

2005

A kutatás első évében a választott bogyós gyümölcsök szűrését és besűrítését végeztük el membránszűrések alkalmazásával. A membrántechnika az élelmiszeriparban igen elterjedt művelet, mivel a termékek kíméletesen (szobahőmérsékleten) előállíthatóak, kis mennyiségű melléktermék keletkezik az alkalmazás során valamint összekapcsolhatók más szétválasztási műveletekkel és reaktorokkal. A membránszűrésnek fontos szerepe van az élelmiszeripari tiszta vagy tisztább technológiák kialakításában és új technológiák kifejlesztésénél.

Az általunk vizsgált egyik bogyós gyümölcs a fekete ribizli volt. A fekete ribizli C-vitamin tartalma nagyon magas 4-5-ször nagyobb, mint a citromé. Számos jótékony hatása ismert. A magas C-vitamin tartalom segít az influenza elleni védekezésben, az immunrendszer erősítésében, a fáradtságérzet leküzdésében. Óvja a sejteket a rákos folyamatoktól. P-, provitamin A, és B1- B2-vitamin tartalma szerepet játszik a vese-, valamint a szív- és érrendszeri megbetegedések gyógyításában. B-vitamin tartalma idegvédő hatású. A fekete ribizli nagy mennyiségben tartalmaz antocianinokat is, amelyeknek kedvező az élettani hatása.

További vizsgálatokat végeztük homoktövisre. A homoktövis számos vitamint (B, C, E, K és A vitamin provitaminja) és más biológiailag aktív anyagot tartalmaz. A homoktövis bogyóból előállított készítmények javítják a szervezet védekezőképességét, gátolják a kezdődő bizonyos rákos daganatok növekedését, enyhítik a sugárterápia okozta károsodásokat, segítenek a szív- és érrendszeri betegségek orvoslásában.

A 2005. évi kutatás célja az volt, hogy a fekete-ribizliből és homoktövisből előállított levek szűrhetőségét és sűrítettségét vizsgáljuk különböző membránműveletek alkalmazásával. A gyümölcs sűrítményeket hagyományosan úton bepárlással állítják elő. A membránszűréssel kiváltható a bepárlás művelete így csökken a művelet energiafelhasználása illetve az előállított koncentrátum beltartalmilag kisebb mértékben károsodik

Az általunk feldolgozásra került fekete ribizli levét a tolcsvai Fitomark Kft biztosította. A levét a frissen szedett bogyókból préselték. A membránszűrési kísérletek előtt a léből ki kellett szűrniük a lebegő anyagokat. A tisztított levét engedték a nanoszűrő berendezésekre. Lemértük a feketeribizli-lé fluxusát változtatva a hőmérsékletet és a recirkulációs térfogatáramot, ezáltal meghatározható a besűrítéshez legalkalmasabb műveleti paraméter. A nanoszűrő berendezéseknél egy 0,046 m<sup>2</sup> felületű, 78 %-os sóvisszatartású lapmembránt alkalmaztunk. 400 L/h recirkulációs térfogatáram mellett 30 °C-on, egyik berendezésen 20 bar nyomáson, a másik berendezésen 15 bar nyomáson sűrítettünk. Mindkét berendezésen 6 L kiindulási mennyiséggel dolgoztunk. Mivel túl sűrű volt a lé, és kis nyomást tudtunk alkalmazni, hígított ribizli-lével végeztük a besűrítéseket: 3 L ribizli-lét hígítottunk 3 L desztillált vízzel. A besűrítés végén szárítószekrényben 105 °C-on meghatároztuk a minták szárazanyag-tartalmát.

