



A MEMBRÁNSZEPARÁCIÓ SZEREPE BOROK ALKOHOLCSÖKKENTÉSÉBEN ÉS IPARI ALKOHOLOK DEHIDRATÁCIÓJÁBAN

Doktori (PhD) értekezés tézisei

TAKÁCS LÁSZLÓ

Budapest

2010

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Dr. Fodor Péter,
egyetemi tanár, DSc
Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar
Alkalmazott Kémia Tanszék

Témavezető: Dr. Vatai Gyula
egyetemi tanár, DSc
Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

BEVEZETÉS

A bor egészségre kifejtett jótékony hatását már a borkészítés történetének elején, az ókorban felismerték. Már a bor első írásos emléke, a Biblia is érinti a bor és a hosszú élet kapcsolatát. Napjainkra a francia paradoxon révén világossá vált az összefüggés háttere, ami mögött a borok kardió-preventív szerepe és ennek jelentősége áll.

A borok alkohol kivonásának gondolata ebből a felismerésből és a kardiovaszkuláris kockázatsökkentés társadalmi körének kiszélesítési igényéből származik. Mindez további kedvező fiziológiai járulékként az alkohol negatívumainak kiküszöbölését is magával vonja.

Értekezésemben bemutattam a korszerű membrántechnika helyét és lehetőségeit a borok alkoholcsökkentő eljárásain belül. A témában a borok beltartalmi értékeit megőrző modern szeparációs eljárásokat a matematikai modellezés útján szemléltettem. A membránalapú pervaporatív alkohol kivonás modellezésének lehetősége azonban e vonatkozásban túlmutatott a borok alkohol tartalmának csökkentésén. Ezt vizsgálva a félempirikus képletek általánosításával, alkoholipari környezetbe történő áttünetésével etil-alkohol és izopropil-alkohol abszolútizálásának kérdését elemeztem. Javaslataimban a membránalapú eljárások modellezésének elvét olyan komplex technológiák kidolgozásában foglaltam össze, amelyek a borok alkohol kivonására és a boralkohol együttes abszolútizálására alkalmas integrált membránkezelést foglalnak magukban.

CÉLOK

Értekezésem kutatómunkái az alábbi két nagyobb terület köré összpontosultak, ahol a következő főbb szempontok érvényesítésére törekedtem:

1. Kísérleti munka és matematikai modellezés segítségével borok alkoholtartalmának kivonása, a bor beltartalmi értékét megőrző membránműveletekkel, az alapműveletekre megfogalmazott tervezési összefüggések felhasználásával az eljárás gazdaságossági elemzése és

optimalizálása. A pervaporatív és membrániszűrt termékek analitikai elemzése.

2. A borpervaporáció matematikai modellezésének kiterjesztésével, félempirikus képletek általánosításával komplex borpervaporáció lehetőségének kialakítása. Irodalmi adatok alapján [ATRA és mtsai., 1999a; 1999b] etil-alkohol modelladatok mérési eredményeinek felhasználásával a borpermeátum pervaporációs viselkedésének modellezése. A pervaporatív modellek alkalmazásának vizsgálata izopropil-alkohol pervaporatív víztelenítésénél.

ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Tokaji Hárslevelű alkoholcsökkentésére hidrofób lapmembránon (1060 SULZER) vákuum pervaporációs eljárást alkalmaztam. Meghatároztam a termékek mennyiségét, a pervaporatív eljárás mutatóit, és gázkromatográfiával a borkomponensek megoszlását a termékek között.

A membrániszürési kísérleteket 2^p típusú kísérletterv szerint hajtottam végre KEMÉNY és DEÁK (1993) szerint. Tokaji Hárslevelű diaszüréséhez NF45 típusú, 300 Da vágási értékű nanoszűrő membránt (DOW-FILMTECH) alkalmaztam. Egri Bikavér nanoszürését 400 Da vágási értékű NF200 típusú poli-amid (DOW-FILMTECH) membránon, hiperszürését SWHR 30-80 típusú, 99,4 %-os NaCl₂ visszatartású fordított ozmózis poliamid membránon (DOW-FILMTECH) folytattam.

