



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR
OLÁH GYÖRGY DOKTORI ISKOLA

Hulladékvizek környezetvédelmi szempontból történő kezelése fiziko- kémiai módszerekkel

Tézisfüzet

Szerző: Tóth András József

Témavezető: Dr. Mizsey Péter

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék



2015

Bevezetés

Napjainkban a fenntartható fejlődés megvalósításának az egyik legfontosabb feladata a hulladékgazdálkodás. A veszélyes folyékony hulladékok kezelése, visszanyerése és/vagy ártalmatlanítása különböző környezetvédelmi törvények és irányelvek alapján történik. A hulladékkezelés hierarchiájában a legfontosabb pont a veszélyes anyagok regenerációja, ezért a cél az, hogy a technológiában minél kevesebb anyagot és energiát használjunk fel, így a keletkező hulladékot is minimalizálhatjuk [1].

A finomkémiai iparokban az egyik legnagyobb környezetvédelmi problémát a technológiai vizek kezelése jelenti. A technológiai vizeket két csoportra oszthatjuk: bementi és kimentő vizekre, az utóbbiakat nevezik technológiai hulladékvizeknek (PWWs). A disszertáció az utóbbi vizek kezelésével foglalkozik.

Számos vegyipari ágazatban nagy mennyiségű szerves oldószert használnak fel. Ez főként a finomkémiai iparágra vonatkozik, azon belül is a festék-, nyomda- és gyógyszeriparra. Az utóbbi szektornál fontos kiemelni, hogy az alkalmazott oldószerekből nagy mennyiségű hulladék keletkezik. Ez a technológia jellegéből adódik, ugyanis tipikusan a főtermékhez képest nagyon jelentős a melléktermék mennyisége.

A nagy mennyiség mellett továbbá problémát jelent még, hogy a keletkezett hulladékvizek és felhasznált oldószerek sok esetben azeotróp elegyet képeznek. Az eleveniszapos szennyvíztisztításban a mikrobák nem tudják ezeket a technológiai hulladékvizeket átalakítani saját tápanyagukká. Így tehát egy alternatív megoldás szükséges a probléma megoldására.

Környezetvédelmi szempontból leginkább preferált megoldás a hulladékképződés megelőzése. Azonban sok esetben ez az opció nem járható út, ilyenkor a következő kezelési módszerek ajánlottak: minimalizálás, újbóli felhasználás, anyagában történő felhasználás. Az utóbbi kezelési módszerek a csövégi technológiák közé tartoznak. Ezek a csövégi eljárások és fejlesztéseik kiemelkedően fontosak a vegyipar számára.

Számos fiziko-kémiai eljárás alkalmas a technológiai hulladékvizek kezelésére. Ezekkel csökkenthető a vizekben az illékony szerves komponens tartalom (VOC) az adszorbeálható szerves halogén tartalom (AOX) és a kémiai oxigénigény (KOI) [2].

[1] Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020. <http://nkfih.gov.hu/download.php?docID=28337>

[2] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2014

Irodalmi áttekintés

A főbb fiziko-kémiai eljárások a következők: abszorpció, adszorpció, ioncsere, extrakció, bepárlás, nedves oxidáció, sztrippelés, desztilláció és membrános műveletek. A disszertáció az utóbbi három kezelési módszerrel foglalkozik.

Sztrippelés

A fiziko-kémiai módszereknél, a sztrippelés mérnöki gyakorlatában két alternatíva kínálkozik a VOC és az AOX kezelésére: levegős- és vízgőzös sztrippelés. A levegős sztrippelés esetében a vizet is általában a gázfázisba vezetik, ami csökkenti a meleg levegő hőmérsékletét, és ezért csökken a szennyezők illékonysága is.

A technológiai hulladékvizet a kolonna tetejébe, a levegőt, vagy vízgőzt pedig az aljába vezetik be. A szennyezések általában a fejtermékben találhatóak meg, amit desztillátumnak is hívhatunk. A kezelt víz pedig fenéktermékként távozik.

A levegős sztrippelést nem szabad egyedül alkalmazni, mert a kimenő gázok és gőzök a légkörbe kerülhetnek és ennek következtében a szennyezés folyadékfázisból ismét visszakerülhet a levegőbe. Annak érdekében, hogy elkerüljük ezt, a gázokat és a gőzöket kezelni kell. Ezek a módszerek sok esetben sokkal bonyolultabbak, mint a sztrippelés maga [3].

Kevésbé illékony szennyező anyagok kezelésére a vízgőzös sztrippelés egyik alternatívája a levegős/inert gázos sztrippelésnek. Ha vízgőzös sztrippelést használunk, akkor a kisztrippelt illékony komponensek nem lépnek be a légkörbe, le lehet kondenzáltatni és kezelni őket, mint folyadékfázisú desztillátum. A vízgőzös sztrippelés fejterméke, általában a tiszta VOC újrahasznosítható, ami által ez az eljárás a sztrippelés kedvező, környezetbarát, zöld alternatívájának tekinthető [2].

A disszertációban ezeket az alternatívákat vizsgáltam és hasonlítottam össze igazi gyógyszergyári hulladékvizekből történő AOX-vegyületek eltávolítása esetén. A két eljárást az ASPEN Plus® folyamatszimulátor programban modelleztem.

[2] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2014.

[3] Driscoll, T. P.: Industrial wastewater management, treatment and disposal, 3. kiadás, McGraw-Hill, 2008.

Desztilláció

A különböző hulladék oldószer elegyek elválasztására széles körben alkalmazott eljárás a desztilláció. Ennek az az oka, hogy az anyagok újrahasznosítása megvalósítható gyakorlatilag hulladék képződése nélkül. Kivonhatjuk a szerves szennyeződések, újrahasználhatjuk a desztillátum anyagait és ártalmatlaníthatjuk koncentrált formában a szennyezőanyagokat.

A VOC-k desztillációja szignifikánsan csökkenti a technológiai hulladékvizek KOI-értékét. Az AOX-vegyületek is eltávolíthatók desztillációval, azonban a műveletet körültekintően kell végezni. A munka során a cél igazi gyógyszergyári hulladékvizek KOI-értékének és AOX-tartalmának csökkentése volt desztillációval. Laboratóriumi és félüzemi kísérleteket, illetve szennyvíz bírság számításokat végeztem, hogy igazoljam a desztilláció VOC-KOI- és AOX-eltávolító képességét [4].

Néha a desztilláció fenékterméke már nem tartalmaz illékony szerves komponenseket, de ilyenkor a KOI-értéke mégsem éri el az emissziós határértéket. Ebben az esetben további kezelési eljárások alkalmazása ajánlott, pl. a membrános műveletek.

A desztilláció hátránya, hogy egymáshoz közeli forráspontú oldószeres esetén általában az elválasztás nagyon nehéz feladat, illetve az azeotróp elegyek elválasztása nem oldható meg egyszerű desztillációval. Ennek érdekében különböző hibrid elválasztási eljárásokat fejlesztettek ki, mint például az extraktív heteroazeotróp desztillációt (EHAD).

Szanyi [5] bevezetett egy új típusú desztillációt, az EHAD-ot, ami versenyképes és hatékony elválasztási eljárásnak bizonyult az erősen nem-ideális folyadékelegyek elválasztásának területén. Az EHAD kombinálja az extraktív- és a heteroazeotróp desztilláció előnyeit. A heteroazeotróp desztilláció kihasználja az illékonyágkülönbségét és a folyadék fázisokat a kolonnában az ahhoz kapcsolódó dekanterben választja szét. Az EHAD eltér a heteroextraktív desztillációtól, mivel nem képződik új azeotróp, azaz az extraktív ágens/entrainer víz és ez a komponens már jelen van abban az elegyben, amit elválasztunk. Továbbá, az ágens extraktív és relatív illékonyágváltoztató hatása teljes mértékben hasznosul, ezért az egész kolonna extraktív szakasznak tekinthető.

[4] Koczka, K.: Environmental conscious design and industrial application of separation processes, PhD Disszertáció, BME, Budapest, 2009.

[5] Szanyi, Á.: Separation of non-ideal quaternary mixtures with novel hybrid processes based on extractive heterogeneous-azeotropic distillation, PhD Disszertáció, BME, Budapest, 2005.

A kutatás célja két szeparációs struktúra, az EHAD és a két kolonnás desztillációs rendszer (TCDS) [6] összehasonlítása volt modellezéssel és kísérletekkel. Egy terner és egy kvaterner elegyet vizsgáltam: metanol, etil-acetát, víz (1. probléma) és etanol, etil-acetát, metil-etil-ke-ton, víz (2. probléma). Az elegyek és összetételük ipari eredetű, ezek igazi hulladékoldószer elegyek a finomkémiai iparokból.

Membrános műveletek

A membrános műveletek előnye, hogy általában magas a szeparációs teljesítményük, rugalmasak és energia hatékony műveletek. Nagy tisztaságú terméket lehet előállítani velük egy lépésben és nem szükséges az elválasztás javítása céljából történő idegen (szerves) anyagok hozzáadása. A folyamat során fellépő eltömődést és lerakódást meg kell akadályozni. Fontos megemlíteni, hogy a membrános műveletek további eljárások alkalmazása nélkül is képesek az anyagok elválasztására. Környezetvédelmi szempontból előnyösek, mert nem termelnek további hulladékot.

A membrán technológia alkalmazása bevált megoldás a technológiai hulladékvizek kezelésére, mert alkalmas nehézfémek szennyvízből történő eltávolítására, hibrid elválasztási technológia részeként csökkenti a szennyvíz mennyiségét, illetve csökkenti a technológiai hulladékvizek KOI-értékét [7].

Az ultraszűrés (UF), a nanoszűrés (NF) és a fordított ozmózis (RO) alkalmazható különböző ipari szennyvizek KOI-értékének csökkentésére [8]. Ezek a membránműveletek a nyomáskülönbség hajtóerővel működő membránok csoportjába tartoznak, ahol a hajtóerő a membrán két oldala közötti transzmembrán nyomás [9]. Gyógyszergyári hulladékvizekkel a desztillációs fenéktermék KOI-értékének további csökkentése céljából membránszűrési kísérleteket (UF, NF és RO) végeztem.

[6] Mizsey, P.: A global approach to the synthesis of entire chemical processes, PhD Disszertáció, ETH, Zürich, 1991.

[7] Baker, R. W.: Membrane Technology and Applications, Wiley, 3. kiadás, 2012.

[8] Cséfalvay, E.: Membrane operation in the green technology: solvent recovery and process water treatment, PhD Disszertáció, BME, Budapest, 2009.

[9] Béla-finé, Bakó, K.: Membrános műveletek, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2002.

A pervaporáció egy olyan membránművelet, amely során az elválasztandó elegy átpárolg a membrán alacsony nyomású túloldalára és a komponensek közötti elválasztás szorpciós-diffúziós elven valósul meg a membránon keresztül. Az egyik módja a parciális nyomáskülönbség fenntartásának az, hogy a permeátum oldali alacsony gőznyomás eléréséhez vákuumszivattyúval használunk. A permeálódó komponenstől függően kétféle pervaporációt különböztetünk meg, hidrofil és organofil (hidrofób) pervaporációt [7]. A pervaporáció elválasztási folyamatát az oldódás-diffúziós alapelvből származtathatjuk, mivel az „oldódás-diffúziós” modell a leginkább alkalmas a kétrétegű kompozit membránokban a pervaporáció leírására [8].

A gyógyszeriparban aktuális probléma, hogy a hűtővíz köre keveredik és szennyeződik a metanollal. A metanol vizes oldatokból történő eltávolítását vizsgáltam organofil pervaporációval, kereskedelmi forgalomban kapható Sulzer PERVAP™ 4060 és 2211 típusú membránokkal. A mérési eredményeket felhasználva, paraméter illesztést végeztem a tovább fejlesztett Rautenbach-modellhez [9, 10]. Az ipari gyakorlatban a metanol koncentráció általában 0,5 m/m%, de magasabb metanol tartalmak is előfordulhatnak, ezért szélesebb koncentráció tartományt vizsgáltam.

A disszertáció utolsó fejezete szintén ipari eredetű környezetvédelmi probléma: izobutanol kinyerése vizes oldatokból. Organofil és hidrofil pervaporációs kísérleteket végeztem izobutanol–víz elegyekkel kereskedelmi forgalomban kapható Sulzer PERVAP™ 4060 és 1510 típusú membránokkal azért, hogy megvizsgáljam az izobutanol eltávolító képességüket. A kísérleti adatokat felhasználtam a tovább fejlesztett Rautenbach pervaporációs modell illesztéséhez [10]. Hibrid, organofil-hidrofil elválasztási rendszert rigorózusan modelleztem a ChemCAD programmal. Célfüggvénynek a teljes éves költséget választottam, vizsgáltam a rendszer energia fogyasztását is.

[7] Baker, R. W.: Membrane Technology and Applications, Wiley, 3. kiadás, 2012.

[8] Wijmans, J. G., Baker, R. W.: The solution-diffusion model: a review, J. Membr. Sci., 107/1, pp. 1–21, 1995.

[9] Rautenbach, R., Herion, C., Meyer-Blumenroth, U.: Pervaporation Membrane Separation Processes, Elsevier, 1991.

[10] Valentinyi, N., Cséfalvay, E., Mizsey, P.: Modelling of pervaporation: Parameter estimation and model development, Chem. Eng. Res. Des., 91/1, pp. 174–183, 2013.

Kísérleti és számítási módszerek

A disszertációban a folyamatok vizsgálata laboratóriumi kísérletek útján és folyamatszimulációs programok (ChemCAD 6.4.3 5595 és Aspen Plus V8.0 (27.0.0.36)) felhasználásával történt. Az elválasztó rendszereket rigorózan modelleztem és dinamikus programozással optimalizáltam. A számolási eredményeket kísérletekkel verifikáltam. Az ultraszűréses, nanoszűréses, fordított ozmózis és pervaporációs kísérleteket a CM-Celfa Membrantechnik AG P-28 típusú készülékkel végeztem. A desztillációs kísérletek laboratóriumi és félüzemi berendezéseken történtek.

STATISTICA® programcsomagot használtam a paraméter illesztéshez és Douglas-függvényeket [11] a költség számításokhoz.

Az analitikai módszerek a következők voltak: Shimadzu GC-14B típusú gázkromatográfjal vizsgáltam az illékony komponenseket, Hanna HI 904 típusú coulometriás Karl Fischer titrátorral mértem a víztartalmat, a KOI-elemzést az ISO 6060:1991 szabvány szerint végeztem és az AOX-tartalmat Mitsubishi TOX-100-as típusú készülékkel vizsgáltam.

[11] Douglas, J. M.: Conceptual design of chemical processes, McGraw-Hill, 1988.

Eredmények

1 Kutatás a fiziko-kémiai kezelési módszerek területén

Hulladékvizek kezelése sztrippeléssel

Mind a levegős, mind a vízgőzös sztrippelés alkalmas volt az illékony komponensek és az AOX-vegyületek eltávolítására, így mérnöki megfontolás alapján kell dönteni az eljárás kiválasztásakor. Az eredmények egyértelműen azt mutatták, hogy habár a vízgőzös sztrippelésnél használt gőz sokkal drágább a levegőnél, mégis a vízgőzös sztrippelés az olcsóbb a levegős kezelés magas járulékos költségei miatt.

Továbbá a vízgőzös sztrippelés sokkal egyszerűbb eljárás és lehetőség kínálkozik újrahasznosítani a desztillátum illékony szerves komponenseit. Ez a kezelési eljárás is hozzájárul a fenntartható termeléshez azáltal, hogy csökkenthető vele a szerves oldószer felhasználás.

Hulladékvizek kezelése desztillációval

A desztillációt is megvizsgáltam a technológiai hulladékvizek kezelésére. Öt finomkémiai iparból származó hulladék oldószer eleggyel végzett vizsgálatok igazolják a desztilláció alkalmasságát az illékony kémiai oxigénigény (VOC-KOI) és az AOX eltávolítására. Továbbá kiszámoltam, hogy a hulladékvíz kolonnával történő feldolgozása sokkal olcsóbb megoldás, mint annak ártalmatlanítása a bírságok fizetésével. Ezekből következően megállapíthatjuk, hogy a fiziko-kémiai kezelés jobb megoldást jelent gyógyszergyárak számára a technológiai hulladékvizek problémájára. A desztilláció gazdasági szempontból is hatékonynak bizonyult, mert a szennyvízbírságok jelentősen csökkenthetők, illetve a tervezett AOX-vegyületeket eltávolító kolonna felépítése 2 éven belül megtérült.

Membránszűrés alkalmazása a fenéktermék KOI-csökkentése céljából

A membránszűrés (UF, NF, RO) alkalmazása előnyös megoldásnak bizonyult a desztillációs fenéktermék nem-illékony komponenseinek kezelésére abban az esetben, amikor a szürendő hulladékvíz KOI-értéke közel volt a csatornázási határértékhez (1000 mgO₂/L). Amikor nem tapasztaltam lerakódást és eltömődést, akkor eredményesen alkalmazható volt a membránszűrés.

2 Egy új módszer alkalmazása folyadékelegyek elválasztására: EHAD

Az extraktív heteroazeotróp desztilláció alkalmazásával jelentősen javítható az erősen nem-ideális elegyek elválasztása. Az EHAD új területet nyitott a desztilláción alapuló elválasztás technikában. Az eljárás sikerességét korábbi gyakorlati példák is igazolják. Jelen esettanulmányok is alátámasztják kísérletekkel és költségvetésekkel azt, hogy az EHAD az összetett, erősen nem-ideális, víztartalmú elegyek elválasztására sikeresen alkalmazható. Az EHAD egyszerűbbé, költséghatékonyabbá és energetikailag kedvezőbbé teszi desztillációs elválasztást. A számítások alapján az eljárás teljes éves költsége csupán 6%-a volt a kétkolonnás desztillációs rendszernek.

3 Folyadékelegyek elválasztása organofil és hidrofil pervaporáció kombinálásával

Metanol kinyerése vizes oldatokból organofil pervaporációval

A vizsgált organofil membránok paraméterei között kevés eltérés mutatkozott, amikkel jó egyezés figyelhető meg az irodalmi adatokkal összevetve, azonban a pervaporáció teljesítménye nem haladta meg az egyensúlyi desztillációt. A hosszú ideig tartó kísérletek eredményeiből kiderült, hogy a pervaporáció nem alkalmas a metanol vizes oldatokból történő teljes kinyerésére, ezért metanolmentesítésre más technológia alkalmazása ajánlott.

Érdemes megjegyezni, hogy egyensúlyi desztillációval sem lehet teljes mértékben eltávolítani a metanol a vízből, ehhez rektifikálás alkalmazása szükséges. Másfelől ezen a területen a membránfejlesztőknek komoly kihívást jelenthet a pervaporációs membránok szelektivitásának növelése, amivel az elválasztás hatékonysága javulhat.

A paraméter illesztés és a pervaporáció modellezésének eredményei azt mutatták, hogy az tovább fejlesztett modell helyesen írja le a transzport koefficiens koncentráció függését az organofil pervaporáció esetében is, továbbá a modellezés eredményei jobb egyezést mutattak a kísérleti adatokkal, mint az alapmodell esetén.

Izobutanol vízmentesítése organofil és hidrofil pervaporációval

A kísérletek, a további szakirodalmi adatok és a számítógépes szimulációk is azt igazolták, hogy a pervaporációval az izobutanol eltávolítható a vizes oldatokból. A hidrofil pervaporáció elválasztási teljesítménye lényegesen jobbnak bizonyult az organofil pervaporációnál.

A paraméter illesztés eredményei azt mutatták, hogy a tovább fejlesztett modell helyesen írja le a transzport koefficiens koncentráció függését mind az organofil, mind a hidrofil pervaporáció esetében is, továbbá a modellezés eredményei jobb egyezést mutattak a kísérleti adatokkal, mint az alapmodell esetén.

Meghatároztam a hibrid organofil-hidrofil pervaporációs rendszer teljes éves költségét. Az eredmények az mutatták, hogy a pervaporációs modulok beruházási költsége képezi a legnagyobb hányadot a teljes költségben.

Mindkét pervaporációt verifikált és adekvát modell segítségével professzionális folyamatszimulátorban rigorózusan modelleztem.

Az organofil és hidrofil pervaporációk egyidejű vizsgálatai azt mutatták, hogy

- az organofil és hidrofil pervaporátor felülete a limitáló, meghatározó tényező a rendszer beruházási költségében,
- az organofil pervaporáció esetében a membrán felületénél a retentát szerves anyag tartalma a meghatározó,
- a hidrofil pervaporáció esetében a membrán felületénél a retentát víztartalmára előírt határérték a meghatározó,
- a hidrofil pervaporáció szelektivitása lényegesen jobb, ezért az organofil pervaporációs membránok fejlesztése szükséges.

Az esettanulmányban kapott eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy az organofil és hidrofil pervaporációk kombinációja egy meghatározó, jó hatékonyságú hibrid szeparációs technológia, ami vetélytársa lehet a desztillációnak és új területet nyithat a pervaporáció alkalmazásában.

Tézisek

1. Tézis [I, II, III]

Megállapítottam, hogy újrahasznosítási célból rektifikálással, ellentétben a levegős sztripperrel, kinyerhető a gyógyszeripari technológiai hulladékvizekből a diklórmétán. Az eljáráshoz ipari méretű kolonnát terveztem, amely 400 liter hulladékvizet képes feldolgozni óránként és az AOX-vegyületek koncentrációját 8 ppm alá csökkenti.

2. Tézis

Megállapítottam, hogy az extraktív heteroazeotróp desztilláció szerves folyadékelegyek elválasztására egy nagyságrenddel költséghatékonyabban használható, mint más klasszikus elválasztási módszer. Az eljárás teljes éves költsége csupán 6%-a a két kolonnás desztillációs rendszernek.

3. Tézis [IV]

Mérésekkel igazoltam, hogy organofil pervaporációval a metanol kb. ötszörös dúsítással kinyerhető a metanol–víz oldatból. Megállapítottam azt is, hogy a jelenlegi membránok szelektivitása nem elég jó ahhoz, hogy a vizet metanol mentesíteni lehessen, 1,7 m/m% alá nem csökkenthető a metanol koncentráció.

4. Tézis [IV]

Megállapítottam a metanol–víz és az izobutanol–víz rendszerre az organofil pervaporáció modellezésének paramétereit a tovább fejlesztett Rautenbach-modellhez. Az izobutanol–víz rendszert professzionális folyamatszimulátor programban (ChemCAD) is ellenőriztem és a kapott eredmények jó egyezést mutatattak a kísérleti eredményekkel.

5. Tézis

Elsőként modelleztem sikeresen professzionális folyamatszimulátor környezetben (ChemCAD) az organofil és hidrofil pervaporációból álló hibrid szeparációs rendszert, melynek használhatóságát izobutanol–víz elegy elválasztására igazoltam. Ezt a módszert eddig még nem publikálták. Az eredményekből megállapítottam, hogy ez a technológia tökéletesen alkalmas az izobutanol víztől való elválasztására, 99,9 m/m%-os terméktisztaságok elérésére az izobutanol és a víz esetén.

Alkalmazási lehetőségek

A technológiai hulladékvizekből AOX-vegyületeket eltávolító kolonna a tervezések alapján, megfelelően üzemel a gyógyszeriparban. A kolonna négy tudományos díjat is nyert.

A vízgőzös sztrippelés a technológiai hulladékvizekből történő AOX-vegyületek eltávolítására ipari alkalmazásra ajánlott, mert az üzemeltetése sokkal egyszerűbb, mint a levegős sztripper esetében.

Folyadékelegyek elválasztására az extraktív heteroazeotróp desztilláció sokkal egyszerűbb és gazdaságosabb, mint a jelenlegi desztillációs módszerek.

Az izobutanol–víz elegy elválasztására tervezett hibrid organofil-hidrofil pervaporációs rendszer ipari alkalmazásra közvetlenül alkalmas.

A ChemCAD folyamatszimulátor program a metanol–víz és izobutanol–víz elegyekre tovább fejlesztett Rautenbach-modellt integrálta a szoftverkörnyezetébe. Így lehetővé válik a pervaporáció és az ezzel kapcsolt technológiák modellezése a programban.

A kutatási eredmények segítséget nyújthatnak a mérnökök számára kiválasztani a megfelelő fiziko-kémiai eljárást a finomkémiai iparok technológiai hulladékvizeinek kezelése esetén.

Közlemények

Folyóiratcikkek

- I Tóth András József, Gergely Felicián, Mizsey Péter: **Physicochemical treatment of pharmaceutical wastewater: distillation and membrane processes**, Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 55/2., (2011), pp. 59–67.
doi: 10.3311/pp.ch.2011-2.03
(IF: 0.269, C: 25)
- II Mizsey Péter, Tóth András József: **Ipari ökológiai elvek alkalmazása technológiai hulladékvizek fiziko-kémiai módszerekkel történő kezelésénél**, Ipari Ökológia, 1/1., (2012), pp. 101–125.
(IF: -, C: 14)
- III Tóth András József, Mizsey Péter: **Comparison of air and steam stripping: removal of organic halogen compounds from process wastewaters**, Int. J. Environ. Sci. Technol., 12/4., (2015), pp. 1321–1330.
doi: 10.1007/s13762-014-0511-5
(IF: 2.190, C: 4)
- IV Tóth András József, Mizsey Péter: **Methanol removal from aqueous mixture with organophilic pervaporation: Experiments and modelling**, Chem. Eng. Res. Des., 98/6., (2015), pp. 123–135.
doi: 10.1016/j.cherd.2015.04.031
(IF: 2.348, C: 1)

Konferencia előadások

- V Tóth András József (előadó), Gergely Felicián, Mizsey Péter: **Gyógyszergyári hulladékvizek fiziko-kémiai kezelése**, *Műszaki Kémiai Napok*, Veszprém, 2011. április 27–29., pp. 112–113.
- VI Tóth András József (előadó), Mizsey Péter: **Technológiai hulladékvizek AOX- és KOI-értékének csökkentése fiziko-kémiai módszerekkel**, *Magyar Hidrológiai Társaság - XXIX. Országos Vándorgyűlés*, Eger, 2011. július 6–8., interneten publikált 8 oldal
- VII Tóth András József (előadó), Mizsey Péter: **Fiziko-kémiai módszerek a finomkémiai ipar hulladékvizeinek kezelésére**, *Környezettudományi Doktori Iskolák Konferenciája*, Budapest, 2012. augusztus 30–31., pp. 157–164.
- VIII Tóth András József (előadó), Mizsey Péter: **Fiziko-kémiai módszerek gyógyszeripari hulladékvizek kezelésére**, *Professzorok az Európai Magyarországiért Egyesület IV. PhD konferenciája*, Budapest, 2012. november 15., pp. 46–51.
- IX Mizsey Péter (előadó), Benkő Tamás, Cséfalvay Edit, Haragovics Máté, Manczinger József, Nagy Tibor, Tóth András József, Valentinyi Nóra: **Gyógyszergyári hulladékvizek fiziko-kémiai kezelése**, *BME - Richter Gedeon 2. Tudományos Nap*, Budapest, 2012. december 12.
- X Tóth András József (előadó), Mizsey Péter: **Metanol tartalmú gyógyszergyári hulladékvíz kezelése**, *Gazdálkodás és Menedzsment Tudományos Konferencia*, Kecskemét, 2013. szeptember 5., pp. 381–385.
- XI Tóth András József (előadó), Mizsey Péter: **Metanol tartalmú technológiai hulladékvizek kezelése**, *Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kari Tudományos Konferencia*, Sopron, 2013. december 10., pp. 130–134.
- XII Tóth András József (előadó), Angyalné Koczka Katalin, Manczinger József, Mizsey Péter: **Eljárás és ipari berendezés gyógyszeriparban keletkező technológiai hulladékvizek AOX- és KOI-mentesítésére**, *Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség III. Junior Szimpóziuma*, Budapest, 2014. február 6.
- XIII Tóth András József (előadó), André Anita, Benkő Tamás, Mizsey Péter: **Izobutanol tartalmú technológiai hulladékvizek kezelése organofil pervaporációval**, *XIX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka*, Kolozsvár, 2014. március 20–21., pp. 405–408.

- XIV André Anita (előadó), Tóth András József, Benkő Tamás, Mizsey Péter: **Izobutanol-víz elegyek elválasztásának organofil pervaporációs modellezése**, *Műszaki Kémiai Napok*, Veszprém, 2014. május 14–16., pp. pótlap
- XV Tóth András József (előadó): **Szerves folyadékvegyületek kinyerése víz mellől: rektifikálás, pervaporáció**, *Műszaki Kémiai Napok*, Veszprém, 2015. április 21–23., pp. 1.
- XVI Tóth András József (előadó), Szanyi Ágnes, Haáz Enikő, Mizsey Péter: **Komplex oldószerlegyek kezelése extraktív heteroazeotróp desztillációval**, *II. Gazdálkodás és Menedzsment Tudományos Konferencia*, Kecskemét, 2015. augusztus 27–28., elfogadott előadás
- XVII Tóth András József (előadó), André Anita, Haáz Enikő, Mizsey Péter: **Izobutanol vízmentesítése hibrid organofil-hidrofil pervaporációs rendszerrel**, *Innováció a Természettudományban – Doktorandusz konferencia*, Szeged, 2015. szeptember 26., elfogadott előadás

Poszterek

- XVIII Mizsey Péter, Benkő Tamás, Cséfalvay Edit, Haragovics Máté, Angyalné Koczka Katalin, Manczinger József, Nagy Tibor, Pauer Viktor, Tóth András József, Valentinyi Nóra: **Zöld technológiák alkalmazása a fenntartható fejlődésben**, *A mi világunk kémiája szimpózium*, Budapest, 2011. november 25.
- XIX Mizsey Péter, Benkő Tamás, Cséfalvay Edit, Haragovics Máté, Angyalné Koczka Katalin, Manczinger József, Nagy Tibor, Tóth András József, Valentinyi Nóra: **Zöld technológiák a fenntartható fejlődés szolgálatában**, *Jövő Hídja*, Budapest, 2012. szeptember 22.
- XX Tóth András József, Szanyi Ágnes, Mizsey Péter: **Complexities of design of distillation based separation: extractive heterogeneous-azeotropic distillation**, *10th International Conference on Distillation & Absorption*, Friedrichshafen, Németország, 2014. szeptember 14–17., pp. 416–421.

