



**KOMPLEX MEMBRÁNTECHNIKAI ALKALMAZÁS ÉS MODELLEZÉS  
KAJSZIBARACKLÉ FELDOLGOZÁSÁRA**

*Doktori (PhD) értekezés tézisei*

**FOGARASSY ESZTER**

**Budapest**

**2012**

## 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:** Békássyné Dr. Molnár Erika  
professzor emeritus, 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, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.



Az iskolavezető jóváhagyása



A témavezető jóváhagyása

## A munka előzményei, a kitűzött célok

A táplálkozási szokások világszerte bekövetkező változásainak eredményeképpen egyre fokozódik az igény a szervezet számára nélkülözhetetlen vitaminokban és ásványi anyagokban gazdag gyümölcsök fogyasztása iránt. A gyorsfagyasztott készítmények mellett igen jó lehetőséget kínálnak ennek biztosítására a korszerű technológiával, a nyersanyag eredeti tulajdonságainak megőrzésével előállított gyümölcskészítmények (gyümölcslevek, gyümölcs-sűrítvények).

A Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék kutatócsoportja számos kutatást végez különböző gyümölcs-sűrítvények előállítására (málna, fekete ribizli, pirosribizli, szőlő, meggy, bodza, kajszibarack). A kísérletek alapján elmondható, hogy a technológiai folyamatokban minden gyümölcs másképpen reagál a sűrítési eljárásokra, így felmerült annak szükségessége, hogy minden alapanyagot külön kell vizsgálni.

Jelen tanulmányban a csonthéjas kajszibarackot vizsgáltam, mely sok szempontból eltérő tulajdonságokkal rendelkezik, mint az említett bogyós gyümölcsök. A kajszibarack rendkívül kedvező élettani hatású, kellemes ízű és szívesen fogyasztott, feldolgozott gyümölcsünk. A gyümölcs friss fogyasztásának ideje rövid, a fajtától függően maximum néhány hét, mivel nagyon gyorsan érik és puhul. Fogyaszthatósági idejének megnyújtása indokoltá teszi a gyümölcs értékes összetevőit megőrző, alternatív tartósítási mód kidolgozását.

Munkám fő céljai:

- Olyan jó minőségű kajszibaracklé sűrítvény előállítása kombinált membrántechnikával alacsony hőmérsékleten, ahol a lehető legkisebb értékes anyag veszteség mellett, a legjobban megtartva a magas összantioxidáns kapacitást (FRAP), összes polifenol-tartalmat (FCR), C-vitamint, és savtartalmat tudjak elérni.
- Előbbiek megvalósításához a legcélszerűbb technológiai sor összeállítását meghatározni úgy, hogy a műveleti paraméterek transzmembrán nyomáskülönbség ( $\Delta p_{TM}$ ), recirkulációs térfogatáram ( $Q_R$ ), hőmérséklet (T) helyes megválasztásával a gazdaságos termelés biztosítható legyen.

## Anyagok és módszerek

A laboratóriumi és félüzemi kísérletek elvégzéséhez Magyar Gönczi kajszibarackot használtam. A pektinbontáshoz hatásvizsgálatot végeztem és a legjobb lékihozatalt és kedvező kezelési paramétereket a Pectinex YieldMASH enzimmel értem el, így ezt használtam a lé kinyeréséhez.

Sokféle membráneljárást nyolcféle komplex kapcsolásban vizsgáltam. A legértékesebb terméket a következő műveletsor biztosította:

Az enzimkezelt gyümölcslevet mikro- (SCHUMASIV, 0,45  $\mu$ m) és ultraszűrő (37.03 I8, 100 kDa) membránnal tükrösíttem. Ezután a tükrös levet nanoszűrő (TS80,  $R_{NaCl}=80\%$ ) valamint fordított ozmózis (ACM2,  $R_{NaCl}=93\%$ ) membránok segítségével sűrítettem be 20-25 °Brix szárazanyag-tartalomig, majd ezt követte a végtöményítés ozmotikus desztilláció és membrándesztilláció segítségével (MD020CP2N hidrofób) 60-65 °Brix szárazanyag-tartalomig.

Az egyes műveleti fázisokban vizsgáltam a műveleti paraméterek hatását, mint transzmembrán nyomáskülönbség, hőmérséklet és recirkulációs térfogatáram.

A hőmérsékletingadozás kiküszöbölésére hűtőrendszert terveztem, amit előkísérletek sora alapozott meg.

A laboratóriumi mérések alapján kiválasztottam a legkedvezőbb műveleti paramétereket. A javasolt kapcsolat és paraméterek mellett félüzemi kísérleteket is végeztem.

Analitikai vizsgálatokkal határoztam meg valamennyi minta összetételét, mértem a sűrítmények és permeátumok szárazanyag-, összes fenol-, C-vitamin, összes savtartalmát valamint antioxidáns kapacitását.

## Új tudományos eredmények

A kajszibarack és a belőle készült gyümölcslé sok értékes komponenst tartalmaz, melyeknek számos kedvező élettani hatása ismert. A hagyományos bepárlásos besűrités hőhatása károsítja a kajszibaracklében lévő értékes anyagokat, ugyanakkor a kombinált membrántechnika alacsony hőmérsékleten végezhető és kíméletes besűritési eljárás.

**1. Kísérleteim alapján egy háromlépcsős technológia: mikroszűrés (MF), fordított ozmózis (RO) és ozmotikus desztilláció (OD) összekapcsolásának alapjait dolgoztam ki pektinbontott kajszibaracklé besűritésére, amellyel 20-25 °Brix koncentrációjú felsűritmény és 60-65 °Brix szárazanyag-tartalmú végsűritmény állítható elő.**

A végsűritmény, tartalmaz C-vitamint, cukrokat és antioxidáns-kapacitása és összes polifenol-tartalma is többszöröse az eredeti lének. Fogyasztható

sűritményként, vízzel visszahígítva, rosttal visszakeverve, vagy gyümölcskészítmények alapanyagaként.

2. A friss kajsziaracknak pektintartalma miatt **pektinbontó enzim**es kezelésre van szükség, ahol kutatásaim szerint kajsziilé esetére a Pectinex YieldMASH enzim alkalmazható a legeredményesebben.

3. **Laboratóriumi kísérleteket** végeztem a választott membránműveletek nyolc különböző kapcsolásának vizsgálatára, és a kapcsolások hatékonyságának összehasonlítására (18. ábra).



18. ábra: Lehetséges kapcsolások

**3.1. Tükrösítés:** A kajsziilé tükrösítésére mikroszűrő (MF) membránt (0,45  $\mu\text{m}$  pórusméret, Pall gyártmány), és ultraszűrő (UF) membránt (100 kDa-os vágási érték, Berghof gyártmány) használtam. A mikroszűrés fluxusértékei magasabbak voltak az ultraszűréshez viszonyítva, értékes anyag vesztesége is minimális volt, ezért a mikroszűrés alkalmazása javasolható.

Mikroszűrés során a kezdeti fluxus 25°C esetén 26 L/(m<sup>2</sup>h)-ről, 30°C esetén 38 L/(m<sup>2</sup>h)-ről, és 35°C esetén 65 L/(m<sup>2</sup>h)-ről indult. A térfogatáram növelésével a kezdeti fluxus 300 és 500 L/h recirkulációs térfogatáram között 35°C-on 19 L/(m<sup>2</sup>h)-ről 65 L/(m<sup>2</sup>h)-ra, 300 és 500 L/h között 30°C-

on 13,5 L/(m<sup>2</sup>h)-ről 38 L/(m<sup>2</sup>h)-ra, míg 300 és 500 L/h között 25°C-on 15 L/(m<sup>2</sup>h)-ről 25 L/(m<sup>2</sup>h)-ra nőtt. 100 és 300 L/h óra között mindhárom hőmérsékleten a fluxusban jelentős változás nem volt tapasztalható.

Ultraszűrés esetén a kezdeti fluxusértékek 25-30°C között 9,5 L/(m<sup>2</sup>h)-ről 12 L/(m<sup>2</sup>h)-ra, 30-35°C között 12 L/(m<sup>2</sup>h)-ről 16,5 L/(m<sup>2</sup>h)-ra növekedtek. A térfogatáram emelésével a fluxus 140%-kal mutatott jobb értéket.