Etil-alkohol tartalom meghatározására GIBERTINI típusú relatív sűrűségmérő készüléket, a cukortartalom meghatározására Abbé-féle refraktométert alkalmaztam. Izopropil-alkohol és etil-alkohol pervaporációs viselkedésének modellezéséhez, ATRA és mtsai (1999 a, 1999 b) által vizsgált, az azeotróp összetételhez közeli kiindulási koncentrációjú etil-alkohol-víz ill. izopropil-alkohol-víz modellelegyek eredményeit vettem alapul.

EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Kutatásaim során elemeztem Tokaji Hárslevelű pervaporatív alkohol kivonását. A pervaporációs jelenségek és mutatószámok vizsgálata, a matematikai modellek exponenciális kapcsolatával a hőmérséklet szerepének fontosságára mutatott rá.

A borpervaporáció gazdaságossági elemzése a fajlagos előállítási költségek minimalizálását csökkentett alkoholtartalmú boroknál 36,5 °C-ban, míg alkoholmentes boroknál 39,5 °C-ban határozta meg.

Tokaji Hárslevelű és Egri Bikavér membránszűrőkor egy új mutatószám bevezetésével a fordított ozmózis és a különböző nanoszűrő membránok teljesítményének összehasonlítása, a diaszűrés eredményességét igazolta. A polarizációs réteg relatív ellenállására kidolgozott hidrodinamikai modell, a műveleti beállításokon keresztül hívta fel a figyelmet arra, hogy a más-más hajtóerőre vonatkozó elméleti modellek területei egyként kezelhetők.

A borseparációs eljárások termékeinek gázkromatográfiai vizsgálatai rámutattak arra, hogy a bor aroma-összetevői a membránszűrt produktumokban közel egyformán oszlanak meg, míg a borpervaporátum átlagmintáiban a bor aromakészletének 70 %-a jelen van.

Izopropil-alkohol és etil-alkohol modelloldatok irodalmi eredményei, elméleti modellek felhasználásával, a víztelenítésre alkalmazott hidofil membránok anyagátviteli jellemzői tekintetében CMC-CA-01 membrán alkalmasságát igazolták. Az anyagtranszportot vizsgálva, MORA és mtsai. (2003) organofil membránokra tett megállapításai igazolódtak, azaz az anyagátvitelt a vizsgált hidofil membránok esetén is, azok szerkezete határozza meg. Az alkalmazott elméleti modellek kiterjesztésével megállapítást nyert, hogy a víz szelektivitása a betáplálási koncentrációval hiperbola függvény szerint változik, és maximumát végtelen nagy koncentrációnál veszi fel.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Borpervaporációs kísérleteimnél a pervaporatív hőmérséklettel csökkenő összetételben képződött alkoholban szegény bor.

- 1.1. Megállapítottam, hogy a hőmérséklet hatására jobb a borpermeátum fluxusa, viszont romlik az alkoholszelektivitás és szétválasztási tényező. Javul a pervaporációs separációs index, mivel a fluxus emelkedése a hőmérséklettel intenzívebben jelentkezik, mint ahogy a membrán etil-alkohol szétválasztási tényezője romlik.
- 1.2. Meghatároztam az 1060 SULZER típusú pervaporációs membrán aktiválási energiaértékeit, etil-alkoholra: 39,10 kJ/mol, egyéb alkotókra: 43,58 kJ/mol, amelyek alapján félempirikus matematikai modellt állítottam fel. A modellt kiterjesztettem a pervaporatív műveleti jellemzőkre. Megállapítottam, hogy a borpervaporáció jellemzői a hőmérséklettel exponenciálisan változnak az 1.1 pontban leírt módon.
2. A pervaporatív modell segítségével tervezési összefüggéseket fogalmaztam meg, ipari borpervaporációs folyamat beruházási és üzemeltetési költségbecslésének előkészítéséhez.
 - 2.1. Megállapítottam, hogy a bor pervaporatív alkohol kivonásához szükséges membránfelület a hőmérséklettel exponenciálisan csökken, valamint csökkentett alkoholtartalmú bor előállításához, az alkoholmentes borhoz képest kisebb membránfelület is elegendő.

$$A = \frac{\rho_P \cdot V_F}{J_0 \cdot e^{\frac{-E_0}{R \cdot T}} \cdot \tau} \cdot \frac{X_{F,E} - X_{R,E}}{X_{P,E} - X_{R,E}} \quad (1)$$

Ahol:

A – a membrán felülete [m^2],

ρ_P – a permeátum sűrűsége [kg/m^3],

V_F – a betáplált bor térfogata [m^3],

J_0 – a permeátum teljes fluxusának elő-exponenciális faktora [$kg/(m^2h)$],

τ – pervaporáció időtartama [h],

$x_{F,E}$ – a betáplált bor, alkohol-koncentrációja [tömeg %].

$x_{R,E}$ – a csökkentett alkoholtartalmú bor alkohol-koncentrációja [tömeg %].

$x_{P,E}$ – a borpermeátum alkohol-koncentrációja [tömeg %].

- 2.2. Számításaim alapján megállapítottam, hogy magasabb hőmérsékleten gyorsabb a borpermeátum kinyerése, de abban kevesebb, az elválasztás szempontjából kedvező komponens jelentkezik. Továbbá alacsonyabb

hőmérsékleten borretentátumként több végterméket lehet előállítani, mivel ekkor a permeátumba a borból az alkoholon túl további alkotórészek kevésbé pervaporálódnak.

- 2.3. A vizsgált hőmérsékleteken az etil-alkohol összetételbeli különbség miatt több csökkentett alkoholtartalmú bor és kevesebb alkoholmentes bor képződik, ahol azonos kategórián belül a 2.2 pont szerint a hőmérséklettel is változó termékmennyiségek figyelhetők meg.
3. Borsűrítési és diaszűrési kísérleteim alkalmával kísérletterv szerint különböző membránok tesztelését végeztem, a műveleti paraméterek hatását vizsgálva. Összehasonlítottam a fordított ozmózis és a különböző nanoszűrő membránok teljesítményét és megállapítottam, hogy a vizsgált membránműveletek közül a diaszűrési eljárás a legalkalmasabb csökkentett alkoholtartalmú bor készítésére.
- 3.1. Új mutatószámot vezettem be a membránszűrés során fellépő ellenállások bemutatására, melyet a polarizációs réteg relatív ellenállásának neveztem el. A működési paraméterek hatásában megállapítottam, hogy a mutatószám a hajtóerő növelésével magasabb tartományban követi a térfogatáram változásával csökkenő tendenciát. A polarizációs réteg relatív ellenállására hidrodinamikai hasonlósági kritériumok bevezetésével dimenzió nélküli matematikai modellt állítottam fel. Ehhez meghatároztam a vizsgált eljárásoknál Tokaji Hárslevelű és Egri Bikavér borállandóit.

$$\frac{R_p}{R_M} = a \cdot (Eu \cdot Fr)^b \cdot Re^c \quad (2)$$

Ahol:

R_p/R_M – polarizációs réteg relatív ellenállása (állandó hőmérsékleten) [-],

a, b, c – borállandók [-],

Eu – Euler-szám [-],

Fr – Froude-szám [-],

Re – Reynolds-szám [-].

- 3.2. A hidrodinamikai modellt kiterjesztettem a szűrletteljesítményre; megállapítottam, hogy a borpermeátum fluxusa felírható a tiszta víz fluxusának ismeretében, valamint az összefüggés lefedi azokat a

szegmenseket, amelyeket a szakirodalomban fellelhető elméleti modellek külön-külön, más-más hajtóerő vonatkozásában kezelnek.

$$J = \frac{\Delta p_{TM}}{R_M} \cdot \frac{1}{a \cdot (Eu \cdot Fr)^b \cdot Re^c + 1} = \frac{J_{v\acute{z}}}{a \cdot (Eu \cdot Fr)^b \cdot Re^c + 1} \quad (3)$$

Ahol:

Δp_{TM} – transzmembrán-nyomás [Pa],

R_M – a membrán ellenállása [1/m],

J – a borpermeátum fluxusa [kg/m²h]

$J_{v\acute{z}}$ – a tiszta víz fluxusa [kg/m²h].