A homoktövis levét a fajszi Bio-Berta Kft biztosította a mérésekhez. A 100 %-os homoktövis levét préssel, fagyasztott bogyókból állították elő. A membránszűrési méréseket kétféleképpen végeztük el: először a homoktövis levét mikroszűrővel előszűrtük, majd fordított ozmózissal besűrítettük; másodszer pedig a levét előszűrés nélkül nanoszűrtük. Meghatároztuk a homoktövis fluxusát mindhárom membrán esetén, különböző térfogatáramokon, ezzel megállapítva a besűrítéshez legalkalmasabb műveleti paramétereket. A mikroszűrő berendezésnél egy 0,45 µm pórusátmérőjű, 0,125 m<sup>2</sup> felületű kerámia csőmembránt alkalmaztunk. Fordított ozmózis esetében egy 0,3 m<sup>2</sup> összfelületű, 99 %

sóviisszatartású spiráltekeres membránt használtunk. A nanoszűrőnél 0,036 m<sup>2</sup> felületű lapmembránt alkalmaztunk. A kísérleteket az anyag érzékenysége miatt 30 °C-n végeztük el. 8 L kiindulási mennyiségből sűrítettük be. A besűrítés alatt a termékek szárazanyag-tartalmát refraktométerrel mértük.

Az előkísérletek során lemértük az adott membránokon vízfluxusokat 30 és 40 °C-on. A recirkulációs térfogatáram változtatásának hatása nem befolyásolta a fluxusértékeket, viszont a hőmérséklet növelésével a fluxusértékek növekvő tendenciát mutattak. A nyomás növelésével magasabb fluxusértékeket kaptunk, így magasabb nyomáson érdemes megvalósítani a besűrítést. Az előkísérletek után meghatároztuk a ribizli lé szűrletfluxusát szintén 30 és 40 °C-on. Alacsonyabb értékeket tapasztalunk, mint víz esetén, mert a fekete-ribizli lé esetén egy gélréteg képződik a membrán előtt, ami lassítja szűrést. A besűrítést elvégeztük 30 °C-on, 400 L/h recirkulációs térfogatáram mellett két nyomáson: 20 és 15 bar. A szűrletfluxust az idő függvényében ábrázolva a görbe csökkenő tendenciát mutat. Ugyanezt az eredményt tapasztaljuk, ha a fluxusértékeket a sűrítési arány függvényében ábrázoljuk. Az első esetben 1,8, a második esetben 2,2-es sűrítési arányt értünk el. A kiindulási ribizli lé szárazanyag-tartalma 30,5 g/L volt, a hígítotté 15 g/L. A 20 bar-os besűrítés során a végsűrítmény szárazanyag-tartalma 68 g/L, a 15 bar-os végsűrítményé 80 g/L volt.

A homoktövis lé előszűréséhez mikroszűrő berendezést tömányításához fordított ozmózis berendezést alkalmaztunk. A mikroszűrés esetén az előszűrés végére, melyet 400 L/h recirkulációs térfogatáramon, és 3 bar nyomáson végeztük el, a fluxus harmadára csökkent, a membrán teljesen eltömődött, így a besűrítést nem lehetett tovább folytatni. A mikroszűrő levelet fordított ozmózissal sűrítettük. A fordított ozmózis (RO) esetén a fluxus mérést három különböző recirkulációs térfogatáramon végeztük. A térfogatáram változtatásának hatása elhanyagolható volt a homoktövis fluxusára, így a besűrítést végül a minimális eltérés miatt 150 L/h-n végeztük el. RO esetében a besűrítésnél nem merült fel a membrán eltömődés problémája, mivel a szűrendő folyadék lebegőanyag-mentes volt. A homoktövis-lé szárazanyag-tartalma 30 g/L-ről 60 g/L-re növekedett. A homoktövis levelet előszűrés nélkül a nanoszűrő berendezésre engedték. Két különböző recirkulációs térfogatáramon 10-30 bar transzmembrán nyomáskülönbség között végeztük el a fluxusmérést. A permeátum fluxusa kis mértékben növekedett a térfogatáram növekedésével, amely megfelel az irodalmi adatoknak. A besűrítés végére a fluxus megközelítőleg nulla lett, de eközben a szárazanyag-tartalom közel négyszeresére növekedett: 40 g/L-ről 160 g/L-re. A besűrítés időtartama rövid volt, mivel a lében levő lebegőanyagok hamar eltömítették a membránt.

