrane Processes. *Journal of Membrane Science*. 221, 1, 1–36.
- Loeb, Sidney (1998): Energy Production at the Dead Sea by Pressure-retarded Osmosis: Challenge or Chimera. *Desalination*. 120, 2, 247–262.
- Mayer Alíz – Szász B. K. – Kiss J. P. – Vizi E. S. (2004): Inhibitory Effect of Channel Blocker-type Antagonists on the Dopamine Uptake: An in vivo Microdialysis Study. *Pharmacology*. 72, 2, 146–147.
- Melin, Thomas (2004): New Tendencies in the Module/Functional Design and Working Conception. *EuroMembrane*. 2004, Hamburg, Abstract Book, 225.
- Zsigmondy, Richard – Bachmann, Wilhelm (1918): Über feinporige und neue Ultra filter. *Zeitschrift für Anorganische Chemie*. 103, 119-126.