- 3.3. A koncentráció-polarizáció jelenségét vizsgálva megállapítottam, hogy édes bor mellett (Tokaji Hárslevelű) erőteljesebb koncentráció-polarizáció alakul ki, mint száraz bor (Egri Bikavér) esetén. Továbbá a térfogatárammal a membránon jelenlévő glükóz összetétel változik, azaz a membránon nem alakult ki a gélréteg.
- 3.4. A szakirodalomban fellelhető ozmotikus nyomás modellek illeszkedését vizsgáltam borsűrítési eredményeimre. Megállapítottam, hogy a bor membránszűrésekor kialakuló ozmózis-nyomást a RAUTENBACH és CHERYAN modell szemléletesen leírja, míg a van't HOFF modell nem ad jó közelítést.
4. Gázkromatográfiai vizsgálatokkal elemeztem a bor, valamint a pervaporatív és a membránszűrt termékek összetételét. Megállapítottam, hogy a membránszűrt borretentátumban a bor aromakomponenseinek, mintegy 47 %-a, míg a borpermeátumban az aroma-összetevők 53 % van jelen. Továbbá mindkét termékben ugyanazon összetevők fordulnak elő, viszont a membránszűrt borpermeátumban valamivel nagyobb mennyiségben. A pervaporatív borpermeátumban az aroma-összetevők felhalmozódása 70%-os volt a bor teljes aromakészletére vonatkoztatva.
5. Izopropil-alkohol és etil-alkohol modelloldatok irodalmi eredményei, és a szakirodalomban fellelhető modellek alapján meghatároztam a víztelenítésre alkalmazott hidrofil membránok pervaporatív anyagátviteli jellemzőit.

- 5.1. Megállapítottam, hogy a teljes pervaporatív folyamatban fellépő ellenállás gyakorlatilag a membrán ellenállásával egyezik meg, így az anyagátvitelt, minden esetben a hidrofíli membrán, ill. annak szerkezete határozza meg.
- 5.2. A dehidratáció izopropil-alkohol és etil-alkohol esetében is a legeredményesebben CMC-CA-01 membránon 45 °C-on valósítható meg, ahol a membrán anyagátadási tényezője etil-alkoholra nézve $5,90 \cdot 10^{-7}$ mol/(m²Pas), míg izopropil-alkohol esetében $4,71 \cdot 10^{-7}$ mol/(m²Pas).
- 5.3. Meghatároztam CMC-CA-01, CMC-CE-01 és a CMC-CE-02-es, valamint GFT-2000 típusú hidrofíli membránok pervaporációs mutatóit. Megállapítottam, hogy a csökkenő tápkoncentrációval romlik a permeátum fluxusa és a membrán vízre vonatkoztatott szétválasztási képessége is, valamint a pervaporációs szeparációs index a dehidratáció előrehaladtával csökkenő tendenciát követ.
6. Egy leíró matematikai modellt állítottam fel, mely kiterjed a pervaporatív fluxus és szelektivitás bemutatására is. Megállapítottam, hogy a víz szelektivitása a betáplálási koncentrációval az 5.3 pontban leírtak alapján hiperbola függvény szerint változik, és maximumát végtelen nagy koncentrációnál veszi fel.

$$\beta_i = \frac{1}{(1 - x_{F,i}) \cdot (\Psi - 1) + 1} \quad \Psi = \frac{Q_{M,j} \cdot \gamma_j \cdot P_j^0 \cdot \rho_{L,j} \cdot M_i}{Q_{M,i} \cdot \gamma_i \cdot P_i^0 \cdot \rho_{L,i} \cdot M_j} \quad (4)$$

Ahol:

β_i – „i” komponens szelektivitása [-],

$x_{F,i}$ – „i” komponens kiindulási összetétele [kg/kg].

