

**Budapesti Közgazdaságtudományi es Államigazgatási  
Egyetem , Élelmiszertudományi Kar,  
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék**

**Ipari szennyvizek tisztítása membránszűréssel  
és pervaporációval**

**PhD értekezés tézisei**

**Jesús Mora Molina  
Budapest, 2003**

## 1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI

Napjaink egyik legfontosabb problémaköre természetes vizeink és vízkészleteink minőségének védelme. A víz életfenntartó anyag az ember, az állat és a növényvilág számára, valamint az ipari termelési folyamatokhoz szükséges nyersanyag. A vízszükséglet állandóan növekszik, ami egyrészt a lakosság számának a kulturális, a szociális és a higiéniai igényeknek a növekedésére, másrészt az ezzel kapcsolatos és párhuzamosan végbemenő gyors ütemű ipari fejlődésre vezethető vissza. A víz az ember megjelenésének időszakában korlátlan mennyiségben állt rendelkezésre. A civilizáció terjedésével párhuzamosan fokozódtak a vízzel szemben támasztott mennyiségi és minőségi követelmények. Az igények kielégítése elvileg még ma sem lenne mennyiségi kérdés, ha a vízkészletek jelentős része nem szennyeződött volna el.

A természetes vizek szennyeződését főleg az ipari, például az élelmiszeripari üzemek okozzák. Nem lebecsülendő az a veszély sem, amit a mezőgazdaság nagyfokú gépesítése, kemikalizálása jelent. Egyre nagyobb nehézségeket okoznak a háztartási szennyvizek is, amelyek különböző szintetikus mosó- és mosogatószerket tartalmaznak. A vízminőség romlása a természetes készletek nem megfelelő, sokszor átgondolatlan használatából, a használat során keletkezett hulladék (szennyezett) víz kezelése nélküli befogadóba történő bevezetésének következménye. E probléma megoldásában igen nagy szerepet játszik a vízgazdálkodás optimalizálása, valamint a keletkezett szennyvizek megfelelő minőségű kezelése.

Összefoglalva, Földünk véges vízkészlete és a fokozatosan növekvő vízigény újabb kihívás elé állította az ipar és mezőgazdaság minden területét, melyek a hatékonyabb vízfelhasználást mozdították elő. Az élelmiszeripari víz újrahaznosításának a legnagyobb lökést a szennyezést szabályozó törvények adták. Bebizonyosodott, hogy a követelmények teljesítésének leghatékonyabb és leggazdaságosabb módja a víz kezelése és újrahaznosítása, vagyis a kisebb kibocsátás. Az élelmiszeripari víz újrafelhasználásában kulcsfontosságú szerepet játszik a különböző membrántechnológiák alkalmazásainak elterjedése.

Ezért munkám célja olyan iparilag alkalmazható membránokat és eljárásokat találni, amelyek jó hatásfokkal képesek szétválasztani a szerves, illetve a szervesetlen anyagokat a szennyvizektől, és nemcsak környezetvédelmi céloknak megfelelő, hanem lehetőleg gazdaságilag is megtérülő beruházások. Vizsgálataim során membránszeparációs műveleti rendszerek ilyen célú alkalmazhatóságát műveleti és gazdaságossági szempontból is elemeztem.

## 2. CÉLKITŰZÉSEK

Munkám célja olyan iparilag alkalmazható membránokat és eljárásokat találni, amelyek jó hatásfokkal képesek elválasztani a szerves, illetve a szervesetlen anyagokat a különböző ipari és élelmiszeripari szennyvizekből és megfelelnek a környezetvédelmi előírásoknak. Szükséges feltétel, hogy a tisztított szennyvizek koncentrációja olyan legyen, hogy az biológiai szennyvíztisztítóba, vagy pedig közvetlenül élővízbe engedhető legyen, adott esetben pedig a szétválasztott anyag megfelelő kezelés után újrafelhasználható legyen. Célul tűztem ki továbbá az egyes berendezések optimális üzemelési paramétereinek meghatározását, ipari membránszeparációs berendezés költségbecslését, a költségábrányok értelmezését és költségoptimalást.

**A kitűzött célok elérésében a következő kísérleti munkákat kellett elvégezniem:**

### Modelloldatok esetében

- Modell oldatok (metanol-víz, etanol-víz és izopropanol-víz) szétválasztása laboratóriumi pervaporációs berendezésben, különböző pervaporációs membránok segítségével.

- A hőmérséklet, mint műveleti paraméter hatásának mérése a szétválasztást leíró paraméterekre (permeátum fluxus, szétválasztási tényező, szétválasztási index).
- Organofil membránok szétválasztási tulajdonságainak összehasonlítása.
- Etanol/só-víz elegy szétválasztása pervaporációval, a hőmérséklet és sókoncentráció (NaCl) hatásának vizsgálata a szétválasztást leíró paraméterekre (permeátum fluxus, szétválasztási tényező, pervaporációs szeparációs index).

### **Ipari/élelmiszeripari szennyvizek esetében**

#### ***ETASÓ szennyvíz vizsgálata:***

- Etanol/só tartalmú szennyvíz (ETASÓ) szétválasztása pervaporációval laboratóriumi méretű berendezésen, a műveleti paraméterek hatásának vizsgálata.
- A szennyvíz és az etanol-víz modell oldat szétválasztását leíró paraméterek összehasonlítása.

#### ***METASÓ szennyvíz vizsgálata:***

- Nanoszűrés alkalmazása metanol és só tartalmú szennyvíz (METASÓ) fémion-visszatartásának, illetve szűrlet-fluxusának meghatározására.
- Pervaporáció alkalmazása metanol és só tartalmú szennyvízből az alkohol leválasztására.
- Modelloldat pervaporációs mérése (~ 20%-os metanol tartalom) összehasonlítás céljából.
- Fordított ozmózis alkalmazása metanol és só tartalmú szennyvíz kezelésére.

#### ***HIDROKEVER szennyvíz vizsgálata:***

- Fordított ozmózis alkalmazása só- és kis olaj tartalmú szennyvíz (*HIDROKEVER*) KOI értékének csökkentésére a kibocsájtási határértékek alá.
- Nanoszűrés alkalmazása só- és kis olaj tartalmú szennyvíz KOI értékének csökkentésére a kibocsájtási határértékek alá.

#### ***GLÜKÓZ POLIMER szennyvíz vizsgálata:***

- A glükóz polimer tartalmú szennyvíz közvetlen nanoszűrése, illetve ultraszűréssel előkezelt szennyvíz nanoszűrése.
- A szennyvíz KOI érték változásának összehasonlítása a két kezelési eljárásban.
- A gélkoncentráció meghatározása az adott szennyvíz esetében.

#### ***FERMENTSÓ szennyvíz vizsgálata:***

- Nanoszűrés alkalmazása sók eltávolítására fermentációs szennyvízből (FERMENTSÓ) és a kémiai oxigénigény csökkentésére.
- Fordított ozmózis alkalmazása sók eltávolítására fermentációs szennyvízből (FERMENTSÓ) és a kémiai oxigénigény csökkentésére.

### ***Modellezés optimalítás***

A kísérletek alapján a következő modellezési és optimalítási feladatokat végeztem el:

- Pervaporációs membrán anyagátadásának matematikai modellezése a soros ellenállás modell és Arrhenius egyenlet segítségével.
- A fordított ozmózis matematikai modellezése. Új matematikai modell felállítása az ozmózisnyomás modellezésére a van't Hoff és Rautenbach egyenletek alapján.
- Optimalítás dinamikus programozással: komplex szennyvíztisztítási eljárás (fordított ozmózis + bepárlás) minimális összköltségének meghatározása.

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

#### A vizsgált anyagok és membránok

A kísérleteket metanol-, etanol- és izopropanol-tartalmú, valamint só tartalmú modelloldatokon végeztem. A szennyvizeknél a kísérleteket só és etanol (ETASÓ), só és metanol (METASÓ), só és szerves anyag (HIDROKEVER) tartalmú, glükóz polimer tartalmú (GLÜKÓZ POLIMER), valamint só és szerves anyag tartalmú fermentációs (FERMENTSÓ) szennyvizekkel végeztem. A vizsgálathoz pervaporációs (SULZER-1060, CELFA-CMG-OM-010) nanoszűrő (RA55, RA75, NP45, NF-200) fordított ozmózis (RO-SW30HR) és ultraszűrő (UF-FP055A típusú) membránokat használtam. Az alkoholokat desztillált vízzel hígítottam különböző koncentrációkra.

#### Anyagok és módszerek összefoglalása

Szennyvizek típusai	Vizsgált membránok	Alkalmazott membrántechnikák	Mért és számított jellemzők
Alkohol-víz elegyek: <b>(MODELLOLDATOK)</b>	CMG-OM-010, SULZER-1060	Pervaporáció	Permeátum fluxus, membrán szelektivitás, szeparációs tényező, aktiválási energia, alkohol tartalom. Matematikai modellezés.
Alkohol-víz + só elegyek: <b>(MODELLOLDATOK)</b>	CMG-OM-010	Pervaporáció	
Chinoín Rt-től származó etanolt és sót tartalmazó ipari szennyvíz: <b>(ETASÓ)</b>	CMG-OM-010	Pervaporáció	
A MOL Rt-től származó metanolt és sót tartalmazó ipari szennyvíz: <b>(METASÓ)</b>	CMG-OM-010	Pervaporáció	
	RA75 RA55 NP45	Nanoszűrés	Szűrlet fluxus, fémionok, sóvisszatartás, kémiai oxigénigény és alkohol tartalom.
	SW30HR	Fordított ozmózis	
Hidrofilt Kft-ből származó két különböző összetételű élelmiszeripari szennyvíz keverék: <b>(HIDROKEVER A. és B.)</b>	NF-200	Nanoszűrés	Szűrlet fluxus, sóvisszatartás és kémiai oxigénigény.
	SW30HR	Fordított ozmózis	
Hidrofilt Kft-ből származó glükóz polimert tartalmazó élelmiszeripari szennyvíz: <b>(GLÜKÓZ POLIMER)</b>	UF-FPO55A	Ultraszűrés	Szűrlet fluxus, sóvisszatartás, kémiai oxigénigény, szárazanyagtartalom és gélkonzentráció meghatározás.
	NF-200	Nanoszűrés	
Chemitechnik Pharma Kft-ből származó sót és szerves anyagok tartalmazó fermentációs szennyvíz: <b>(FERMENTSÓ)</b>	RA55 RA75 NP45	Nanoszűrés	Szűrlet fluxus, szűrlet sókoncentráció, fémionok, sóvisszatartás, kémiai oxigénigény, szárazanyag- tartalom. Ozmózisnyomás matematikai modellezése és optimalás dinamikus programozással.
	SW30HR	Fordított ozmózis + Bepárlás	

## 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

### I. Pervaporációs eredmények organofil membránokon modell oldatokkal és szennyvízzel

1. Organofil pervaporációs membránon modell elegyekkel végzett laboratóriumi kísérletek alapján sorrendet állapítottam meg a vizsgált alkoholok, nevezetesen izopropanol (IPA), etanol (ETA) és metanol (META) fluxusa (J) és szétválasztási együtthatói ( $\alpha$ ) között. A sorrend a következő:  $J_{IPA} > J_{ETA} > J_{META}$ , és  $\alpha_{IPA} > \alpha_{ETA} > \alpha_{META}$ . A sorrend fordítottan arányos az alkoholok Hildebrandt féle oldhatósági tényezőjének – polaritásának változásával:  $H_{IPA} < H_{ETA} < H_{META}$ .

2. Organofil pervaporációs membránokon, modell elegyekkel végzett kísérletek alapján megállapítottam, hogy ellentétben a hidrofil membránoknál tapasztaltakkal, a szétválasztási tényező növekvő tendenciát mutat a hőmérséklet növekedésével.

Hőmérséklet (°C)	Pervaporációs szétválasztási tényező ( $\alpha$ )					
	SULZER-1060 MEMBRÁN			CELFA-CMG-OM-010 MEMBRÁN		
	Metanol	Etanol	Izopropanol	Metanol	Etanol	Izopropanol
40	2,97	2,89	5,38	2,70	6,52	7,38
50	2,73	3,41	6,75	4,19	6,61	10,71
60	3,30	3,61	7,26	4,51	6,51	10,57
70	3,37	3,73	8,01	4,53	6,92	9,84

3. Az alkohol koncentráció hatását vizsgálva etilalkohol-víz elegy esetében megállapítottam, hogy mind a permeátum fluxusa, mind a szétválasztási tényező nő az alkohol koncentráció növekedésével. A pervaporáció hőmérsékletétől függően a szétválasztási tényező körülbelül 9-13 %-os alkoholtartalomnál lesz nagyobb, mint az adott elegy relatív illékonysága ( $\alpha_{G-F}$ ).

