



SZENT ISTVÁN EGYETEM
BUDAI CAMPUS
ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR
ÉLELMISZERIPARI MŰVELETEK ÉS GÉPEK TANSZÉK

OLAJ-VIZ EMULZIÓ SZÉTVÁLASZTÁSA KÖRNYEZETVÉDELMI CÉLLAL

Doktori (PhD) értekezés tézisei

HU Xianguo

Budapest, 2002

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Az élelmiszeripar hatékony és költségkímélő technológiákat kutat a zsírok, olajok, zsiradékok eltávolítására az élelmiszeripari szennyvizekből. A sütő- és tejipar, az olaj-extrakció (pl. napraforgó-, szójabab-, gyapotmagolaj), a halfeldolgozó ipar, a hús- és baromfi ipar, az olajtartalmú élelmiszerek előállítói különböző megoldásokkal próbálkoznak a szennyvizek olajtartalmának csökkentésére. Olajtartalmú emulzió számos más területen is keletkezik (pl. gépipar, petrolkémiai-, kozmetikai- és gyógyszeripar, mezőgazdaság, bőripar, stb.), károsítja a természetet és súlyos környezeti problémákat okoz az egész világon. Ezen okok miatt nagyfontosságú feladat az olaj-víz emulziók kezelésének vizsgálata.

Az olajtartalmú emulziók szétválasztására hagyományosan használt módszerek lehetnek kémiai, mechanikai és hőkezelési technológiák. Ezek a módszerek általában nem elég hatékonyak, különösen, ha az olajcseppek finoman diszpergáltak és az olaj koncentrációja nagyon alacsony.

Az ultraszűrési membrántechnika (UF) együtt fejlődve a polimer-tudománnyal és -technológiával, a kenőanyag-tudománnyal, az alkalmazott felületi kémiával és a kémiai technológiával, ígéretes módszernek tűnik az emulziók szétválasztására, az emulzifikálás, hűtés, kenés és a környezetvédelem stb. igényeinek együttes megvalósítása céljából. A membránszűrés előnye a nagy hatékonyság mellett a nagytisztaságú permeátum, mely nem érhető el más technikákkal, és az alacsony üzemeltetési költségek. Az UF fizikai kezelési eljárás az olajos szennyvizek tisztítására. A szűrt víz eleget tesz a szigorú környezetvédelmi előírásoknak, a csatornába engedhető.

Mindeztáig a membránok és az üzemeltetési körülmények kiválasztásának alapja főként tapasztalati. Tapasztalatok alapján választjuk meg a vágási értéket (MWCO), pórusméretet és -eloszlást, transzmembrán-nyomást, hőmérsékletet, áramlási sebességet, a membrán tisztítását, hogy kielégítő módon tartsa vissza az emulgeált olajat, közben megfelelő kémiai oxigén-igényt (KOI) és megfelelő fluxust biztosítva.

Ezek alapján kutatásaim első célja az üzemeltetési paraméterek meghatározása, a membrán-paraméterek kiválasztása a koncentráció-polarizáció és a membrán-eltömődés minimalizálására, a KOI és az olaj kielégítő visszatartásának biztosítása és egy alkalmas félüzemi méretű eljárás kifejlesztése. A munka magában foglalja a membrán-modul felépítésének, az üzemeltetési paramétereknek és a membrán természetének meghatározását, a hatékony olaj-víz szétválasztás biztosítására.

A fluxus csökkenése a koncentráció-polarizáció és a membrán eltömődése miatt komoly probléma. Néhány modellt, különösen a film-elméletet és a "sorbakapcsolt ellenállások modelljét" módosították az olaj-víz emulziók ultraszűrésére, ahogy az az irodalomban fellelhető. Ennek ellenére nincs általánosan elfogadott egyszerű, minden részletre kiterjedő modell, a membránok különbözősége és az olaj-víz emulziók komplex összetétele miatt.

A kutatás másik célja a gél koncentrációjának számítására alkalmas módszer kidolgozása és a membrán eltömődése miatti fluxus-csökkenés leírására szolgáló modell felállítása keresztáramú ultraszűrés esetén.

A munka célját, a dolgozatban összefoglalt kutatásokat tehát a membrántechnológiák alkalmazása iránti növekvő igény motiválta, a víz eltávolítása olajos vizekből és szennyvizekből, valamint az ultraszűrés eredményeinek leírása elméleti módszerekkel.

2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

2.1. Készülékek

A kísérleteket laboratóriumi és félüzemi méretű ultraszűrő berendezéseken végeztem. Két különböző típusú laboratóriumi készüléken dolgoztam: az elsővel (TZA 944 ultraszűrő cella) a membrán természetének, a betáplálás koncentrációjának a hatását tanulmányoztam, a másik (ND-2 típusú) az üzemeltetési körülmények vizsgálatára alkalmas. A TZA 944 és az ND 2 készülék membránfelülete 44 és 35 cm² sorrendben. A transzmembrán nyomást 1 és 6 bar között változtattam. A hőmérsékletet 20-60 °C tartományban állítottam be. Keresztáramú sebességnek 0,5; 0,9; és 1,5 m/s-ot választottam.

Félüzemi méretű MA-CO ultraszűrő egységben ipari méretű spiráltekerces ultraszűrő membránmodult vizsgáltam. A nyomást a membrán bemenetén és kimenetén elhelyezett nyomásmérők segítségével mértem. A visszavezetett retentátum és a permeátum áramát különböző méréshatárú áramlásmérőkkel mértem. A félüzemi kísérleteket 5 m³/h recirkulációs áram, 3 bar betáplálás oldali nyomás és 40 °C hőmérséklet mellett végeztem.

2.2 A vizsgált membránok tulajdonságai

A vizsgált membránok fizikai és szűrési tulajdonságait mutatja az 1. és 2. táblázat.

1. táblázat Az UTZ 944 készülékben vizsgált UF membrán tulajdonságai

Membrán-gyártó	Membrán	Anyaga ¹⁾	MWCO ²⁾ [kD]	Vízfluxus ³⁾ [l/m ² h]	Max. hőm. [°C]
Mavibran	FS 102-05	PES	10	550	60
Mavibran	FS 202-09	PES	20	700	60
Mavibran	FF 20-K5	PVDF	20	500	60
Mavibran	FF 502-04	PVDF	60	1 000	60
Celfa	CMF-DY-010	PAN	10	250	45
Celfa	CMF-DY-040	PAN	40	700	45
Celfa	CMF-DS-040	PES	40	400	95
Celfa	CMF-DS-100	PES	100	800	95
Dow	FS 50PP	PVDF	50	300-700	60
Dow	FS 40PP	PVDF	100	300-800	60
Dow	RC 70PP	Cellulose ⁴⁾	10	150-250	60
Dow	ETNA 20A	Coating ⁵⁾	20	250-450	60

1: PES: poli-éter-szulfon; PVDF: poli-vinilidén-fluorid; PAN: poli-akril-nitril; 2: MWCO: vágási érték; 3: a betáplált áram nyomása 3 bar, hőmérséklete 20 °C; 4: regenerált cellulóz; 5: bevonatos, hidrofíli.

2. táblázat Az ND-2 típusú modulba épített UF membrán tulajdonságai

Membrán-gyártó	Membrán	Anyaga	MWCO [kD]	Vízfluxus ¹⁾ [l/m ² h]	Max. hőm. [°C]
Hochest	TS 6V-205	PES	100	800	60
Mavibran	FP 055 A	PVDF	60-80	1 000	60
Mavibran	FS 202-09	PES	20	700	60

1: a betáplált áram nyomása 3 bar, hőmérséklete 20 °C.

A félüzemi méretű berendezésben három Zoltek Magyar Viscosa Co. gyártmányú, ipari spiráltekerces membránmodult vizsgáltam: TS-102 (PES), TS-202 (PES) és TS-502 (PVDF). A membránok vágási értéke sorrendben: 6-8, 15-20 és 55-65 kD. Mindegyik membrán anyagátadási felülete 5 m² volt.

3. táblázat Félüzemi méretű ipari spiráltekerces membránmodulok tulajdonságai

Membrán típusa	Membrán-felület [m ²]	MWCO [kD]	Min. TVF* [l/m ² h]	Max. nyomás [bar]	Hőmérséklet [°C]	pH-tartomány
FS 10 (PES, TS-102)	5	6-8	1 000	8	60	1-13
FS 20 (PES, TS-202)	5	15-20	1 200	6	60	1-13
FF50 (PVDF, TS-502)	5	55-65	1 300	6	60	1-13

* tiszta víz fluxusa.

2.3. Anyagok és módszerek

Stabil olaj-víz emulziót használtam, melyet motorolaj (HW-1) ionmentes vízben diszpergálásával, emulgeálószer alkalmazásával állítottam elő.

A KOI-értéket (mg/l) nátrium-dikromátos módszerrel mértem. Az olajkoncentrációt (mg/l) ásványi olaj-UV spektroszkópiás módszerrel határoztam meg. A membrán felületének szerkezetét és az eltömődött vegyületek összetételét Fourier-transzformációs Infravörös eljárás (FT-IR) és Pásztázó elektron-mikroszkóp (SEM) segítségével elemeztem.

Az adatok feldolgozását és a matematikai modellek illesztését LEA SQ-Memb program használatával végeztem.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A membrán anyagának és az üzemeltetési paramétereknek a hatása a szűrési folyamatra laboratóriumi berendezésen

3.1.1. A membrán anyagának hatása laboratóriumi egységekben

Tizenkét különböző vágási értékű és pórusméretű polimer ultraszűrő membránt használtam az olajkomponensek eltávolítására az emulziókból. A PAN membrán esetében a permeátum fluxusa sokkal nagyobb, mint az ugyanakkora, 40 kD vágási értékű hidrofób PES membrán esetén. A Celfa és a Dow membránok visszatartása több mint 99%; a Mavibrán membránok visszatartása kb. 98-99% volt. A permeátum fluxusa alacsony betáplálási koncentrációval mérve, a magasabb vágási értékű membrán esetén nagyobb.

3.1.2. Üzemeltetési paraméterek hatása laboratóriumi egységekben

A permeátum fluxusa egyenesen arányos a transzmembrán-nyomással magasabb emulzió-koncentráció és alacsony nyomás esetén. A kritikuskál nagyobb nyomás alkalmazásakor a fluxus nem függ az üzemeltetési nyomástól és egy platót ér el.

A vizsgált membránokkal alacsony betáplálási koncentráció esetén (0,5 térfogat %) a permeátum KOI és olajkoncentrációja kielégítő volt. Nagy koncentráció esetén (5,0 térfogat %), a KOI értékek nőttek, míg az olajtartalom alacsonyabb volt.

A hőmérsékletet 20-ról 60 °C-ra növelve a permeátum fluxusa 20-100 %-kal nőtt. Az áramlási sebesség növelésével a koncentráció-polarizáció csökkent és a fluxus egy bizonyos értékig nőtt.

3.2. Félüzemi kísérletek eredményei

A magasabb vágási értékű TS-202 membrán fluxusa sokkal nagyobb volt, mint az alacsonyabb vágási értékű TS-102 membráné. A PVDF membrán a magasabb fluxus miatt alkalmasabb az olaj-víz emulzió kezelésére, mint a PES membrán. Olaj-visszatartásuk kb. 99 %. Félüzemi méretben a KOI-visszatartás alacsonyabb, mint laboratóriumi méretben, de 95 %-nál ekkor is nagyobb.

Félüzemi méret esetén a fluxus a transzmembrán-nyomással nőtt, mind a TS-102, mind a TS-202 membrán esetében. A permeátum fluxusa alacsony betáplálási koncentrációnál (0,5 %) közel arányos a transzmembrán-nyomással.