## Összefoglalás

Az előkísérleteket két bogyós gyümölccsel végeztük három különböző membrántípussal: mikroszűrő, nanoszűrő és fordított ozmózis membránokkal, az optimális műveleti paraméterek meghatározása céljából. Az elért szárazanyag tartalom 60 g/L a fekete ribizli-lé esetében, és 160 g/L a homoktövis-lé esetében. Mindkét gyümölcsle esetében elmondható, hogy a membránszűrés alkalmas a besűrítésre. Mind a két gyümölcsnél a sűrítmény szárazanyag tartalmát kapcsolt, integrált membrán-eljárással kívánjuk tovább növelni, ezeket a kísérleteket ezévből kezdjük.

2006

Folytattuk a tavalyi évben megkezdett kísérleteinket, kibővítve egy viszonylag új technikával. Előkísérletek folytatunk az aroma komponensek kinyerésére is pervaporációs membránon. A szakirodalom alapján kiválasztott szerves komponensekből (etil-acetát, i-butanol) készített vizes modelloldatokkal végeztük a méréseinket. Változtattuk a betáplált oldat koncentrációját

valamint a hőmérsékletet. Először az élelmiszerekben megtalálható koncentrációhoz képes magasabb 1-2%-os koncentráció tartományban, majd a reális, 100-200ppm koncentráció tartományban állítottunk elő modell oldatokat. Az alkalmazott membrán organofil lapmembrán volt.

A laborkísérletek után félüzemi méretben végeztük a méréseket a bogyós gyümölcsök besűrítésére. A laborkísérletek eredményeit felhasználva Tolcsván Kiss István PhD hallgató pincészetében félüzemi méretben folytattuk a fekete-ribizli feldolgozását és integrált membránműveletekkel történő besűrítését. A beszállított ribizlit zúzás után préseltük, majd a kapott nyers ribizli levet pektinbontó enzimmel kezeltük, hogy a további membránszűrési és besűrítési lépéseket megkönnyítsük.

A nyers feketeribizli levet PEKTOPOL PT 400 típusú pektináz enzimmel kezeltük: 1,7 mL enzim adtunk egy kg gyümölcshez. Az enzim reakcióideje 1 óra volt 25°C-on. A pektinbontás után a gyümölcslevet 100µm pórusméretű zsákszűrőn leszűrtük, hogy eltávolítsuk belőle a lebegő anyagokat, valamint a mikroorganizmusokat.

Az előszűrés után következett a két lépcsős besűrítés:

1. lépés: Fordított ozmózissal történő besűrítés (elősűrítés)
2. lépés: Ozmotikus desztillációval történő besűrítés (végsűrítés)

A fordított ozmózist (RO) egy 4,5 m<sup>2</sup> aktív szűrőfelületű lapmembránmodulon végeztük. A műveleti paramétereket a laborkísérleti tapasztalatok alapján választottuk. Az alkalmazott transzmembrán nyomás 52,5 bar, a hőmérséklet 17°C volt. A kezdeti 7 °Brix szárazanyag tartalmú feketeribizli levet szakaszos üzemben sikerült 26,5 °Brix szárazanyag tartalomra sűríteni. Ennél a koncentrációnál magasabbra történő besűrítés RO-val nagyon időigényes és gazdaságtalan. Az így kapott elősűrítményt rávezettük az ozmotikus desztillációs berendezésre. A besűrítés második lépése az ozmotikus desztilláció volt (OD). Az eljárás lényege az, hogy itt a membrán nem mint szűrőfelület, hanem mint érintkeztetési felület - ún. membrán kontraktor - van jelen. