

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**Szennyvizek és folyékony halmazállapotú
melléktermékek környezetterhelésének csökkentése
membránszeparációs eljárásokkal**

Kertész Szabolcs

Témavezetők:

Dr. Hodúr Cecilia

egyetemi tanár, PhD

Dr. Szabó Gábor György

egyetemi tanár, az MTA Doktora

Környezettudományi Doktori Iskola
Szegedi Tudományegyetem

2011

1. KUTATÁS ELŐZMÉNYÉNEK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

A globális környezeti problémák megoldásán belül a vízminőség-védelem, az elmúlt évtizedben egyre hangsúlyosabb szerepet kap. A tiszta, iható víz kincs, érték a világon mindenütt. Csökkenő vízkészleteink és vízforrásaink szennyeződése miatt annak minden formáját óvni kell. A felszíni és a felszín alatti vizeinkbe, gyakran nagy mennyiségben kerülnek az élővilágra és környezetére ártalmas anyagok vagy azok származékai. Mind a kommunális-, mind az ipari vízellátási és szennyvízkezelési rendszerek esetében törekednek a víztakarékos üzemeltetésre, ezért egyre nagyobb jelentősége van az elhasznált vizek minél nagyobb arányú tisztításának, visszaforgatásának. A különböző termelői és fogyasztói helyeken keletkező szennyvizek összegyűjtéséről, elvezetéséről és kezeléséről gondoskodni kell az emberi egészség és a környezetünk védelme érdekében. Napjainkban a környezettudatosság a figyelem középpontjába került, ami új követelményeket támaszt az iparban és a szennyvíztisztítás gyakorlatában is. Növekvő igény mutatkozik a szennyvíztisztítás magasabb technológiai színvonalára, az alacsonyabb költségű, energiatakarékos megoldások és tisztább technológiák alkalmazására. Az Európai Unió országokban, így Magyarországon is, az egyre szigorodó egységes környezetvédelmi jogszabályok a szennyvíztisztításban megkövetelik a keletkezett szennyvizek szennyezőanyag tartalmának a befogadóba eresztés előtti csökkentését. A különböző ipari szennyvízkezelési technológiákban világviszonylatban is, egyre szélesebb körben alkalmazzák a membránszeparációs műveleteket, kitűnő leválasztó képességük és gazdaságosságuk miatt. Ezek az eljárások környezetbarát megoldások, miután a membránszűrési technológia, valamint az alkalmazott membrán típusának megfelelő megválasztásával, a kezelési eljárásokban felhasznált vegyi anyagok mennyisége csökkenthető. A nyomáskülönbségen alapuló membránszeparációs eljárások közül az ultraszűrés (*UF*), nanoszűrés (*NF*) és a fordított ozmózis (*RO*) alkalmazása egyes iparágakban újdonságnak számít. Ma már egyre szélesebb körben alkalmazzák ezeket az eljárásokat a különböző eredetű szennyvizek tisztítására.

Doktori értekezésem célja szennyvizek és folyékony halmazállapotú melléktermékek környezetterhelésének csökkentése membránszeparációs eljárásokkal. A szigorú határértékek betartása miatt a membránszeparációs eljárások használata gyakran megkívánja a különböző előkezelések alkalmazását is. Kísérleteimhez a vizsgálati 'alapanyagot' különböző szennyvizekből és ipari melléktermékekből választottam, hogy minél alaposabb tudományos ismeretet szerezzek a

membránszeparációs technológiák ilyen célú felhasználhatóságáról és alkalmazhatóságáról. Munkám során vizsgáltam nehézfém tartalmú modell szennyvizet, detergens tartalmú szennyvizet, tejipari modell és valós szennyvizet és folyékony halmazállapotú melléktermékként pirosribizli présleplenyek extraktumát. A tejipari szennyvizek kiemelt jellegét az magyarázza, hogy Magyarországon a tej, a napi szinten legnagyobb mennyiségben feldolgozott folyékony élelmiszer, és feldolgozása során a mosási, felület-tisztítási és fertőtlenítési ciklusok nagy száma miatt igen nagy mennyiségű tejipari szennyvíz keletkezik.

A dolgozatomban a fentiekén túl vizsgáltam az oxidációs eljárásoknak a membránszűréssel való kombinálásának hatékonyságát is. Ózonos kezeléseket végeztem a membránszűrések előtt és vizsgáltam azok hatását a szennyvizek szűrhetőségre, valamint a visszatartási értékek változására. Mivel a membránszeparációs eljárások alkalmazásának legfontosabb korlátja a membránok eltömődése, munkám során a különböző előkezelések eltömődést csökkentő hatásait is vizsgáltam. Kutatási célkitűzésem volt továbbá a vibráció hatásának vizsgálata tejipari szennyvizek ultra-, nano- és fordított ozmózis membránszűrése esetében. Ennek során tanulmányoztam a vibrációnak a fluxusra, a visszatartási és szűrési fajlagos energiaigény értékeinek változására kifejtett hatását.

A kísérleti munkám célja olyan, iparilag is alkalmazható, hatékony membránszűrési eljárásokat találni, melyek eredményeként kapott, vizek a környezetvédelmi előírásoknak megfelelnek, és biztosítják a tisztított szennyvizek csatornába, megfelelő, előírt határértékek elérése esetén közvetlenül élővizekbe való bejuttatását. Fontos célkitűzés továbbá, hogy a melléktermékek értékes anyagainak kinyerése után a membrános koncentrációs eljárásokkal az értékes sűrítmény további hasznosításának hatásfoka javítható legyen. Az ipari megvalósíthatóság szempontjából fontos követelmény, hogy meghatározzuk a berendezések üzemi paramétereit, ezért a nanoszűrési anyagtranszport folyamat leírására matematikai modellt dolgoztam ki és vizsgáltam annak alkalmazhatóságát. Javaslataim hatékonyságát gazdaságossági elemző számításokkal kívánom igazolni.

Munkám során a következő megoldandó feladatokat azonosítottam:

- ✓ Modell oldatok kritikus micellaképző koncentráció értékeinek vizsgálata a hőmérséklet függvényében. Ismert, hogy a felületaktív anyagot tartalmazó oldatok esetében, egy bizonyos koncentráció érték felett micellák alakulnak ki, amelyek képesek a szennyezőanyagokat megkötni. Ezen micellák mérete

elegendően nagy ahhoz, hogy egy nagyobb pórusméretű, akár ultraszűrő membránnal is hatékonyan visszatartathatók legyenek, vagyis a szennyvizekből a szennyező anyagokkal együtt kiszűrhetők.

- ✓ Az egyes műveleti- (hőmérséklet, nyomás), eljárás- (oldat koncentráció) és berendezés- (membrán pórusméret) jellemzők hatásainak vizsgálata az ipari modell szennyvizek szűrési paramétereinek (fluxus, visszatartási értékek és membrán eltömődés) változására ultraszűréssel. Detergens modell oldatok nanoszűrése esetében a nyomás, hőmérséklet és detergens koncentráció hatásának vizsgálata a fluxus és a visszatartás értékeire.
- ✓ Élelmiszeripari melléktermékből, gyümölcs présleplenyekből extrahált levek sűrítésének vizsgálata nanoszűrő és fordított ozmózis membránokkal. Eltömődés mértékének kísérleti meghatározása az ellenállási értékek és megoszlásuk összehasonlításával.
- ✓ Ózonkezelés és nanoszűrés, mint hibrid szétválasztási módszer alkalmazhatósága tejipari szennyvizek szerves anyag terhelésének csökkentésére. Kísérleti munkám során vizsgálni a membránok fluxus és eltömődési ellenállások változását az ózonozás időtartamának, gázáramlási sebességének és a detergens tartalomnak a hatására.
- ✓ Vibráció alkalmazása a membránszűrések során. Ennek során vizsgálni kívánom a vibráció hatását a fluxusok és visszatartási értékek változására. Különböző üzemmódú (vibrációval és vibráció nélkül) membránszűrési eljárások esetén vizsgálom az eltömődési ellenállások és a szűrési fajlagos energiaigények értékeinek változását.
- ✓ Matematikai modell kidolgozása a nanoszűrési anyagtranszport folyamat leírására. A modell alkalmazhatóságának vizsgálata.
- ✓ Javaslattétel ipari szennyvíztisztítóra membránszeparáció alkalmazásával. A berendezés megvalósításának és gazdaságos üzemeltetésének bizonyítása költségbecslésen alapuló számításokkal.

2. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A kísérleteim első felében a modell oldatok ultraszűréséhez *MEUF* (Micellar-enhanced ultrafiltration) típusú (Millipore), kevertetett laboratóriumi ultraszűrő berendezést használtam, az adatok értékelése a *MODDE 8,0* (Umetrics AB) statisztikai programot alkalmaztam. A *MEUF* berendezéshez felhasznált membránok (Millipore, Amicon *PL*) regenerált cellulóz alapanyagú, 3, 5 és 10 kDa vágási értékűek. A detergens oldatok nanoszűrését *3DTA* berendezéssel (Uwatech GmbH.) végeztem, ahol az adatok értékeléséhez Statistica release 8. programot használtam. A pirosribizlile extraktumok sűrítését *DDS* membránszűrő berendezéssel (*DDS Minilab 20*) *RO* poliamid membránnal, *NF* poliamid membránnal és *3DTA* membránszűrő berendezéssel *NF* és *RO* kompozit membránokkal végeztem. A vibrációs membránszűrést a New Logic International által forgalmazott, L-módba beállított, vibrációs membránszűrő berendezéssel végeztem. A berendezésnél használt membránok: *UF* poliéterszulfon, *NF* kompozit 7000 és 240 Da, míg az *RO* membrán poliamid anyagú 50 Da vágási értékű.

Az ózonkezeléshez az ózont oxigénből állítottam elő (Linde, 3.0) egy korona-kisüléses ózongenerátor (Ozomatic Modular 4, Wedeco) segítségével. A kezelés során adott térfogatú mintán buborékkoltattam át ózontartalmú gázt. Az ózon koncentrációját a bemenő és a kijövő gázban spektrofotometriás módszerrel követtem átáramlásos kvarc-küvetkék segítségével, az ózon elnyelési maximumán, 254 nm-en, UV spektrofotométerrel (WPA Lightwave S2000).

Kísérleteim során modell oldatokat (nátrium-dodecil-szulfát (NaDS), cink-klorid, nátrium-klorid és butanol tartalmú), élelmiszeripari szennyvizeket (tejipari modell és valós szennyvizek), detergens oldatokat (NaDS és *CL80* anionos detergensből), valamint pirosribizli préslepenyek extraktumát vizsgáltam membránszűréssel. A vezetőképesség meghatározásához (Denver Instruments and Consort C535) multimétert használtam.

A kémiai oxigénigény meghatározásához roncsoló blokkot és fotométert (ET 108; Lovibond PC CheckIt) használtam és a *DIN ISO 15705: 2003-01* vizsgálati módszer szerint mértem.

A normál butanolt gázkromatográfiás (Agilent, 6890N) módszerrel mértem. A detergens (*CL80*) mennyiségét a foszfor-molibdentátrék színreakción alapuló UV spektrofotometriás módszerrel (WPA Lightwave S2000) határoztam meg. A cink meghatározásához atomabszorpciós spektroszkópiát használtam (Perkin Elmer 4100).

3. *AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI*

I. *A kritikus micellaképző koncentráció vizsgálatával kapcsolatos új tudományos eredmények:*

1. Bizonyítottam, hogy az elektrolit jelenléte jelentős mértékben csökkenti a kritikus micellaképző koncentráció (CMC) értékét a nátrium-dodecil-szulfát (NaDS) oldatoknál, míg normál butanol hozzáadása ezt a hatást csak kismértékben változtatja meg [1].
2. Megállapítottam, hogy az elektrolit tartalmú NaDS oldatoknál az ellenionok kötődésének értéke (E) jóval magasabb, mint az elektrolit mentes NaDS oldatoké. A NaDS koncentráció növelés hatására a CMC értéknél a vezetőképesség jelentős mértékben megváltozik.

II. *A modell oldatok és szennyvizek vizsgálatával kapcsolatos új tudományos eredmények:*

3. Bizonyítottam, hogy több komponensű, ipari modell szennyvíz ultraszűrése során a magasabb NaDS koncentráció hatására kisebb pórusos eltömődés alakul ki. Kimutattam, hogy az ipari szennyvíz ultraszűrése során a regenerált cellulóz membránok eltömődése nagyobb NaDS koncentrációknál kisebb mértékű, mint kisebb NaDS koncentrációjú szennyvizeknél.
4. Bizonyítottam, hogy detergens tartalmú modell oldatok nanoszűrésénél az eltömődési indexek (k) értékeit legnagyobb mértékben a hőmérséklet befolyásolja, növekedésével az eltömődési index értékek csökkennek.
Az eltömődési indexek értékei között szignifikáns különbség van 20 és 30, valamint 20 és 40°C-on [2].