3.3 A membrántisztítás vizsgálatai

A különböző membránok felületén lévő vegyületek FT-IR spektrumát elemeztem az ultraszűrés előtt és után, valamint a negatív spektrumokat. Azt találtam, hogy a csúcsok tipikus szénhidrogén-csúcsok. A SEM vizsgálatok alátámasztották az IR eredményeket. Az eltömődést főleg az olajcseppek és egy bizonyos mennyiségnél felületaktív anyagok okozzák.

Micella oldattal tisztítva a membránt egy, a membrán szerkezetében adszorbeált olajat tartalmazó mikroemulzió keletkezik, tehát az eltömődést okozó molekulák eltávolíthatóak így. Az eredmények azt mutatják, hogy micella-oldat használatával az eltömődött membrán jól tisztítható.

3.4. A gél-koncentráció és a membrán-eltömődés matematikai modellezése

A membrán felületén jelenlévő olajkoncentráció becslésére szolgáló modellt használtam, mely a "sorbakapcsolt ellenállások" modellen és az anyagátadási elméleten alapszik.

Bevezettem egy új modellt a membrán eltömődésére olaj-víz emulzió esetén. Ez a modell széleskörű alkalmazást tesz lehetővé, mert felépítése a membrán-tulajdonságokon és az üzemeltetési paraméterek hatásán alapul. Nemcsak a membrán természetétől függő eltömődés hatását mutatja a fluxusra, hanem az üzemeltetési paraméterekét is.

3.5. Új tudományos eredmények

1. Azt tapasztaltam, hogy a membrán kémiai természete befolyásolja a szétválasztás hatékonyságát. A hidrofil jellegtől a hidrofób felé haladva a vizsgált membránok a következő sorrendbe állíthatók: Cellulóz>PAN>PES>PVDF. 0,5 térfogat % betáplálási olaj- koncentráció esetén a permeátum fluxusa hidrofil membrán esetén nagyobb, mint a hidrofób membránoknál. A következő táblázat mutatja, hogy a PAN membrán fluxusa hidrofil (-CN) csoporttal magas. 0,5 % olajtartalmú betáplálás esetén a PAN membrán (DY-40 és DY-010) esetében a permeátum fluxusa nagyobb, mint az ugyanakkora névleges vágási értékű hidrofób PES membrán (DS-040 és FS102-05) esetében. Hasonló megállapítás tehető a 100 kD vágási értékű PES (DS-100) és PVDF (FS-40PP) membránok összehasonlításakor.

Membrán	Anyaga	MWCO [kD]	Átlagos fluxus 0,5% betáp. konc. esetén, [l/m ² h]
DY-040	PAN	40	300.8
DS-040	PES	40	138.2
DY-010	PAN	10	177.9
FS102-05	PES	10	153.2
DS-100	PES	100	296.4
FS 40PP	PVDF	100	185.1

2. A vágási érték hatása a fluxusra függ az olajkoncentrációtól. Azonos anyagú, de különböző vágási értékű membránokat összehasonlítva megállapítható, hogy magas vágási érték magas fluxushoz vezet, alacsony olajkoncentráció esetén; míg ez a hatás gyengül magasabb olajtartalomnál. PES membránoknál hasonló tendenciát figyelhetünk meg alacsony betáplálási koncentrációnál. Nagy koncentrációknál a fluxus csökken a vágási érték növelésével, mert a PES membrán fluxusát erősen befolyásolja a gélréteg. Magasabb vágási értékű PES esetén a tendencia erősebb.

Membrán	Anyaga	MWCO [kD]	Fluxus [l/m ² h] ^{a)}	Fluxus [l/m ² h] ^{b)}
DY-010	PAN	10	177.9	81.5
DY-040	PAN	40	300.8	91.7
DS-040	PES	40	138.2	55.6
DS-100	PES	100	296.4	81.3

a) a betáplálás olajtartalma 0,5 térfogat %; b) a betáplálás olajtartalma 5 térfogat %;

3. A kritikusnál nagyobb tiszta víz-fluxusú hidrofil membránok esetében az olaj nem távolítható el tökéletesen az emulzióból, mert az alacsony viszkozitású vegyület könnyen apró cseppekre bomlik, melyek szabadon átmehetnek a membránon. PAN membrán esetében alacsony olajkoncentrációnál a fluxus jobb, ha a tiszta víz-fluxus nagyobb, bár a permeátum olajtartalma és KOI-ja magasabb.

Membrán	Anyaga	MWCO [kD]	Tiszta víz fluxusa, [l/m ² h]	Fluxus [l/m ² h]	KOI* [mg/l]	OLAJ** [mg/l]
DY-010	PAN	10	250	177.9	120	5.5
DY-040	PAN	40	700	300.8	155	46
DS-040	PES	40	400	138.2	135	13.3
DS-100	PES	100	800	296.4	140	2

betáplálás olajtartalma 0,5 térfogat %; nyomás 3 bar; hőmérséklet 40 °C,

KOI* jelenti a permeátum kémiai oxigén-igényét; OLAJ** jelenti a permeátum olaj-tartalmát

4. A transzmembrán-nyomás hatása a membrán-ellenállás változásán alapszik, mely a koncentráció-polarizációval és a gél-polarizációval függ össze. Alacsony emulzió-koncentráció esetén (0,5 térfogat %) a permeátum fluxusa közel lineárisan nő a transzmembrán-nyomással. Magasabb emulzió-koncentrációk esetén (5,0 térfogat %) a nyomás fluxusra gyakorolt hatása függ a nyomás nagyságától. Ha a transzmembrán-nyomás nagyobb a kritikus értéknél, a fluxust a gélréteg szabályozza. FS 202-09 és FP 055A membránok esetén a kritikus transzmembrán-nyomás értéke: kb. 2 bar, a TS6V membrán esetén 3 bar ND-2 készüléken mérve.

5. A nyomásnak a fluxusra gyakorolt hatása a hőmérséklettől is függ, különböző hőmérsékleten a nyomás hatása különböző. A fluxus alacsony és magas koncentrációk esetén is nő a hőmérséklettel a diffúziós állandó növekedése miatt. A nyomás és a hőmérséklet együttes hatását láthatjuk a permeátum fluxusára FP 055A membránon 5 térfogat % betáplálási koncentráció esetén:

Hőm. [°C]	Fluxus, [l/m ² h]	Transzmembrán-nyomás, [bar]					
		1	2	3	4	5	6
30		85.8	90	103	103	119	130
50		94.2	98.6	106.1	111.4	133	144
60		102.8	107.2	114.5	120	141.5	148.6

6. A méretnövelési kísérletek azt mutatják, hogy nincs szignifikáns különbség egy adott membrán esetében a laboratóriumi és a félüzemi méret esetében tapasztalt olaj- és KOI-visszatartás értékében. Viszont a permeátum fluxusa a félüzemi méretű berendezésben alacsonyabb, mint a laboratóriumi méretűben, ami a membrán-modulok különbözőségével valószínűsíthető (a félüzemi berendezésben spiráltekerces modul, a laboratóriumi készülékben lapmembránt alkalmaztam).

Membrán	Típusa	Permeátum fluxusa [l/m ² h]	Olaj-visszatartás [%]	KOI-visszatartás [%]
FS 10 (PES, TS-102)	Lab.	153.2	99.9	98.9
	Félüz.	77.7	99.6	95.2
FS 20 (PES, TS-202)	Lab.	243.7	98.6	98.2
	Félüz.	128.2	99.7	95.6
FF 50 (PVDF, TS-502)	Lab.	246.4	99.9	98.6
	Félüz.	196.2	99.7	97.0

* a betáplált emulzió koncentrációja 0,5 térfogat%

7. Infravörös és Pásztázó elektron-mikroszkópos technikákat alkalmazva a membránfelület vizsgálatára, azt találtam, hogy az olaj-víz emulzió szűrése után nagyszámú olajcsepp adszorbeálódott a membrán felületére. Az eltömődést többnyire az olajcseppek és a felületaktív anyagok okozták a vizsgált körülmények között. Micella-oldat alkalmazásával a tisztítási eljárás során az olajcseppek eltávolíthatók voltak a felületről.

8. Figyelembe véve az anyagátadási elméletet és az ultraszűrés “sorbakapcsolt ellenállások” egyenletét, a következő összefüggést állítottam fel a határrétegben lévő olajkoncentráció kiszámítására:

$$K \ln \frac{C_m}{C_b} = \frac{\Delta P}{\eta(R_m + R_g)} = \frac{\Delta P}{\eta(R_m + \alpha \Delta P)}$$

ahol K: az anyagátadási tényező (m h⁻¹); C_m és C_b az olaj koncentrációja a membrán felületén és az emulzió főtömegében (térfogat %); η a permeátum viszkozitása (N s m⁻²), ΔP a transzmembrán-nyomás (bar); R_m a membrán belső ellenállása (m⁻¹); R_g a gél-réteg ellenállása (m⁻¹) és α konstans (m⁻¹ bar⁻¹). Átrendezve az egyenletet, az olajkoncentráció a membrán felületén (C_m):

$$C_m = C_b \exp \left(\frac{1}{K} \left(\frac{\Delta P}{\eta(R_m + \alpha \Delta P)} \right) \right)$$

A polarizált rétegben az olajkoncentráció közelítőleg számítható az előző egyenlettel különböző nyomáson és géllkoncentráció esetén. Az üzemeltetési nyomás növelésével C_m a C_g-hez közelít. A kísérletek során C_g kb. 30 térfogat% volt:

C _m , [térf.%]	Transzmembrán-nyomás, [bar]					
	1	2	3	4	5	6
C _b , [térf.%]						
0.5	2.84	7.14	12.67	18.71	24.82	30.75
5.0	13.94	19.99	24.04	26.88	28.98	30.58

Az egyenlet érvényességi tartománya: betáplálási hőmérséklet: 20-60 °C, transzmembrán-nyomás: 1-6 bar. Az átlagos eltérés kisebb, mint 0,5 %.

9. Exponenciális alakú tapasztalati modellt állítottam fel az ultraszűrő membrán eltömődésére:

$$J_w = A \frac{U^m}{C_b^n} + B \frac{\Delta P}{\eta(R_m + R_g)} e^{-bt} = A \frac{U^m}{C_b^n} + B \frac{\Delta P}{\eta(R_m + \alpha \Delta P)} e^{-bt}$$

ahol J_w a permeátum fluxusa ($l\ m^{-1}\ h^{-1}$); R_m a membrán belső ellenállása (m^{-1}); és R_g a gélréteg ellenállása (m^{-1}); η a permeátum viszkozitása ($N\ s\ m^{-2}$); ΔP a transzmembrán-nyomás (bar); U a keresztáramú sebesség ($m\ s^{-1}$), C_b az emulzió tömbfázisának koncentrációja (térfogat%); t az idő (óra); A , B és b az ultraszűrő membrántól és az alkalmazott rendszertől függő állandók. Az m és n állandók értéke 0,3–0,8 és 0,05–0,6 között van sorrendben.

FP 055A membrán esetében a membrán-eltömődés egyenlete a következő:

$$J_w = 171,42 \left(\frac{U}{C_b} \right)^{0.5} + 0.37 \frac{\Delta P}{0.0052 + 0.0078 \Delta P} e^{-0.62t}$$

Az egyenlet érvényessége: áramlási sebesség: 0,5-1,5 m/s; transzmembrán-nyomáskülönbség: 1-6 bar; hőmérséklet 20-60 °C; betáplálási emulzió-koncentráció: 0,5-5 térfogat%. Az átlagos eltérés kisebb, mint 16 %.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

4.1. Következtetések

1. Az ultraszűrés alkalmas a víz eltávolítására olaj-víz emulzióból. A permeátum fluxusa, az olajvisszatartás és a permeátum kémiai oxigén-igénye (KOI) függ a membrán természetétől (anyag, névleges vágási érték és pórusméret), a membránmodul típusától, a betáplált emulzió komponenseitől és az üzemeltetési körülményektől (olaj-koncentráció, transzmembrán-nyomás, áramlási sebesség és betáplálási hőmérséklet).

2. A polimer UF membránok alkalmazhatók az olajos szennyvíz kezelésére. A vizsgált membránok hidrofíli-hidrofób jellege erősen befolyásolja a permeátum fluxusát a következő sorrendben: Cellulóz > PAN > PES > PVDF. A vágási érték hatása a fluxusra függ az olajkoncentrációtól. Alacsony olajtartalomnál a fluxus nő a vágási értékkel, míg magasabb olajkoncentráció esetén a növekedés elhanyagolható.

3. A transzmembrán-nyomás, az áramlási sebesség és a hőmérséklet növelésével a permeátum fluxusa növelhető. Alacsony emulziókoncentrációnál (0,5 térfogat%) a

gél-polarizáció nem jelentős, a permeátum fluxusa közel lineárisan nő a transzmembrán nyomással. Magasabb emulzió-koncentrációknál (5 térfogat %) a nyomás hatása a fluxusra függ a nyomás nagyságától. Ha a transzmembrán-nyomás nagyobb a kritikusnál, a fluxust csak a gélréteg szabályozza. A vizsgált membránok kritikus nyomása kb. 2-3 bar. Az áramlási sebesség és a hőmérséklet növelésével a fluxus egy bizonyos értékig növelhető a membrán felületének deformálódása és a diffúziós állandó növekedése következtében.

4. Pásztázó Elektron-mikroszkóp és Infravörös technika alkalmazásával vizsgáltam az eltömődött membrán felületét. A membrán eltömődését főként az olajcseppek és a felületaktív anyagok okozzák az ipari olaj-víz emulziók esetében. Az olaj adszorbeálódása a membrán szerkezetében befolyásolja a membrán nedvesíthetőségét és az effektív pórusátmérőt. A membrán regenerálása nátrium-dodecil-szulfát-n-pentanol és víz alkalmazásával végezhető.

5. A méretnövelési kísérletek azt mutatták, hogy nincs szignifikáns eltérés az olaj-visszatartásban és a KOI-visszatartásban a laboratóriumi és a félüzemi méretű berendezés esetében. Az ipari spiráltekerceses membránmodul fluxusa egy kicsit alacsonyabb, mint a lapmembrán-modulé, amely a hidrodinamikai eltérésnek tulajdonítható.

6. A határrétegben kialakuló olajkoncentráció számítására új egyenletet állítottam fel. A membrán felületén lévő gélrétegben az olaj koncentrációja közelítőleg számítható a kritikus nyomás értékétől függően.

7. Exponenciális egyenletet állítottam fel a membrán-eltömődés leírására. A modell segítségével tanulmányozható az üzemeltetési paraméterek (transzmembrán-nyomás, betáplálási koncentráció, hőmérséklet, áramlási sebesség, viszkozitás) hatása a membrán eltömődésére.

4.2 Javaslatok

1. Az ipari olaj-víz emulziók alkalmazásakor sokszor keletkeznek légbuborékok. A buborékoknak az anyagátadásra gyakorolt hatása és a gélréteg kialakulásának tanulmányozása még nagyon széleskörű nyitott kutatási terület.

2. Az ipari olaj-víz emulziókban mindig jelen vannak szilárd szemcsék, mint például forgácsok, homoszemcsék. Célszerű lenne további kutatásokat folytatni két- vagy háromfázisú ultraszűrés vizsgálatára.

5. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK

Cikkek

1. **X. Hu**, E. Bekassy-Molnar, Gy. Vatai, L. Meiszel and J. Olah, Removal of water from oil-water emulsion by ultrafiltration membrane, *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, **24** (2) (1996), 241-246. (Indexed by EI, Impact factor: 0.250)
2. **X. Hu**, E. Bekassy-Molnar, Gy. Vatai, L. Meiszel and J. Olah, The study of oil/water separation in emulsion by ultrafiltration membranes, *Chemische Technik*, **50** (3) (1998), 119-123. (Indexed by SCI and EI, Impact factor: 0.413)
3. Gy. Vatai, E. Bekassy-Molnar and **X. Hu**, Ultrafiltration for separation of oil-water emulsions, *Olaj, Szappan, Kozmetika*, **46** (6) (1997), 228-230 (in Hungarian).
4. **X. Hu** and L. Jiang, Preparation and characterization of oil-containing POM/PU blends, *Journal of Synthetic Lubrication*, **15** (1) (1998), 19-29. (Indexed by EI)
5. **X. Hu**, Friction and wear behaviours of toughened polyoxymethylene blend under water lubrication, *Polymer-Plastics Technology Engineering*, **39** (1) (2000), 137-150. (Indexed by SCI and EI, Impact factor: 0.310)
6. **X. Hu**, Study of friction and wear performance of zinc dialkyldithiophosphate in the presence of trace ketone, *Tribology Letters*, **12** (2002), 67-74. (Indexed by SCI, Impact factor: 1.816)
7. **X. Hu**, E. Bekassy-Molnar and Gy. Vatai, Characterization of gel concentration in ultrafiltration of oil-in-water emulsion, *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, **30** (1) (2002), (in press) (Impact factor: 0.250)
8. **X. Hu**, E. Bekassy-Molnar and Gy. Vatai, Study of ultrafiltration behaviour of emulsified metalworking fluids, *Deslination*, **14***(2002) (to be published) (Impact factor: 0.285).

Előadások (szerző által előadva)

9. **X. Hu**, Gy. Vatai, E. Bekassy-Molnar and L. Meiszel, Development and application of ultrafiltration membrane in the separation of oil-water emulsion, *Proceedings of the Annual Meeting on Technical Chemistry'95*, Veszprém, Hungary, (1995), 80.
10. **X. Hu**, E. Bekassy-Molnar, L. Meiszel, J. Olah and Gy. Vatai, Separation of oil-water emulsion on UF in laboratory and pilot scale, *7th National Congress on Membrane Technology*, Nyergesújfalu, Hungary, (1995).
11. **X. Hu**, E. Bekassy-Molnar and Gy. Vatai, Modeling of membrane fouling during crossflow ultrafiltration of oily wastewater, *Hungarian Annual Meeting on Technical Chemistry'02*, Veszprém, Hungary, (2002).

Posztterek

12. **X. Hu**, E. Bekassy-Molnar, Gy. Vatai and L. Meiszel, Oil-water emulsion separation by ultrafiltration, *12th International Congress of Chemical and Process Engineering*, Praha, Czech Republic, (1996), P 3.56.
13. E. Bekassy-Molnar, L. Meiszel, J. Olah, Gy. Vatai and **X. Hu**, Investigation of ultrafiltration characteristics of oil-emulsions on laboratory and pilot scale units, *7th World Filtration Congress*, Budapest, Hungary, (1996), X42.
14. **X. Hu**, E. Bekassy-Molnar and Gy. Vatai, Evaluation of oil concentration on the membrane surface in ultrafiltration of oil-in-water emulsion, *Hungarian Annual Meeting on Technical Chemistry'02*, Veszprém, Hungary, (2002)
15. **X. Hu**, E. Bekassy-Molnar and Gy. Vatai, Study of ultrafiltration behaviour of emulsified metalworking fluids based on environmental protection, *ICOM 2002, International Congress on Membranes and Membrane Processes*, Toulouse, France, (2002).