Etanol-tartalom a betáplálásban (%)	A pervaporációs szétválasztási tényező ( $\alpha$ ) és a gőz-folyadék szétválasztási tényező ( $\alpha_{G-F}$ ) hányadosa			
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
4,26	0,23	0,42	0,50	0,47
9,45	0,67	0,88	0,98	1,01
18,86	1,32	1,38	1,29	1,45
24,17	1,44	1,73	1,78	1,49

4. Szennyvizekkel végzett pervaporációs kísérleteim alapján megállapítottam, hogy a szennyvizek szétválasztási tényezője nagyobb volt, mint az azonos/hasonló koncentrációjú (2,5-5 %) modelloldaté, valószínűleg a szennyvízben lévő só hatására, amit az etanol-víz elegy + konyhasó oldat pervaporációját organofil membránon vizsgálva bizonyítottam. A táblázatban 2,5-5 % etanolt és sót tartalmazó szennyvíz, illetve etanol-víz modellelegy adatait tüntettem fel.

Hőmérséklet (°C)	Permeátum fluxusa J (kg/m <sup>2</sup> h)		Szétválasztási tényező ( $\alpha$ )	
	Etanol-víz	Szennyvíz	Etanol-víz	Szennyvíz
40	0,27	0,28	1,83	2,78
50	0,55	0,47	3,58	3,34
60	0,81	0,93	3,56	5,74
70	1,68	1,34	5,29	6,92

NaCl koncentráció (%)	Etanol-víz elegy szétválasztási tényezője ( $\alpha$ )			
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0	2,18	3,83	4,84	4,33
0,2	8,87	7,87	8,49	9,11
2	5,38	5,73	6,44	6,77
5	5,37	7,91	7,24	11,09

## II. Membránszűrési eredmények élelmiszeripari szennyvizekkel

A vizsgált szennyvizek és eredetük a következő táblázatban található:

Szennyvizek	Eredete	Vizsgált szennyező
1.Etasó	Chinoin Rt-től	Etanol és só
2.Metasó	A MOL Rt-től	Metanol és só
3.Hidrokever A. és B.	Hidrofilt Kft-ből	Sók, szerves anyagok
4.Glükóz polimer	Hidrofilt Kft-ből	Glükóz polimer
5.Fermentsó	Chemitechnik Kft-ből	Sók, szerves anyagok

1. Metanolt és sót tartalmazó szennyvíz kísérleti vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a SW30HR fordított ozmózis membránnal a só hatékonyan kiszűrhető a szennyvízből, míg a szennyvíz metanoltartalma gyakorlatilag nem változik, így a kapott szűrlet visszaforgatható a technológiai folyamatba.

2. Különböző összetételű és szennyezettségű élelmiszeripari szennyvizekkel (Hidrokever A és B) végzett kísérletek alapján megállapítottam, hogy a szennyezettségtől függetlenül a fordított ozmózis (RO-SW30HR) szűrlete élővízbe, míg a nanoszűrés (NF-200) szűrlete közcsatornába, illetve alacsonyabb szennyezettség esetén élővízbe vezethető.

Membrán	Hidrokever A, KOI (mg/L)	Hidrokever B, KOI (mg/L)
RO- SW30HR	41	25
NF-200	370	93

Megállapítottam, hogy a fermentációs szennyvíz KOI értéke fordított ozmózis membránnal (SW30HR) hatékonyan lecsökkenthető, optimális esetben (P= 60 bar, T = 30 °C) élővízbe vezethető (KOI = 115 mg O<sub>2</sub>/L).

Sót tartalmazó fermentációs szennyvíz membránszűrésénél megállapítottam, hogy az adott szennyvíz kezelésénél a nanoszűrés nem eléggé hatékony, a különböző nanoszűrő membránok egyikének a szűrlete sem engedhető közcsatornába a magas sótartalom miatt.