III. *Folyékony halmazállapotú melléktermékek térfogatcsökkentése NF és RO sűrítéssel kapcsolatos új tudományos eredmények*

5. Bizonyítottam, hogy a poliamid membránok esetében az ellenállási tagok közül a pórusos eltömődési ellenállás járul hozzá legnagyobb mértékben a fluxus csökkenéshez, pirosribizli préslepenyből extrahált levek sűrítésénél. Kompozit nanoszűrő lapmembrán (NF2) esetén a polarizációs réteg ellenállása a meghatározó az eltömődési ellenálláshoz képest, ami összhangban van azzal,

hogy itt mérhető a legkisebb visszatartási érték is, hiszen az eltömődött pórusok nagyobb mértékben tartják vissza az anyagokat [3].

A pirosribizli présleplenyből extrahált levek esetében nanoszűrésnél és a fordított ozmózis esetén egyaránt a membránszűréseket 3 MPa nyomáson végeztem. A fordított ozmózis esetében a maximálisan elérhető szárazanyag-tartalom 6,8 °Brix-nak, míg nanoszűrés esetén 8,9 °Brix-nek adódott.

Bizonyítottam, hogy a kialakult pórusos eltömődési ellenállás mértéke a polarizációs réteg ellenállásához képest (R_F/R_P arány) a legkisebb a kompozit nanoszűrő lapmembrán (NF2) esetén, ami egybecseng a mért legkisebb visszatartási értékekkel ($R\%=62,1\%$), de abszolút értékében nem tért el lényegesen a többi rendszernél kialakult polarizációs réteg ellenállási értékekhez képest. Ha az R_F/R_P arány kicsi, a kialakult polarizációs réteg ellenállása magas a pórusos eltömődési ellenálláshoz képest. A legmagasabb R_F/R_P arány (15,43) az NF1 - poliamid nanoszűrő spiráltekerics membrán - esetén tudott kialakulni, ami azt jelenti, hogy a kialakult polarizációs réteg ellenállásának az aránya a pórusos eltömődéshez képest elhanyagolható.

6. Kísérleteimmel bizonyítottam, hogy a kompozit összetételű, fordított ozmózis lapmembrán (RO2) a leghatékonyabb a folyékony halmazállapotú melléktermékek sűrítésénél. Az RO eljárások közül az RO2 esetében az összes ellenállás értékei fele akkoraak adódtak, mint az ROI- poliamid fordított ozmózis lapmembrán - esetében ($5,33 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-1}$), továbbá az átlagfluxus értékei is magasak ($31,94 \text{ lm}^{-2}\text{h}^{-1}$), a maximálisan elérhető száraz anyag tartalma 6,8 °Brix, és a visszatartása is magas (96,2%). Az összes ellenállási értékeken belül a membrán ellenállási értékei magasak, a polarizációs réteg és az eltömődési ellenállás értékei mindössze 30%-ot tesznek ki.

IV. A hibrid eljárással (ózonkezelés és nanoszűrés) kapcsolatos új tudományos eredmények

7. Bizonyítottam, hogy a membránszűrés előtti ózonkezelés növeli a membrán kémiai oxigénigényre és biokémiai oxigénigényre vonatkoztatott visszatartási értékeit, ami az ózonkezelés mikroflokuláló hatásával magyarázható. A gázáramlási sebességének csökkentésével a kémiai oxigénigényre vonatkoztatott visszatartás értékei kismértékben javulnak, mert a mintákban több ózon tud oldódni. Lazább szerkezetű, de ugyanakkor kompaktabb polarizációs réteg

alakul ki, ami a visszatartási értékek javulását eredményezi. Továbbá bizonyítottam azt is, hogy a detergens tartalom a micellák destabilizálásával a visszatartási értékek csökkenését eredményezi [4].

Bizonyítottam, hogy a tejipari szennyvizeknél a membránszűrést megelőző, kisebb áramlási sebességgel végzett ózonkezelés esetében a mikroflokkuláló hatás jelentősebb, így membránszűrésénél magasabb fluxus értékek és kisebb ellenállási értékek mérhetők. Nagyobb ózon térfogatáram alkalmazása esetén a kialakuló flokkulált részecskék jobban töredeznek, darabolódnak, így könnyebben bejutnak a pórusokba, magasabb pórusos ellenállást kialakítva ezzel, ugyanakkor a kialakuló kompaktabb polarizációs réteg magasabb polarizációs réteg ellenállást okoz [5].

8. Bizonyítottam, hogy a nanoszűrések betáplálási oldalán a detergens jelenléte destabilizálja a mikroflokkulált részecskéket. A detergens-tartalmú minták nanoszűrés fluxusai alacsonyabbnak adódtak a detergens nélküli mintákhoz képest. A kisebb méretű destabilizált részecskék könnyebben bejutnak a membrán pórusaiba, annak eltömítésével pedig növekszik a pórusos letörmődés.

V. Vibrációs membránszűrésekkel kapcsolatos új tudományos eredmények

9. Kidolgoztam egy, a vibrációs hatás kifejezésére szolgáló számológépet. A vibrációs fluxus növekedési ráta (VFN) százalékban adja meg a vibráció alkalmazására bekövetkező fluxus növekedés értékét:

$$VFN = \frac{J_V \cdot 100}{J_{VN}} \quad [\%], \text{ ahol a}$$

J_V a vibráció melletti fluxusok $[\text{lm}^{-2}\text{h}^{-1}]$ és

J_{VN} a vibráció alkalmazása nélküli fluxusok értékei $[\text{lm}^{-2}\text{h}^{-1}]$.

Bizonyítottam, hogy a vibráció alkalmazása a vibráció alkalmazása nélküli üzemmóddhoz képest ugyanazon eljárás paraméterek mellett, kétszeres fluxus növekedést eredményez (a $VFN \approx 200\%$) a szűrések végére ($VRR=5$) az UF az NF és az RO esetében egyaránt.

10. Vizsgáltam a normalizált fluxusok értékeit a membrán felületén kialakuló emelkedő nyíró feszültségek függvényében, és bizonyítottam, hogy a nyíró feszültséget növelve a membrán felületén, növekvő fluxusok mérhetők [6]. UF és NF esetén a különbségek közel azonosak, de RO alkalmazása esetén jóval

alacsonyabbak. A mechanikai vibráció hatása jelentős az *UF* és *NF*, kevésbé jelentős az *RO* műveletek esetében. Alkalmazása nem változtatja meg lényegesen az *RO* membránok fluxusait, de az alkalmazott *UF* és *NF* membránokét igen.

11. Bizonyítottam, hogy a vibráció nagymértékben csökkenti a membrán felületén kialakuló polarizációs réteget, csökkentve ezzel az összes ellenállás értékét. Kísérletileg igazoltam, hogy a polarizációs réteg csökkentésében játszik legnagyobb szerepet a vibráció, ami azt mutatja, hogy a vibráció alkalmazásának előnye leginkább a membrán felületén lerakódó anyagok csökkenésében rejlik [7]. A vibráció csökkentette a pórusos eltömődés ellenállási értékeit is, ami megfelel az eltömődési indexek eredményeinek.
12. Bizonyítottam, hogy a membránszűrések során alkalmazott vibráció hatására a membrán visszatartási értékei javulnak. Igazoltam, hogy a nagyobb pórusméretű membránoknál a visszatartási értékek nagyobb mértékben javulnak, mint a kisebb pórusméretű membránok esetén.
13. Gazdaságossági összehasonlításra alkalmas képleteket dolgoztam ki a vibrációs membránszűrések fajlagos energiaigényének meghatározására (e_V, e_{VN}):

$$e_V = \frac{P_{VM} \cdot \eta_{VM} + P_{SZ} \cdot \eta_{SZ}}{A' \cdot J} \quad [\text{kWhm}^{-3}]$$

$$e_{VN} = \frac{P_{SZ} \cdot \eta_{SZ}}{A' \cdot J} \quad [\text{kWhm}^{-3}] \quad , \text{ ahol}$$

e_V	vibráció melletti szűrési fajlagos energiaigény	$[\text{kWhm}^{-3}]$,
e_{VN}	vibráció nélküli szűrési fajlagos energiaigény	$[\text{kWhm}^{-3}]$,
P_{VM}	vibrációs motor felvett teljesítménye	$[\text{kW}]$,
η_{VM}	vibrációs motor hatásfoka	$[-]$
P_{SZ}	szivattyú felvett teljesítménye	$[\text{kW}]$,
η_{SZ}	szivattyú hatásfoka	$[-]$
A'	membránfelület	$[\text{m}^2]$ és
J	fluxus	$[\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}]$.

