

Szakmai összefoglaló jelentés

OTKA 76139: Fenntartható fejlődés zöld technológiákkal történő megvalósításának kutatása

Időszak: 2011-02-01 - 2012-01-31

Kutatóhely: Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

(Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem)

Vezető kutató: Mizsey Péter

Kutatási projektünk a fenntartható fejlődés megvalósíthatóságának kutatásába kapcsolódik be. Mivel napjainkban a megvalósítás sikerességét bizonyos területeken vitatják, mert pl. számos természeti erőforrásunkat gyorsabban fogyasztjuk, mint ahogy azok újratermelődnek, ezért kutatni kell, hogy a fejlett zöld technológiák alkalmazásával, hogyan lehet a fenntarthatóságot javítani, megvalósítani.

A projekt keretében három fő területen kutattuk a zöld technológiák olyan alkalmazásait, melyek a fenntartható fejlődés megvalósítása felé visznek:

1. megújuló nyersanyag és energiatermelés,
2. elhasznált természeti erőforrások, nyersanyagok, ill. feldolgozott nyersanyagok valamint energia visszanyerése és újrahasznosítása,
3. elkerülhetetlen emissziók káros hatásának csökkentése, esetleges anyagvisszanyeréssel.

1. Megújuló nyersanyag és energiatermelés

a.) A megújuló energiák közül a biomassza direkt és indirekt hasznosítását vizsgáltuk, és azokat össze is hasonlítottuk. Az indirekt hasznosítás a bioetanol gyártást jelentette. A direkt hasznosítás a tüzeléstechnikai megoldás volt. A kutatás egyértelműen bebizonyította, hogy a direkt

hasznosítás lényegesen jobb termőföld kihasználást jelent. Ennek értéke mintegy tízszerese az indirekt alternatívának¹.

b.) Ennek a témakörnek a keretében kutattuk a membránműveletek alkalmazhatóságát biológiai alapú megújuló nyersanyagok és energiahordozók előállítása Cukorcirok présle betöményítésére alkalmaztunk nanoszűrést és fordított ozmózist. megállapítottuk, hogy a megkívánt 50%-os betöményítés elérhető. Vizsgáltuk a cukorvesztés okait, melyek esetében jelentős szerepe volt a fertőtlenítésnek, illetve elmaradásának^{2,3,4,5,6,7,8}.

A szója főzőlé jelentős mennyiségben képződő értékes komponenseket tartalmazó technológiai folyadék. Ennek membrántechnikai kezelése a betöményítés és a benne rejlő értékes anyagok kinyerésére irányult. Kísérleteink bebizonyították, hogy nanoszűréssel eredményesen elvégezhető ez a kettős művelet^{9,10}. Megállapítottuk továbbá, hogy vákuumban, hőszivattyúval végzett bepárlás nem gazdaságos, tehát ez is erősíti a membránműveletek versenyképességét.

A membránszűrés foszfinok megújuló alapú előállításában is eredményes szerepet játszik¹¹.

Megvalósult ipari tervezésünk van állati táplálék-kiegészítő termék előállításakor keletkező technológiai víz nanoszűréssel történő kezelésére.

1 Mizsey P., L. Racz, Cleaner production alternatives: Biomass utilisation options, Journal of Cleaner Production, Volume 18, Issue 8, May 2010, Pages 767-770 (IF=1.362)

2 Cséfalvay Edit, Barabás Nándor, Géczi Nikoletta, Mizsey Péter, Németh Áron, Tömösközi Sándor, Cukorcirok présle eltarthatóságának vizsgálata, Energiagazdálkodás, ISSN: 0021-0757, 54/1-2 (2013) pp. 9-12 (IF:-)

3 Edit Csefalvay, Viktor Pauer, Peter Mizsey, Separation of Bio-Raw Materials, accepted by Studia Universitatis Babes-Bolyai, SeriaChemia Journal (2012) (IF=0.231)

4 Cséfalvay E., Pauer V., Mizsey P.,: Separation of Bio-raw Materials,, 17th International Conference on Chemistry, Cluj-Napoca, Romania, 2011, p.53., 2011

5 Nagy Renáta, Cséfalvay Edit, Mizsey Péter.: Cukorcirok présle cukortartalmának betöményítése bionyersanyag előkészítéshez,, Membrántechnika és ipari biotechnológia, ISSN: 2061-6392, 2 (2011) pp. 39-51 (IF:-), 2011

6 E. Cséfalvay, R. Nagy, P. Mizsey.: Membrane Technology for the Processing of Sweet Sorghum Squeeze,, CAPE FORUM 2012 (Computer Aided Process Engineering), University of Pannonia, Veszprém, Hungary, 2012, ISBN 978-615-5044-52-6, p. 52, 2012

7 Edit Csefalvay, Renata Nagy, Zoltan Bellus, Peter Mizsey.: Processing of Sweet Sorghum Squeeze Using Membranes, SSCHE 2012, Tatranské Matliare, Slovakia, 2012, ISBN:978-80-89475-04-9, p. 231, 2012

8 E. Cséfalvay, R. Nagy, V. Pauer, P. Mizsey.: Treatment of Biological Raw Materials and Wastes with Membrane Processes,, SSCHE 2011, Tatranska Matliare, Slovakia, 2011, ISBN: 978-80-227-3503-2, p.91., 2011

9 Viktor Pauer, Edit Csefalvay, Peter Mizsey.: Treatment of soy bean process water using hybrid processes,, Central European Journal of Chemistry, ISSN: 1895-1066 (print version), ISSN: 1644-3624 (electronic version), 11/1 (2013) pp. 46-56, 2013

10 Viktor Pauer, Edit Cséfalvay, Péter Mizsey.: Szója főzőlé környezetbarát eljárásokkal történő feldolgozhatóságának vizsgálata, ., Műszaki Kémiai Napok' 11, Veszprém, Hungary, 2011, ISBN: 978-615-5044-07-6, p. 201, 2011

11 E. Cséfalvay, L.T. Mika, P. Mizsey: Membrane Science and Technology Conference of the Visegrad Countries Separation of water-soluble phosphines from inorganic salts by membrane processes, PERMEA 2010, ISBN: 978-80-227-3339-7, p.102. , Tatranska Matliare, Slovak Republic, 2010

c.) A bioüzemanyagok előállításában fontos szerepet játszanak a folyadék-folyadék szeparációs műveletek. Ezek közt a tiszta technológiák közés sorlható pervaporáció kiemelt szerepet kap, mivel csekély az energiafogyasztása és az azeotropia nem befolyásolja működését.

Korábban már hatékony mérnöki modellt állítottunk fel, mely professzionális folyamatszimulátori környezetben is működik¹².

Jelen kutatásunkban a modell alkalmazhatóságát vizsgáltuk bioüzemanyagok és víz elválasztására. Turner elegyre megállapítottuk, hogy a modellben¹² a leginkább permeálódó komponens permeációs konstansai megegyeznek a biner elegyremegmért értékekkel¹³.

Több különböző alkohol (etanol, propanolok, butanolok) és víz esetére továbbfejlesztettük a korábbi modellt¹², ugyanis az szélesebb koncentrációra nem volt kellően pontos. Az új modell képlete:

$$J_i = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{[\overline{D}_i \cdot \exp(B \cdot x_{i1})]}{Q_0 \cdot p_{i0} \cdot \overline{\gamma}_i} \right\}} \cdot \frac{[\overline{D}_i \cdot \exp(B \cdot x_{i1})]}{\overline{\gamma}_i} \cdot \left(\frac{p_{i1} - p_{i3}}{p_{i0}} \right)$$

ahol J_i az i -dik komponens fluxusa (kmol/h)

$\overline{D}_i$ az i -dik transzport koefficiens (kmol/(m²h))

B konstans

Q_0 a membrane porózusos támasztórétegének ellenállása (kmol/(m² h bar))

p_i az i -dik komponens parciális nyomása (bar,kPa)

0 tiszta komponens

1 folyadék, betáplálás oldal

3 gőz, permeátum oldal

x_{i1} az i -dik komponens móltörtje a betáplálásban

$\overline{\gamma}_i$ az i -dik komponens aktivitási koefficiense, betáp és permeátum oldal geometriai átlaga

¹² Mizsey P., Koczka K., Deák A., Fonyó Z., Pervaporáció szimulációja az „oldódás-diffúziós” modellel, Magyar Kémikus Lapja, 60(7) 239-242 (2005)

¹³ Anett Lovasz, Tivadar Farkas, Peter Mizsey: Methodology for modelling of pervaporation: step from binary to ternary mixtures,, Desalination, Volume 241, Issues 1-3, 31 May 2009, Pages 188-196, 2009

Az új modellt többféle alkohol víz elegyre teszteltük. Eredményeinket az új modellel együtt publikáltuk¹⁴. Bioetanol gyártásban szereplő hibrid elválasztó egység, rektifikáló oszlop és pervaporátor, összehasonlítottuk a régi¹² és az új modell pontosságát. megállapítottuk, hogy az új modellel kapott eredmények pontosan leírják az ipari berendezések működési körülményeit, ami jóval nagyobb tervezői biztonságot ad¹⁵.

2. Elhasznált természeti erőforrások, nyersanyagok, ill. feldolgozott nyersanyagok valamint energia visszanyerése és újrahasznosítása

a.) A természeti erőforrások hasznosításának kutatását és a témakörben kapott eredményeket az 1b és 1c. pontban már nagyrészt leírtuk. Megállapítottuk, hogy a biológiai eredetű anyagok feldolgozásánál, illetve a feldolgozásban kapott melléktermékek hasznosításánál a membránműveletek eredményesen és gazdaságosan alkalmazhatók.

b.) Az energia visszanyerése és újrahasznosítása témakörben energiaintegrált rektifikációs struktúrákat tanulmányoztunk, modelleztünk és az energia minél jobb hasznosításában mutatott paramétereiket/hatékonyosságukat összehasonlítottuk.

Három és négykomponensű szénhidrogén elegyeket választottunk. Az energiaintegrált struktúrák:

- hőintegrált kolonnák,
- oldaltermékes oszlop,
- oldaltermékes oszlop csökemencével,
- előpárlásos kolonna,
- direkt sorrend a hőintegrációhoz megnövelt kolonnanyomásokon,
- direkt sorrend, alapeset.

Az energetikai összehasonlításban vizsgáltuk a

- felhasznált energiát,
- emissziót,
- exergiát,
- gazdaságosságot.

Ahhoz, hogy a négy paraméter együttes vizsgálata alapján el lehessen dönteni, hogy melyik a kedvezőbb szeparációs struktúra egy közös alapot kellett választani. Erre a D(desirability)-

¹⁴ Nóra Valentinyi, Edit Cséfalvay, Peter Mizsey,: Modelling of pervaporation: parameter estimation and model development,, Chemical Engineering Research and Design, 2013, Pages 174–183,, 2013

¹⁵ Valentinyi, N., Mizsey, P.: Comparison of pervaporation models in flowsheeting environment,, Procedia Engineering 44 (2012) 2098 – 2101, 2012

függvényt választottuk, mely a négy paramétert egy értékben mutatja. Ez az érték 0-1 tartományban helyezkedik el. Minél közelebb van 1-hez annál kedvezőbb a vizsgált eset.. A D-függvényt a világon elsőként alkalmaztuk a szakmánkban¹⁶. Ezzel egy komplex folyamatlemező metodológiát is javasoltunk, mely a fentebb említett vizsgálatokon és az azokat összegző D-függvényen alapul.

Vizsgálatainkat két elválasztási tisztaságra végeztük el: enyhe elválasztás, szigorú elválasztás.

Kutatásunkban kiemelt szerepet kapott az exergia, azaz a hasznos munkavégző-képesség tanulmányozása¹⁷.

- Megállapítottuk, hogy a csökemencés, külső hőközléses, csökemecés, rektifikálás exergia mutatói kevésbé jók, mint a belső hőközléses rektifikálás, azaz visszaforráló alkalmazása. A hőintegrációhoz szükséges kolonnanyomás-emelés jelentősen rontja a kolonnák exergia mutatóit, a kolonna termodinamikai hatásfokát.
- A hőintegráció javítja a rektifikálás energetikai mutatóit, exergia, elválasztási hatásfok.
- Laza elválasztásnál előtérbe kerül az oldaltermékes oszlop, míg éles elválasztásnál a hőintegrációs kolonna.

Eredményeinket publikáltuk^{18,19}.

c.) Irányítástechnikai kutatásunkban megállapítottuk, hogy az energia- és anyagintegrációra jellemző recirkulációs rendszerek szabályozási struktúrájának tervezése dekomponálható^{20,21}.

A kolonnák irányítástechnikai megoldásainak vizsgálatánál megállapítottuk, hogy a D-függvénnyel aggregált irányítástechnikai mutató, mely magába foglalja a kondíciós számot, a Morari-féle belső szabályozhatósági indexet és a relatív átviteli tényezőket, nem alkalmazható a szabályozási struktúra megtervezéséhez. Ez csak a legjobb irányítástechnikai paramétereket mutató elválasztási struktúra kiválasztására alkalmazható eredményesen^{20,21,22,23}.

¹⁶ Kencse, H., P. Mizsey, Methodology for the design and evaluation of distillation systems: Exergy analysis, economic features and GHG emissions, AIChE Journal, Volume 56, Issue 7, July 2010, Pages: 1776–1786

¹⁷ Hajnalka Kencse, Péter Mizsey: Comprative Study of Energy-Integrated Distillation Systems Based on Exergy Analysis and Greenhouse Gas Emissions, Revista de Chimie; 60, no. 10 / 2009,

¹⁸ Haragovics, M.; Mizsey, P.: Exergy Analysis of Multicomponent Distillation Systems for Efficiency Ranking, Chemical Engineering Transactions, 2012, pp. 29-35, 2012

¹⁹ Haragovics, M.; Mizsey, P.: Ranking of rectification structures separating quaternary mixtures with exergy analysis., Periodica Polytechnica: Chemical Engineering 2012, 56 (1), 31-35., 2012

²⁰ Marcell Horvath, Peter Mizsey,: Decomposability of the Control Structure Design Problem of Recycle Systems, Ind. Eng. Chem. Res., 2009, 48 (13), pp 6339–6345, 2009

²¹ Marcell Horvath, Peter Mizsey: Decomposability Investigations for Control Structure Design of Recycle Systems in the Frequency-domain, Revista de Chimie, 61(7)696-701, 2010

²² Haragovics Máté: Applicability of desirability function for control structure design in frequency domain, Interfaces' 2011, Sopron

Ebben az irányítástechnikai kutatásban az etilbenzol gyártás példáját és energiaintegrált rektifikáló rendszereket vizsgáltuk különböző, ideális és nem ideális elegyekre.

3.) Elkerülhetetlen emissziók káros hatásának csökkentése, esetleges anyagvisszanyeréssel

Minden termelő folyamatnál találkozunk elkerülhetetlen emisszióval. Ez lehet szilárd, folyadék vagy gázhalmazállapotú. Kutatómunkánkban foglalkoztunk

- technológiai hulladékvizek kezelésével, lehetőleg úgy, hogy a bennük lévő szennyező anyagok kinyerhetők és újrahasznosíthatóak legyenek. Elsősorban finomkémiai hulladékvizeket vizsgáltunk,
- füstgázok és biogázok abszorpcióval történő kezelésével, melynek során a szén-dioxidot távolítjuk el MEA-s abszorpcióval.

a.) A hulladékvizek membrántechnikai kezelése

Az ipari gyakorlatban számos olyan hulladékvíz keletkezik, melyben oldott sók találhatók.

Megvizsgáltuk a nehézfém tartalmú hulladékvizek membránszűréssel történő tisztításának megvalósíthatóságát és a réz esetére vizsgáltuk annak visszanyerhetőségét. Megállapítottuk, hogy a nanoszűrés jól alkalmazható a feladatra. A visszanyerés több mint 90%-os. A jelenség matematikai eszközökkel jól modellezhető^{24,25}.

Nem hulladékvizek esetére is vizsgáltuk a membránszűrést. termálvizek kezelésére, sótartalmuk koncentrálására és ezzel bepárlás kiváltására is alkalmasnak bizonyult a nanoszűrés technika²⁶.

²³ Haragovics, M; Kencse, H; Mizsey, P,: Applicability of desirability function for control structure design in frequency domain, Industrial & Engineering Chemistry Research 2012 51 (49), 16007-16015, 2012

²⁴ Edit Cséfalvay, Viktor Pauer, Peter Mizsey,: Recovery of copper from process waters by nanofiltration and reverse osmosis,, Desalination, Volume 240, Issues 1-3, 15 May 2009, Pages 132-142, 2009

²⁵ Mizsey Péter, Benkő Tamás, Cséfalvay Edit, Haragovics Máté, Koczka Katalin, Manczinger József, Nagy Tibor, Pauer Viktor, Tóth András, Valentínyi Nóra:: Zöld technológiák alkalmazása a fenntartható fejlődésben,, A mi világunk kémiája szimpózium, Budapest, 2011. november 25., 2011

²⁶ Csilla Maria Tonko, Andras Kiraly, Peter Mizsey, Gyorgy Patzay, Edit Csefalvay,: Limitation of hardness from thermal water by means of nanofiltration,, Water Science and Technology, 2013, in press, 2013

b.) Finomkémiai illékony szennyezést tartalmazó hulladékvizek fiziko-kémiai módszerekkel történő kezelése témakörben vizsgáltuk

- az illékony szerves oldószerek eltávolíthatóságának lehetséges módszereit,
- a szerves halogénvegyületek eltávolítására alkalmas módszereket.

Az illékony szerves oldószerek (Volatile Organic Compounds, VOC) valamint a szerves halogénvegyületek (Adsorbable Organic Halids, AOX) eltávolítására a levegővel vagy gőzzel történő sztrippelés a műveletileg legmegfelelőbb megoldás. A levegővel történő sztrippelés számos kivitelezési problémát jelent. A folyadékfázisban lévő szennyezést a gázfázisba kell juttatni, majd ezt követően a szennyezet gázt, többnyire levegő, kezelni kell, pl. katalitikus égetővel. Ezután az égéstermék egy gázmosóba kerül, ahol kemoszorpcóval kémiaiilag megkötik. A kemoszorpcióban keletkező anyagot kezelni kell, vagy hulladéklerakóba kell vinni. Mindez mutatja, hogy levegővel, gázzal történő sztrippelés rendkívül körülményes, műveletileg nagyon összetett. Ugyanakkor egy még nem publikált eredményünk szerint drágább is, mint a vízgőzös.

A vízgőzzel történő sztrippelés esetében célszerűbb rektifikálást alkalmazni, mert ilyen esetben a fejtermékben dúsulás is elérhető, ami a kihajtott szerves anyag újrahasznosíthatóságának kedvez.

A jellemzően előforduló illékony szerves anyagok: alkoholok, észterek, éterek, ketonok, szénhidrogének. A szerves halogénvegyületek többnyire különböző klórozott szénhidrogének, mint pl. diklór-metán. Ezen ú.n. VOC komponensek által okozott Kémiai Oxigénigény (KOI) növekedést VOC-KOI-nak neveztük el.

A gyógyszeripari technológiai hulladékvizek feldolgozására rektifikáláson alapuló fiziko-kémiai tisztítási megoldást dolgoztunk ki. Ez a szerves halogénvegyületeket eltávolítja a kívánt határértékig (8ppm) és ugyanakkor az illékony szerves szennyezések által okozott kémiai oxigénigényt (VOC-KOI) is gyakorlatilag nullára redukálja. A két feladat kivitelezése a tisztítandó elegy tulajdonságaitól, összetételétől függ. Tapasztalatum szerint nem szabad a két műveletet összevonni. A rektifikáló oszlop tervezésekor el kell dönteni, hogy mi a cél: VOC-KOI csökkentése vagy az AOX határérték, 8 ppm alá történő vitele. Gyógyszeriparban külön rektifikáló kolonnákban végzik ezeket a feladatokat, de nyilván a VOC-KOI és az AOX alakulását egy-egy beavatkozás után követni kell^{27,28,29,30,31,32}.

²⁷ András József Tóth, Felicián Gergely, Péter Mizsey.: Physicochemical treatment of pharmaceutical process wastewater: distillation and membrane processes,, Periodica Polytechnica, 55/2 (2011), 1-8, 2011

²⁸ Arezoo Mohammad Hosseini, Vince Bakos, Andrea Jobbágy, Gábor Tardy, Péter Mizsey, Magdolna Makó, Antal Tungler.: Co-treatment and utilisation of liquid pharmaceutical wastes,, Periodica Polytechnica-Chemical Engineering (ISSN: 0324-5853) 55:(1) pp. 3-10. (2011), 2011

²⁹ Mizsey Péter: Műszaki kémiai tervezések a zöld technológia jegyében,, Előadás a Magyar Tudományos Akadémián, Varga József -díj és -érem átvételekor (2011), 2011

³⁰ Mizsey Péter: Technológiai hulladékvizek kezelése fiziko-kémiai módszerekkel, Plenáris előadás, Műszaki Kémiai Napok-2011, Veszprém., 2011

Diklór-metán eltávolítására rektifikáló oszlopot terveztünk, melyet egy hazai gyógyszergyár meg is épített. A fenéktermékben nem mérhető a diklór-metán koncentrációja, a fejtermék pedig tiszta diklór-metán. A kinyert diklór-metánt hasznosítani lehet, ill. hulladékégetőbe is vihető, egyéb szennyezettségétől függően.



Diklór-metánt eltávolító oszlop a kutatócsoport eredményei és technológiai tervei alapján (2012)

c.) Füstgázok és biogáz kezelése

Budapesten 2009-ben volt először szmogriadó. Ezzel kapcsolatban, életciklus elemzési adatok alapján, a project vezető kutatója nyilatkozott a Magyar Televíziónak.

³¹ Tóth András József, Gergely Felicián, Mizsey Péter: Gyógyszergyári hulladékvizek fiziko-kémiai kezelése,, Műszaki Kémiai Napok, Veszprém, ISBN 978-615-5044-07-6, p. 112, 2011. április 27-29., 2011

³² Tóth András József, Mizsey Péter:: Technológiai hulladékvizek AOX- és KOI-értékének csökkentése fiziko-kémiai módszerekkel,, XXIX. Országos Hidrológiai Vándorgyűlés, Eger, 2011, http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/29/dolgozatok/toth_andras_jozsef.html, 2011

Az életciklus elemzéssel kapott adatok azt mutatták, hogy a főváros légszennyezettségéért a korszerűtlen fűtési megoldások inkább felelősek, mint a közlekedés^{33,34}.

A fosszilis energiahordozók elégetésekor kapott füstgázok szén-dioxid mentesítése MEA-val egy ismert ipari megoldás. Erre a környezet védelme érdekében van szükség.

Kutatásunk számítógépes modellezésen alapul. Hét különböző eredetű füstgázt vizsgáltunk két esetre:

- állandó füstgáz mennyiségre és
- állandó kazánteljesítményre.

Megállapítottuk, hogy

- a számításokra speciális sebesség kontrollált modell használata eredményes,
- a szén-dioxid kinyerés mértéke 90%-ig nem jelent jelentős energia ráfordítást. Ezen érték felett az energia ráfordítás, ami a deszorpció hőszükséglete, jelentősen és meredeken noni kezd,
- az optimális folyadék-gáz arány egyértelmű kapcsolatban van a füstgáz szén-dioxid tartalmával³⁵

Az optimális folyadék-gáz arány megállapításánál a biogáz szén-dioxid tartalma is egyértelműen mérvado.

Mivel kutatásunk még korai fázisban van, ezért eredményeink publikálása a közeljövőben több fórumon is tovább várható.

Az életciklus elemzés vizsgálatában elméletileg fontos bizonyítást mutattunk be, miszerint a becslés bizonytalansága egységesen kezelhető, és az egyes környezeti hatásvizsgáló módszerek közt egyértelmű és szoros kapcsolat van. Ez a kapcsolat az egyes módszerek alkalmazhatóságát kölcsönösen segíti.

³³ Mizsey Peter: Nyilatkozat a Magyar Televizionak a szmogriadoval kapcsolatban,
http://www.hirado.hu/Hirek/2009/01/12/14/Mizsey_Peter_.aspx, 2009

³⁴ Mizsey Péter: Riasztóak a légszennyezettségi adatok! Hosszú távú megoldást sürgetnek a szakemberek,
<http://www.eduport.hu/cikk.php?id=20313&PHPSESSID=kgcriugomqr>, 2009

³⁵ Nagy Tibor, Dr. Mizsey Péter: Tüzelés utáni CO₂ leválasztás szimulációs vizsgálata, II. Környezet és Energia Konferencia, Debrecen, 2011 november 25-26. konferencia kiadvány: 14-17. old, 2011

4.) Az életciklus elemzés (LCA) alkalmazása az 1-3 pontokban részletezett kutatásokban

Az életciklus elemzés megadja egy termék vagy egy termelő folyamat környezeti hatását. Ezért a zöld technológiák környezeti hatásának vizsgálatára az LCA-t mindig alkalmaztuk²⁵.

A különböző LCA módszerek közt egyértelmű kapcsolatot állapítottunk meg³⁶.

Szmogriadóval kapcsolatos elemzésünkben is az LCA elemzési adatokra támaszkodtunk^{33,34}.

5.) Iskolateremtés a “Zöld technológiák” témakörben

Jelen OTKA kutatási project keretében négy PhD munka született a témában. Ezek a következők:

- Cséfalvay Edit: Membrane operations in the green technology: Solvent recovery and process water treatment, PhD munka, BME, 2009
- Koczka Katalin: Elválasztástechnikai folyamatok környezetközpontú tervezése és ipari alkalmazása, PhD munka, BME, 2009
- Kencse Hajnalka: Complex evaluation methodology for energy-integrated distillation columns, BME, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, 2010
- Horváth Marcell: Recirkulációt tartalmazó vegyipari rendszerek szabályozhatóságának vizsgálata, BME, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, 2010

A felsorolt négy summa cum laude minősítésű PhD munkáknak jelen OTKA project vezető kutatója volt a témavezetője.

³⁶ Mizsey, P. L. Delgado, T. Benko,: Comparison of environmental impact and external cost assessment methods,, Int J Life Cycle Assess (2009) 14:665–675, 2009