<b>Szennyvíz szűrletének sótartalma nanoszűrés alkalmazásánál.</b>			
<b>Sókoncentráció megengedett határértéke: 2500 mg/L</b>			
<b>Paraméterek</b>	<b>Membránok</b>		
	<b>RA 75</b>	<b>RA 55</b>	<b>RP 45</b>
Sóviasszatartás (R %)	27,54	48,15	67,66
Permeátum sókoncentrációja (mg/L)	4112	2942	1822

3. Glükóz polimert tartalmazó élelmiszeripari szennyvíz tisztíthatóságának vizsgálatánál megállapítottam, hogy a szennyvíz tisztítására komplex membránszűrés eljárás javasolható, mert így nagyobb kihozatal biztosítható, azaz a visszamaradó sűrítmény mennyisége lényegesen kisebb lesz, mintha csak nanoszűrést alkalmaznánk. Glükóz polimert tartalmazó élelmiszeripari szennyvíz kombinált kezelésénél (UF+NF) a végső permeátum (NF után) élővízbe engedhető vagy visszaforgatható a technológiai folyamatba.

<b>Kémiai oxigénigény, KOI (mgO<sub>2</sub>/L)</b>			
<b>Minta</b>	<b>Közvetlen NF</b>	<b>Előszűrés</b>	<b>UF szűrlete</b>
		<b>UF-fel</b>	<b>NF-fel</b>
<b>(kombinált kezelés)</b>			
Átlagszűrlet	136	1630	115
Sűrítmény	11700	7510	12800
Eredeti szennyvíz	4490	5510	1630*

\*az ultraszűrés során lejött szűrlet

4. Glükóz polimert tartalmazó élelmiszeripari szennyvíz esetében meghatároztam a géllkoncentrációt is, ameddig az adott szennyvíz ultraszűréssel besűríthető, ez 7,02 % értékre adódott.

### III. Matematikai modellezés és optimalás eredményei

#### 1. Pervaporáció modellezése a soros ellenállás modellel

A soros ellenállás anyagátadási modellt alkalmazva megállapítottam, hogy az anyagátadást mindhárom vizsgált alkohol-víz elegy esetében maga a membrán ellenállása határozza meg, az áramlási viszonyoknak a vizsgált áramlási tartományban ( $Re = 7000-14000$ ) gyakorlatilag nincs hatása az anyagátbocsátásra. A membránellenállások egymás közti viszonya a következőképpen

jellemezhető az anyagátadási tényezők hányadosával:  $\frac{1}{Q_{MEM}^{IPA}} < \frac{1}{Q_{MEM}^{ETA}} < \frac{1}{Q_{MEM}^{META}}$

A SULZER-1060 membrán anyagátadási tényezői:

$Q_{MEM}$ [mol/(m <sup>2</sup> Pa·s)] 10 <sup>-5</sup>	<b>Metanol-víz</b>	<b>Etanol-víz</b>	<b>Izopropanol-víz</b>
	0,02	0,10	0,23

## 2. Pervaporáció aktiválási energiája

Kísérleteim alapján meghatároztam a vizsgált organofil membránok aktiválási energiáját az Arrhenius egyenlet szerint és megállapítottam, hogy az aktiválási energia függ a membrán típusától, az elegy kémiai tulajdonságától és a szerves oldószer koncentrációjától.

Alkoholok szétválasztására vizsgált pervaporációs membránok aktiválási energiája: E (kJ/mol)				
	13-20% koncentráció mellett		2,5-5% koncentráció tartományban	
Alkoholok	SULZER-1060	CELFA CMG-OM-010	SULZER-1060	CELFA CMG-OM-010
Metanol	54,75	52,62	58,37	63,96
Etanol	37,76	39,92	55,11	58,48
Izopropanol	43,86	40,72	72,65	62,30

## 3. Sótartalom hatása az aktiválási energiára

Meghatároztam az 5 %-os etanol-víz elegy pervaporációs aktiválási energiájának változását konyhasó adagolása mellett is. Az aktiválási energia kis koncentrációnál alacsonyabb az elegyénél, a sóadagolás növelésével pedig nő.