Ψ – állandó [-],

$Q_{M,i}$ – a parciális gőznyomás hajtóereje mellett „i” komponens anyagátadási együtthatója a membránon [mol/(m²Pas)],

$Q_{M,j}$ – a parciális gőznyomás hajtóereje mellett „j” komponens anyagátadási együtthatója a membránon [mol/(m²Pas)],

γ_i – „i” komponens aktivitási tényezője [-],

γ_j – „j” komponens aktivitási tényezője [-],

P_i^0 – „i” komponens telített gőznyomása adott hőmérsékleten [Pa],

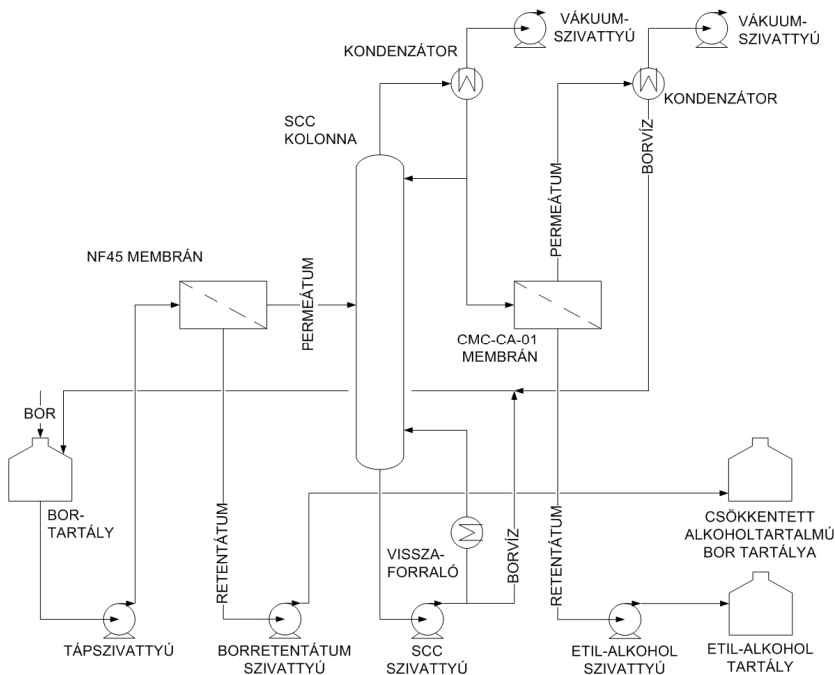
P_j^0 – „j” komponens telített gőznyomása adott hőmérsékleten [Pa].

M_i – „i” komponens móltömege [kmol/kg],

M_j – „j” komponens móltömege [kmol/kg],

KÖVETKEZTETÉSEK

A borszeparációs membránjelenségek vizsgálatával, irodalmi adatok elemzésével, matematikai modellek és tervezési összefüggések kidolgozásával javasolt, boralkohol kivonás és dehidratáció membránalapú komplex technológiája számos olyan előnyt vetít elénk, ami ipari megvalósítását indokolja. A technológia környezettudatos üzemeltetést von maga után, alkalmazásával nem képződik szennyvíz, mivel a borvíz visszaforgatható a rendszerbe, vagy a végtermékhez vezetve egyszerre növeli a termelékenységet és javítja a bor beltartalmi értékét.



1. ábra. Bor alkoholcsökkentés és boralkohol-dehidratáció komplex technológiája diazüréssel.

Míndezt figyelembe véve a XXI. századi technológiai követelményeknek megfelelő eljárás, a csökkentett alkoholtartalmú, ill. alkoholmentes borok minőségi evolúciójában fontos szerepet tölthet be.

ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT KÖZLEMÉNYEK

IMPACT FAKTOROS CIKKEK

- **László Takács**, Gyula Vatai, Kornél Korány (2007): Production of alcohol free wine by pervaporation, *J. Food Engineering* 78, p. 118-125.
- **L. TAKÁCS**, Gy. VATAI (2008): Mass Transfer Characteristics of Isopropanol Pervaporative Dehydration through CMC-CA-01 membrane, *Hungarian Journal of Industrial Chemistry Veszprém*, Vol. 36 (1-2) pp. 119-123.
- **TAKÁCS, L.**, VATAI G., KORÁNY, K. (2010): Process Modelling and Chemical Analysis in Case of Nano- and Diafiltered Wines, *Acta Alimentaria An International Journal of Food Science*, DOI 10.1556/AAlim.2010.0001, Online ISSN 0139-3006.
- **TAKÁCS, L.**, VATAI GY. (2010): Modelling of pervaporative dehydration of isopropyl-alcohol on hydrophilic membranes, *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 24 (4), (közlésre elfogadva).