**3.2. Előszűrés:** Az előszűrésnél a fordított ozmózis (RO) és nanoszűrő (NF) membránokat alkalmaztam. RO membránnal (sóviisszatartás 93%, Trisep gyártmány) 20-25 °Brix szárazanyag-tartalmat értem el, NF membránnal 14-18 °Brix-et (sóviisszatartás 80%, Trisep gyártmány). Fordított ozmózisnál és nanoszűrésnél a műveleti paramétereknek nem volt jelentős hatása a szűrletfluxusra.

**3.3. Végsűrités:** A végsűritésnél az ozmotikus desztillációt (OD) és a membráendesztillációt (MD) hasonlítottam össze.

Ozmotikus desztilláció esetén a műveleti paramétereknek nem volt jelentős hatása. Membráendesztillációs csöves modul fluxusértékeit összehasonlítva az ozmotikus desztillációs csöves modullal a kezdeti fluxus  $0,7 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$ -ról  $1,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$ -ra növekedett.

A végsűritésnél az ozmotikus desztilláció javasolt, mivel magasabb fluxusérték mellett, alacsonyabb üzemeltetési paraméterekkel működtethető.

**3.4. Komplex rendszer:** A kajsziaracklé-sűritmény előállítására a mikroszűrés (MF) – fordított ozmózis (RO) és ozmotikus desztilláció (OD) komplex rendszer eredményesen alkalmazható.

**4. A félüzemi kísérletekhez** mikroszűrést ( $0,45 \mu\text{m}$  pórusméret, Microdyn gyártmány), fordított ozmózist (sóvisszatartás 97%, MFT Köln gyártmány), ozmotikus desztillációt (hidrofób,  $0,2 \mu\text{m}$  pórusméret, Microdyn gyártmány)

alkalmaztam. A félüzemi kísérletek is igazolták az általam kidolgozott technológia hitelességét, azonos mérési körülmények mellett azonos fluxusokat és nagyon közeli visszatartásokat mértem.

**5. A matematikai modellezés és szimuláció** során – laboratóriumban elvégzett kísérletekre alapozva – a következőket állapítottam meg kajsziaracklére:

**5.1.** A kajsziaracklé fluxusa mikroszűrés és ultraszűrés esetén is leírható **dinamikus modell** segítségével, ahol a folyamatok időállandóit határoztam meg, a hőmérséklet és a térfogatáram ismeretében. Azonos Re számok esetén  $35^\circ\text{C}$ -on a mikroszűrés szűrés időállandója  $T_i=0,76\text{h}$ , ultraszűrés esetén  $T_i=0,97 \text{ h}$  volt.

**5.2.** Az ultraszűrés és mikroszűrés modellezését az **ellenállásmodell** segítségével végeztem. Ultraszűrés esetén konstans membránellenállás ( $2,94 \cdot 10^{12} \text{ 1/m}$ ) mellett a térfogatáram növelése ( $1 \text{ m}^3/\text{h}$ -ról –  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ -ra) a gélréteg ellenállását 15 %-kal csökkentette. Az  $5^\circ\text{C}$ -os hőmérséklet emelkedés hatására a gélréteg ellenállása 55%-kal csökkent.

Mikroszűrés esetén állandó membránellenállás mellett ( $3,18 \cdot 10^{11} \text{ 1/m}$ ) a térfogatáram növelésével ( $300 \text{ L/h}$ -ról  $500 \text{ L/h}$ -ra)  $35^\circ\text{C}$ -on a gélréteg ellenállása 90%-kal csökkent.

**5.3.** Kísérletek alapján bizonyítottam, hogy a van't Hoff-törvény és annak átalakításából nyert egyenletek alkalmazhatóak **kajsziaracklé ozmózisnyomásának** számolására. A modellek alapján  $25^\circ\text{C}$ -on szacharóz esetén  $240 \text{ L/h}$ -nál  $11,6 \text{ bar}$ ,  $400 \text{ L/h}$ -nál  $9,9 \text{ bar}$ ,  $600 \text{ L/h}$  –nál  $11,2 \text{ bar}$

ozmózisnyomás-különbséget számoltam, a mérési adatok alapján a fluxusgörbékről ugyanilyen paraméterek mellett kb. 10 bar nyomáskülönbség hatására kaptam szűrletet.

**5.4.** A Sherwood-féle kritériális egyenlet alapján számolt **anyagátadási tényezők**  $1,95 \cdot 10^{-5}$  és  $2,45 \cdot 10^{-5}$  m/s között, laboratóriumi

ACM2 TRISEP fordított ozmózis membránon mért kísérleti eredmények alapján  $0,8 \cdot 10^{-5}$  és  $1,08 \cdot 10^{-5}$  m/s között változnak.

Ezen anyagátadási tényező értékek nagyságrendileg az irodalomban fellelhető kritériális egyenletek alkalmazásával számolható anyagátadási tényezők tartományán ( $2,08 \cdot 10^{-6} - 4,39 \cdot 10^{-5}$  m/s) belül vannak.

**6. Optimalás:** A SuperPro Designer program adattárát feltöltöttem naprakész gazdasági adatokkal és számításokat végeztem egy 1000 tonna (60 nap, 5 h/nap) kapacitású végsűrített kajsziaré előállító üzem költségeinek megállapítására. Számításaim szerint az üzem 5 év alatt megtérülő beruházás.

## Következtetések

Kutatásaim során komplex eljárás alapjait dolgoztam ki kajsziabaracklé besűrítésére.

1. A kajsziabaracklé tükrösítésére kétféle módszert alkalmaztam: ultra- és mikroszűrést. Az analitikai vizsgálatok és a műveleti paraméterek hatását figyelembe véve a  $0,45 \mu\text{m}$  pórusméretű mikroszűrő membrán megfelelő módszer a kajsziabaracklé előszűrésére.

2. A besűrítés első lépéseként nanoszűrést és fordított ozmózist alkalmaztam. A nanoszűréssel  $\sim 20$  °Brix szárazanyag-tartalmat sikerült

elérni, ám az analitikai vizsgálatok alapján a permeátum tartalmazott értékes anyagokat. Fordított ozmózisnál a választott membrán értékes anyag visszatartása az esetek többségében 99 % fölött volt. Az elért szárazanyag tartalom 25 °Brix. Végsűrítéshez a membrán- és ozmotikus desztillációt alkalmaztam, amivel 60-65 °Brix szárazanyag-tartalmú sűrítményt tudtam elérni. A műveleti paraméterek és a gazdaságossági vizsgálat alapján egyértelműen az ozmotikus desztilláció alkalmazását támogatom.

3. A félüzemi kísérleteknél a laboratóriumi vizsgálatok alapján a mikroszűrést, fordított ozmózist, és az ozmotikus desztillációt alkalmaztam jó eredménnyel, közel hasonló fluxusértékeket értem el, mint a laboratóriumi kísérletek alapján.

4. A kajszibarack lényerése során keletkezett présmaradék újrahasznosítását is megvalósítottam, jó minőségű pálinka, friss gyümölcssel keverve vagy anélkül gyümölcslekvár készíthető belőle. Pasztörizálva vagy szárítva rostanyagként hasznosítható.

5. Az alkalmazott membránműveletek paramétereit összehasonlítva a tanszéki kutatások eredményeivel, más gyümölcsök töményítése esetén (fekete ribizli, piros ribizli, homoktövis, bodza) eltérő fluxusértékek, műveleti paraméterek, membrántechnikai kapcsolások szükségesek, mint az általam vizsgált kajszibarack esetén.

6. Kriokoncentrált alkalmazva a keletkező jégkristály magas szárazanyagtartalom miatt való visszasűrítésére is alkalmas a fordított ozmózis. A kísérletek elkészültek, de ezt nem tartalmazza a dolgozat.

### **Javaslatok**

1. További kísérletek elvégzése a félüzemi méretezési problémák megszüntetésére. Értékes anyagok visszatartásának vizsgálata félüzemi méretben. Ozmotikus desztillációnál olyan ozmotikus oldat készítése, mely könnyen visszatöményíthető, vagy a híg oldat tovább hasznosítható például műtrágyaként.