Sókoncentráció (%)	Aktiválási energia, E (kJ/mol)
0	58,48
0,2	43,21
2	47,98
5	53,70

## 4. A membránszűrés modellezése az ozmózisnyomás figyelembevételével

Sótartalmú szennyvíz membránszűrésének tervezésére új modellt dolgoztam ki, amelyet fermentációs szennyvíz példáján számszerűsítettem.

Az általam ajánlott ozmózisnyomás modell:

$$\Delta\pi = 0,087 \cdot c_R^{0,24} \cdot T, \text{ amelyet H-R modellnek neveztem.}$$

ahol  $C_R$  [m/m %],  $T$  [K]

A matematikai modell összegezi egyrészt a van't Hoff törvényt, kifejezve a lineáris összefüggést az ozmózisnyomás és a hőmérséklet között ( $\Delta\pi \sim T$ ); másrészt a Rautenbach összefüggést, melyben az ozmózisnyomás nem lineáris függvénye az oldat koncentrációjának ( $\Delta\pi \sim c_R^n$ ).

Tiszta NaCl oldat esetében a mért adatok illeszkedtek a van't Hoff modellhez, fermentációs szennyvíz esetén az új modellben  $C_R$  kitevője  $n < 1$ , és jól illeszkedett a mérési eredményekhez.  $\Delta\pi$  ismeretével a szennyvíz fluxusa számíthatóvá válik, tehát az új modell alkalmas tervezésre.



## 5. Optimalás dinamikus programozással

A fermentációs szennyvíz tisztítására két fő műveletből álló berendezést vizsgáltam: először fordított ozmózis membránnal besűrítettem szennyvizet (a tiszta víz elvezethető), majd a sűrítményt bepárlással véglegesre töményítettem a hulladék mennyiségének minimalizálása céljából.

A kételemű rendszer gazdasági optimumát a dinamikus programozás módszerével vizsgáltam azzal a céllal, hogy megállapítsam, milyen töménységűre kell koncentrálni a fordított ozmózis membránnal a minimális összköltség eléréséhez. A számításokhoz naprakész gazdasági adatokat és a kísérletből nyert összefüggéseket használtam fel. Esetemben az optimális költség eléréséhez a fordított ozmózis berendezést 40 °C-on és 50 bar nyomáson kell működtetni és a besűrítést  $C_R = 6,60$  m/m %-ig kell folytatni.

T (°C)	$\Delta P_{TM}$ (bar)	$X_1$ (%)	$\ddot{O}K_{RO}$ (M Ft/év)	$\ddot{O}K_{Bepárló}$ (M Ft/év)	$\ddot{O}K$ (M Ft/év)
30	40	6,52	0,51	3,70	4,21
30	50	6,07	0,49	3,98	4,47
30	60	5,61	0,48	4,29	4,77
40	40	6,51	0,50	3,70	4,20
<b>40</b>	<b>50</b>	<b>6,60</b>	<b>0,46</b>	<b>3,56</b>	<b>4,02</b>
40	60	5,98	0,48	4,02	4,50
50	40	6,50	0,50	3,71	4,21
50	50	6,43	0,48	3,74	4,22
50	60	6,35	0,47	3,84	4,31

Számításaim tükrözik azt a tényt, hogy bár az RO készülék beszerzése jelentős költségtényező, a bepárló berendezés működtetése lényegesen többbe kerül, mint a fordított ozmózis készüléké. Azért célszerű az RO-val minél nagyobb szárazanyagtartalomig elvégezni a besűrítést, mert annál olcsóbb bepárló berendezésre van szükség.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

### I. Modell oldatok vizsgálata és ipari szennyvizek tisztítása pervaporációval

A vizsgált két pervaporációs membrán alkalmas az alkohol-víz modellelegegyekből és szennyvizekből az alkohol elválasztására. A vizsgált membránok közül a CELFA-CMG-OM-10 típusú membrán ajánlható ipari alkalmazásra, mert nagyobb a permeátum fluxusa és a szeparációs képessége a vizsgált tartományban. A kísérleti mérések és kifejlesztett matematikai modellel lehetőséget nyújtanak:

- üzemi berendezések tervezésére a vizsgált szennyvizek (METASÓ, ETASÓ) esetében,
- költségbecslés elvégzésére a vizsgált alkoholokat tartalmazó (izopropanol, etanol, metanol) elegyek és szennyvizek esetében,
- a pervaporációt és más szétválasztási műveletet (membránszűrés, bepárlás) tartalmazó szennyvízkezelési technológia tervezésére és optimalizálására.

A pervaporációval tisztított szennyvíz visszavezethető a technológiába vagy a felszíni vízrétegbe bocsátható. Továbbá a pervaporáció a szerves vegyületek közvetlen visszanyerésének lehetőségét ajánlja azok újrahasznosítására. Ezenkívül a folyamat kompakt, folyamatos, alacsony globális befektetési költségű és kisebb energiaköltségű a hagyományos lehetőségekhez viszonyítva.

## **II. Ipari szennyvizek tisztítása membránszűréssel**

Az ipari és élelmiszeripari szennyvizekkel végzett kísérletek alapján az adott szennyvíz tisztítására alkalmas egylépcsős vagy komplex tisztítási technológia tervezhető.

- Fermentációs szennyvíz (FERMENTSÓ) esetében a fordított ozmózis és a bepárlás összekapcsolását javaslom melynek következtében (optimális működtetés esetén) a szennyvíz mennyisége körülbelül 5 %-ra csökken, és a visszanyert tisztított víz (kerülbelül 95%) a technológiai folyamatba visszaforgatható.
- Glükóz polimert tartalmazó szennyvíz (GLÜKÓZ POLIMER) esetében is a kétlépcsős tisztítási eljárás javasolt:
  - első lépcsőben ultraszűréssel célszerű eltávolítani a lebegő anyagokat és a makromolekulákat,
  - az ultraszűrés utáni második lépcsőben nanoszűréssel tovább tisztítható a szennyvíz magas kihozatalig (90-95 %),
  - a kétlépcsős tisztítási eljárás lehetővé teszi a koncentrátum újrahasznosítását a technológiai folyamatban és tisztított víz (az eredeti szennyvíz ~ 90 %-a visszaforgatását, vagy elővízbe vezetését,
  - a technológiai ipari alkalmazása esetén a tervezés előtt célszerű lenne a két lépcső komplex technológia optimalizálása, dinamikus prognozálással.
- A vizsgált különböző összetételű kisüzemi élelmiszeripari szennyvizek esetében (HIDROKEVER A és B) a szennyvíz összetételétől függetlenül fordított ozmózissal besűrítendő és annak összetételétől függően, 93-97 % visszaforgatható vagy elővízbe vezethető, aminek alapján a fordított ozmózissal történő besűrítést javaslom.
- A szerves oldószert (alkohol), sókat és más nem illékony szerves anyagot tartalmazó szennyvizek (ETASÓ, METASÓ) esetében az alkohol visszanyerés pervaporációval hatékonyan megoldható, majd a pervaporáció utáni maradék, amely sókat és nem illékony szerves anyagokat tartalmaz, membránszűréssel (RO, NF) tovább sűrítendő és a tisztított víz visszaforgatható. A technológia alkalmazása előtt gazdaságossági vizsgálatokat javaslom és a költségek összehasonlítását a biológiai szennyvíztisztító költségeivel.

## 6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT KÖZLEMÉNYEK

### Tudományos és szakfolyóiratban teljes terjedelemben megjelent Lektorált idegen és magyar nyelvű közlemények (5 spanyol, 2 angol és 1 magyar nyelven)

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2002): Comparison of pervaporation of different alcohols from water on CMG-OM-010 and 1060-SULZER membranes, *Desalination*, 149: 89-94. p.

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2002): Aplicación de la Nanofiltración y Pervaporación en el tratamiento de aguas residuales, *Tecnología en Marcha*, N° 15-3: 3-9. p.

Vatai Gy., Máriás K., **Mora Molina J.** (2001): Tenzidek szűrhetőségének vizsgálata nanoszűrő membránokkal, *Olaj, Szappan, Kozmetika* 50/6. szám, 232-235. p.

**Mora Molina J.**, Meszaros P., Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2003): Eliminación del etanol de solución modelo y del agua residual farmacéutica por pervaporación, *Tecnología en Marcha* N° 16-1. **(közlésre elfogadva)**

Koris A., **Mora M. J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2003): Filtración de glicerina de una solución modelo por ósmosis inversa y nanofiltración, *Tecnología en Marcha* N° 16-2. **(közlésre elfogadva)**

Galambos I., **Mora J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2004): High organic content industrial wastewater treatment by membrane filtration, *Desalination*, **(közlésre elfogadva )**

**Mora Molina J.**, Járay P., Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2004): Eliminación del polímero de glucosa del agua residual alimentaria por Nanofiltración y Ultrafiltración, *Tecnología en Marcha*, N° 17-1. **(közlésre elküldve)**

**Mora Molina J.**, Járay P., Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2004): Eliminación de sal y metanol del agua residual industrial por Ósmosis inversa, *Tecnología en Marcha*, N° 17-2. **(közlésre elküldve)**

### Konferencia kiadványokban mejelent teljes terjedelmű közlemények

(3 angol és 1 magyar nyelven)

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2001): Methanol containing industrial wastewater treatment by pervaporation for cleaner production, *Hungarian Chemical Society (I. International Symposium on Tools of Sustainability)*, Budapest, október 25-27., 29-31.p.

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E.(2002): The removal of inorganic salts from pharmaceutical-fermentation wastewater by nanofiltration and reverse osmosis combined with evaporation, *29<sup>th</sup> International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, may 27-31. CD-ROM.

X. G. Hu, **J. Mora**, A. Koris, E. Békássy-Molnár, Gy. Vatai. (2002): Effect of transmembrane pressure on ultrafiltration behaviour of emulsified oily wastewater, 15<sup>th</sup> International Congress of Chemical and Process Engineering (CHISA), Praha-Czech Republic, augusztus 25-29, CD-ROM.

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2002): Híg etanol-víz elegy szétválasztása pervaporációval: a környezeti paraméterek (hőmérséklet és sóhozzáadás) hatása a fluxusra és szelektivitásra V., *Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia, Szeged*, október 24-25. CD-ROM.

#### **Tudományos konferenciákon elhangzott előadások**

(3 magyar és 1 angol nyelven)

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2001): Pervaporációs membránok viselkedésének vizsgálata alkoholok leválasztásánál, *XI. Membrántechnikai Konferencia, Tata*, október 11-12.

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2002): Fermentációs szennyvíz tisztítása nanoszűrőssel és fordított ozmózissal, *Műszaki Kémiai Napok Veszprém*, április 16-18.

Vatai Gy., **Mora Molina J.**, Békássyné-Molnár E. (2002): The removal of inorganic salts from pharmaceutical-fermentation wastewater by nanofiltration and reverse osmosis combined with evaporation, 29<sup>th</sup> *International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, may 27-31.

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2002): Híg etanol-víz elegy szétválasztása pervaporációval: a környezeti paraméterek (hőmérséklet és sóhozzáadás) hatása a fluxusra és szelektivitásra V., *Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia, Szeged*, október 24-25.

#### **Tudományos konferenciákon bemutatott poszterek**

(4 angol és 2 magyar nyelven)

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2001): Alkohol- és sótartalmú ipari szennyvíz tisztítása nanoszűrőssel és pervaporációval, *Műszaki Kémiai Napok Veszprém*, április 24-26.

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2001): Methanol containing industrial wastewater treatment by pervaporation for cleaner production, *Hungarian Chemical Society (I. International Symposium on Tools of Sustainability), Budapest*, október 25-27.

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2002): Comparison of pervaporation of different alcohols from water on CMG-OM-010 and 1060-SULZER membranes, *International Congress on Membranes and Membrane Processes (ICOM), Toulouse-France*, július 7-12.

X. G. Hu, **J. Mora**, A. Koris, E. Békássy-Molnár, Gy. Vatai. (2002): Effect of transmembrane pressure on ultrafiltration behaviour of emulsified oily wastewater, 15<sup>th</sup> *International Congress of chemical and Process Engineering (CHISA), Praha-Czech Republic*, augusztus 25-29.

**Mora Molina J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2003): Ozmózisnyomás modellezése fordított ozmózissal történő szennyvíztisztítás során, *Műszaki Kémiai Napok Veszprém*, április 8-10.

Galambos I., **Mora J.**, Vatai Gy., Békássyné-Molnár E. (2003): High organic content industrial wastewater treatment by membrane filtration, *Permea 2003. Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, sept 7-11.