LEKTORLÁLT CIKK

- **László Takács**, Gyula Vatai (2006): Osmotic pressure modeling of white wine diafiltration and red wine concentration by reverse osmosis, *Progr. in Agricultural Engng. Sciences* 2, p. 119-132

KONFERENCIAKIADVÁNYOKBAN MEGJELENT TELJES TERJEDELMŰ KÖZLEMÉNYEK

- Gy. Vatai, **L. Takács** (2007): Alcohol dewetering by pervaporation: modelling of separation, *PERMEA 2007, Membrane science and technology conference of Visegrad countries, Hungary, 2007. 09. 2-6.*
- Vatai, Gy., **Takács L.** (2007): Ipari fermentlevek alkohol kivonása pervaporációval: a szétválasztás modellezése és tervezése, *XXXI. MTA-AMB Tematikus kutatási és fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, 2007. 01. 23. /Poszter + Teljes anyag CD-n/*

- **Takács L.**, Vatai Gy. (2002): Membránszűrés alternatív borászati alkalmazása. Műszaki Kémiai Napok'02, Konferenciakiadvány 149-154, Veszprém.
- **Takács László** (2002): Borital előállításának membrántechnikai tervezése, MÉTE OTDK, Konferenciakiadvány, 2002. ápr. 25-26, SZTE, Szegedi Élelmiszeripari Főiskolai Kar, 185-188 o.

KONFERENCIAKIADVÁNYOK ÖSSZEFOGLALÓI

- Kiss I., **Takacs L.**, Vatai Gy., Bekassy-Molnar E.(2002): Removal of alcohol from wine by using membrane separation processes. CHISA'2002 Int. Congr. of Chem. and Proc. Engng. Prague, Czech Rep.,Poster 1076
- Vatai Gy., Bekassy-Molnar E., **Takacs L.**, Kiss I., Korany K. (2003): Application of membrane technology for separation of wine components. PERMEA 2003 Membrane Science and Technology Conf. Proceedings p.55, Tatranske Matliare, Slovakia
- **László TAKÁCS**, Gyula VATAI (2005): Osmotic Pressure Modelling in case of Membrane Filtration of Different Wines, PERMEA 2005 Conference, Poland, POSTER
- Mora M. J., **Takács L.**, Vatai Gy., Békássyné Molnár E. (2003): Ozmózisnyomás modellezése fordított ozmózissal történő szennyvíztisztítás során. Műszaki Kémiai Napok '03, Előadás összefoglalók 89. old., 2003 ápr. 8-10, Veszprém.
- **TAKÁCS L.**, VATAI Gy. (2008): Izopropanol pervaporatív dehidratációjának modellezése különböző hidrofíli membránokon, Műszaki Kémia Napok, 2008. április 22-24., Konferenciakiadvány, előadás összefoglaló, 242 o

FONTOSABB HIVATKOZÁSOK

Production of alcohol free wine by pervaporation, LÁSZLÓ TAKÁCS, GYULA VATAI, KORNÉL KORÁNY, JOURNAL OF FOOD ENGINEERING, 78, p. 118-125, JAN. 2007., Available online 2 November 2005.

- DIBAN, N., ATHES, V., BES, M., SOUCHON, I. (2008): Ethanol and aroma compounds transfer study for partial dealcoholization of wine using membrane contactor, *Journal of Membrane Science* 311, 136–146 p.
- LELAND M. VANE (2008): Separation technologies for the recovery and dehydration of alcohols from fermentation broths, *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, Volume 2 Issue 6, Pages 553–588.
- CLARA CASADO COTERILLO, ANA MARÍA URTIAGA MENDIA AND INMACULADA ORTIZ URIBE (2008): Pervaporation and Gas Separation Using Microporous Membranes, *Membrane Science and Technology*, Volume 13, Pages 217-253.
- INORGANIC MEMBRANES: SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND APPLICATIONS, 13 Edited By Reyes Mallada Miguel Menéndez, European Membrane Society, Elsevier (2008), ISBN 0444530703, 9780444530707.
- NAZELY DIBAN GÓMEZ (2008): Separación de aromas en etapas del procesado de zumos de frutas y bebidas, Memoria de tesis para optar al grado de Doctor, Universidad de cantabria, Santander, Spain.
- WINE SCIENCE: PRINCIPLES AND APPLICATIONS, Edited by Ronald S. Jackson, Academic Press, (2008), ISBN 0123736463, 9780123736468.
- SATIT VARAVUTH, RATANA JIRARATANANON & SUPAKORN ATCHARIYAWUT (2009): Experimental study on dealcoholization of wine by osmotic distillation process, *Separation and Purification Technology*, Volume 66, Issue 2, 20 April 2009, Pages 313-321.
- LOREDANA LIGOURI (2009): Oenology innovation: partial and total dealcoholization of wines, 14th Workshop on the Developments in the Italian PhD Research on Food Science Technology and Biotechnology - University of Sassari,Oristano, September 16 – 18, 2009.

- JORDI LABANDA, STEFANIA VICHI, JOAN LLORENS AND ELVIRA LÓPEZ-TAMAMES (2009): Membrane separation technology for the reduction of alcoholic degree of a white model wine LWT- Food Science and Technology, Volume 42, Issue 8, October 2009, Pages 1390-1395.
- MARGARIDA CATARINO, ANTÓNIO FERREIRA AND ADÉLIO MENDESA (2009): Study and optimization of aroma recovery from beer by pervaporation, Journal of Membrane Science Volume, 341, Issues 1-2, Pages 51-59.
- HELEN THEODOROPOULU, DESPINA SDRALI (2009): Consumers's decision-making process and purchasing behaviour for wine in the Island Lefkada, Making a difference putting consumer citizenship into action, The sixth CCN international conference, March 23rd – 24th, 2009, Berlin.
- B.S. CHANUKYA, NAVIN K. RASTOGI (2010): Extraction of alcohol using emulsion liquid membrane consisting of paraffin oil as an organic phase and lecithin as a surfactant, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, Volume 85 Issue 2, Pages 243 – 247.
- SHUJUAN TAN, LEI LI, ZHIBING ZHANG AND ZHENYING WANG (2010): The influence of support layer structure on mass transfer in pervaporation of composite PDMS–PSF membranes, Chemical Engineering Journal, Volume 157, Issues 2-3, Pages 304-310.
- LOREDANA LIGUORI, GERARDINA ATTANASIO, DONATELLA ALBANESE, MARISA DI MATTEO (2010): Aglianico Wine Dealcoholization Tests, 20th european symposium on computer aided process engineering – escape20, © 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.
- BEN BETTENS, ADRIAN VERHOEF, HENK M. VAN VEEN, CARLO VANDECASSTEELE, JAN DEGRÈVE AND BART VAN DER BRUGGEN (2010): Pervaporation of binary water–alcohol and methanol–alcohol mixtures through microporous methylated silica membranes: maxwell–stefan modeling, Computers & Chemical Engineering, In Press, Corrected Proof, Available online 3 April 2010.

Osmotic pressure modelling of white wine diafiltration and red wine concentration by reverse osmosis, LÁSZLÓ TAKÁCS, GYULA VATAI, Progr. in Agricultural Engng. Sciences 2, p. 119-132, 2006.

- CECILIA HODÚR, SZABOLCS KERTÉSZ, JÓZSEF CSANÁDI, GÁBOR SZABÓ, ZSUZSANNA LÁSZLÓ (2009): Investigation of Vibratory Shear-Enhanced Processing System, Progr. in Agricultural Engng. Sciences, Volume 5, 97-110.

IRODALOMJEGYZÉK

- ATRA, R., VATAI, GY., BÉKASSY-MOLNAR, E (1999a): Isopropanol Dehydration by Pervaporation, Chemical Engineering and Processing 38, 149-155 p.
- ATRA R., VATAI Gy., BÉKÁSSY-MOLNÁR, E. (1999b): Ethanol Dehydration by Pervaporation, Hung. J. Ind. Chem., 27, 143-149 p.
- KEMÉNY, S., DEÁK, A. (1993): Mérések tervezése és eredmények értékelése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- MORA, J. M., MESZAROS, P., VATAI, GY., BÉKÁSSY-NÉ-MOLNÁR, E. (2003): Eliminación del etil-alkohol de solución modelo y del agua residual farmacéutica por pervaporación, Tecnología en Marcha N° 16-1.