2. Továbbiakban hasznos lehet vizsgálni a kapott sűrítmények eltarthatóságát mikrobiológiai és kémiai analitikai úton.

3. Mindenképp fontosnak tartom a keletkező sűrítmények magas savtartalmának csökkentését, ezáltal élvezhetőbb termék állítható elő, és nem szükséges esetleges édesítés a nagy savtartalom miatt.

4. Célszerű lehetne az irodalomban megtalálható gyümölcsök hasonló feldolgozással történő besűrítése összehasonlító vizsgálatának részletes elemzése.



## A tézisekhez kapcsolódó közleményeim

### Impact faktoros cikkek

1. **Fogarassy E.**, Galambos I., Bekassy-Molnar E., Vatai Gy. (2009): Treatment of high arsenic content wastewater by membrane filtration, Desalination, 240,p. 270-273. ISSN 0011-9164. (IF = 2,034)
2. **Csiszár E.**, Galambos I., Békássy-Molnár E., Vatai Gy. (2006): Ultrafiltration of humic acid containing well-water in pilot scale: new mass transfer model for transient flow regime, Desalination 199, p. 512-514. ISSN 0011-9164 (IF = 0,917)

### Lektorált cikk

3. Mora Molina J., Vatai Gy., **Fogarassy E.**, Bekassy-Molnar E. (2008): Application of Membrane Filtration to Wastewater Desalination, Progress in Agricultural Engineering Sciences, A Journal of Agricultural, Environmental and Process Engineering, Vol. 4. p.: 77-92. DOI:10.1556/Progress.4.2008.5.
4. Galambos I., **Csiszár E.**, Békássy-Molnár E., Vatai Gy. (2005): Mass-transfer model for humic acid removal by ultrafiltration, Environment Protection Engineering, Vol. 31, No. 3-4., pp:145-152. ISSN 0324-8828

### Teljes anyag nemzetközi konferencia-kiadványban

5. **Fogarassy E.** (2008): Kajsziarack lé tükrösítése membrántechnikával, Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság Kutatási és fejlesztési tanácskozás  
Nr. 32, 2. kötet, 121-125 o. ISBN 978 963 611 453 4
6. **Fogarassy E.**, Békássyné Molnár E., Vatai Gy. (2007): Biological vinegar concentration by membrane technology, 5<sup>th</sup> International Congress on Food Technology, Thessaloniki, (poszter) Proceedings volume 2. p.: 89-93. ISBN 978-960-88557-3-1

### Konferencia kiadványban megjelent összefoglalók

7. **E. Fogarassy**, E. Bekassy-Molnar, Gy. Vatai (2009): Refrigeration system for pilot scale membrane apparatuses and its application for juice concentration Permea 2009 Membrane science and technology conference of Visegrad countries. Prága, (poszter) június 7-11. p.: 157. ISBN 978-80-85009-58-3
8. **Fogarassy E.**, Kozák A., Békássy-Molnár E., Vatai Gy. (2009): Influence of the operation parameters on the concentration of apricot juice. EUROMEMBRANE International Conference. Montpellier, France. Proceedings: p.: 322
9. Kozák A., **Fogarassy E.**, Rácz G., Békássy-Molnár E., Vatai Gy. (2009): Concentration and modeling of sucrose solution and apricot juice by mass transfer processes. EUROMEMBRANE International Conference. Montpellier, France. Proceedings: p.: 345

10. Nagy Á., **Fogarassy E.**, Békássyné Molnár E., Hegedüs A., Stefanovits-Bányai É., Vatai Gy. (2009): Különböző technológiai eljárások hatása kajszi sűrítmények értékes anyagaira. Lippay-Ormos-Vas Tudományos Ülésszak, Budapest. Konferencia kiadvány: p.: 192-193. ISBN 978-963-503-397-3
11. Nagy Á., **Fogarassy E.**, Stefanovits-Bányai É., Hegedüs A.(2009): Miként befolyásolja a kajszibarack sűrítmények antioxidáns kapacitását a membrántechnika.16th Symposium on Analytical and Environmental Problems, SZAB, Szeged p.: 122-125. ISBN 978-963-482-975-1