A fajlagos energiaigények értékei a vibrációs amplitúdó mértékétől függetlenek, az *RO* esetben a magasabb nyomás és az így kapott alacsonyabb fluxus értékek magas teljesítményértékeket eredményeztek. A szivattyú felvett teljesítménye

lényegesen nagyobb a vibrációs motor fogyasztásához képest. Az *RO* esetben kis amplitúdóknál akár annak kilencszerese.

14. Bizonyítottam, hogy ultraszűrésnél és nanoszűrésnél egy kritikus nyomásérték felett a vibráció alkalmazása gazdasági szempontból előnyösebb a vibráció nélküli üzemmódú membránszűréshez képest. Az *RO* esetében a vibrációs üzemmód fajlagos energiaigényeinek értékei a nyomásemelés hatására minden esetben magasabbak a vibráció nélküli üzemmódhoz képest. A vibráció nélkül a fajlagos energiaigények minden esetben növekedtek, míg vibrációval általában csökkentek a nyomás emelés hatására.

Bizonyítottam, hogy a szűrési fajlagos energiaigények értékei az idő függvényében, vibráció alkalmazása mellett alacsonyabb értékeken állandósulnak, mint a vibráció nélkül. Ez az *UF*-től az *RO* felé haladva egyre szemléletesebb, a különbség egyre nagyobb mértékű. A fajlagos energiaigények az idő függvényében kismértékű, monoton növekvő tendenciát mutattak.

A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ALAPJÁT KÉPEZŐ KÖZLEMÉNYEK

1. **A statistical experimental design for the separation of zinc from aqueous solutions containing sodium chloride and n-butanol by Micellar-enhanced ultrafiltration**

Kertész, Sz., Landaburu-Aguirre, J., García, V., Pongrácz, É., Hodúr, C.*,
Keiski, R. L.

Desalination and Water Treatment **9** (2009) 221-228

2. **Analysis of nanofiltration parameters of removal of an anionic detergent**

Kertész, Sz.*, László, Zs., Hovorkáné-Horváth, Zs., Hodúr, C.

Desalination **211** (2008) 303-311.

IF: 1,155

3. **Concentration of marc extracts by membrane techniques**

Hodúr, C.*, Kertész, Sz., Beszédes, S., László, Zs., Szabó, G.

Desalination **241** (2009) 265-271.

IF: 2,034

4. **Dairy waste water treatment by combining ozonation and nanofiltration**

László, Zs., Kertész, Sz., Mlinkovics, E., Hodúr, C.*

Separation Science and Technology **42** (2007) 1627–1637.

IF: 0,824

5. **Effect of preozonation on the filterability of model dairy waste water in nanofiltration**

László, Zs., Kertész, Sz., Beszédes, S., Hovorkáné-Horváth, Zs., Szabó, G.,
Hodúr, C.*

Desalination **240** (2009) 170-177.

IF: 2,034

6. **Comparison of 3DTA and VSEP systems during the ultrafiltration**

Hodúr, C.*, Kertész, Sz., Csanádi, J., Szabó, G.

Desalination and Water Treatment **10** (2009) 265-271.

7. **Comparison between stirred and vibrated UF modules**

Kertész, Sz., Szép, A., Csanádi, J., Szabó, G., Hodúr, C.*

Desalination and Water Treatment **14** (2010) 239-245.

A DOKTORI TÉMÁJÁBAN MEGJELENT EGYÉB KÖZLEMÉNYEK

8. **Nanofiltration and reverse osmosis of pig manure:
Comparison of results from vibratory and classical modules**
Kertész, Sz.*, Beszédes, S., László, Zs., Szabó, G., Hodúr, C.
Desalination and Water Treatment **14** (2010) 233-238.
9. **Concentration of blackcurrant juice by reverse osmosis**
Pap, N., Pongrácz, É., Kertész, Sz., Myllykoski, E.L., Keiski, R.L., Vatai, Gy.,
László, Zs., Beszédes, S., Hodúr, C.*
Desalination **214** (2009) 256-264.
IF: 2,034
10. **Investigation of Vibratory-shear Enhanced Processing System**
Hodúr, C.*, Kertész, Sz., Csanádi J., Szabó G., László Zs.
Progress in Agricultural Engineering Sciences **5** (2009) 97–110.

A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁHOZ NEM KAPCSOLÓDÓ KÖZLEMÉNYEK

11. **Thermophilic biotrickling filtration of a mixture of isobutyraldehyde and 2-pentanone.**
Luvsanjamba, M., Sercu, B., Kertész, Sz., Langenhove, H.V.*
Journal of Chemical Technology and Biotechnology **82** (2007) 74-80.
IF: 1,426
12. **Élelmiszeripari szennyvíztisztítás membránszűrés és ózonozás hibrid eljárással.**
Kertész, Sz., László, Zs., Szabó, G., Hodúr, C.
Membrántechnika **X./3.** (2006) ISSN 2061-6392, 38-47.
13. **Az élelmiszeripari szennyvizek jellemzői.**
Kertész, Sz.
Transpack **VI./6.** (2006) 56-58.
14. **Detergensek eltávolítása membrántechnikával.**
Mlinkovics E., Kertész, Sz., László Zs., Hodúr C.
Élelmezési Ipar **LX./6-7.** (2006) ISSN: 2061-3954, 177-179.
15. **Tejipari szennyvíz terhelésének csökkentése hibrid módszerekkel.**

Kertész Sz., Molnár A., László Zs., Szabó G.

Élelmiszer Tudomány Technológia **LXIV./4.** (2010) ISSN: 2061-3954, 14-18.

16. **Dairy wastewater purification by vibratory shear enhanced process.**

Kertész Sz., Törteli J., László Zs., Kovács R. V. P., Szabó Sz., Hodúr C.

Proceedings of the conference PERMEA 2010, Tatranské Matliare, Slovakia,
September 4-8, 2010, CD-full article, ISBN: 978-80-227-3339-7, 48–58.

NYILATKOZAT

Alulírott, az alábbiakban felsorolt közlemények felelős szerzője kijelentem, hogy a [3; 4; 5 és 6] publikációk döntő részben Kertész Szabolcs munkájából készültek, ezért indokolt, hogy az ezekben közölt eredményeket a Ph.D. értekezésében felhasználja. A közlemények eredményeit eddig más nem használta fel semmilyen tudományos fokozat megszerzéséhez, és azokat a jövőben sem fogja felhasználni.

3. Concentration of marc extracts by membrane techniques

Hodúr, C.* , Kertész, Sz., Beszédes, S., László, Zs., Szabó, G.

Desalination **241** (2009) 265-271.

IF: 2,034

4. Dairy waste water treatment by combining ozonation and nanofiltration

László, Zs., Kertész, Sz., Mlinkovics, E., Hodúr, C.*

Separation Science and Technology **42** (2007) 1627–1637.

IF: 0,824

5. Effect of preozonation on the filterability of model dairy waste water in nanofiltration

László, Zs., Kertész, Sz., Beszédes, S., Hovorkáné-Horváth, Zs., Szabó, G., Hodúr, C.*

Desalination **240** (2009) 170-177.

IF: 2,034

6. Comparison of 3DTA and VSEP systems during the ultrafiltration

Hodúr, C.* , Kertész, Sz., Csanádi, J., Szabó, G.

Desalination and Water Treatment **10** (2009) 265-271.

Szeged, 2011. 04. 01.

.....

Dr. Hodúr Cecilia
felelős szerző, témavezető
egyetemi tanár, PhD

.....

Dr. Szabó Gábor
témavezető
egyetemi tanár, az MTA Doktora

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Köszönöm a támogatást a kutatási munkámhoz a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005 azonosító számú, „Kutatóegyetemi Kiválósági Központ létrehozása a Szegedi Tudományegyetemen” című projektnek, ami az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg. Köszönöm továbbá az anyagi támogatást az Oktatási és Kulturális Minisztérium 2010/2011 tanévi Deák Ferenc Ösztöndíjnak.



TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005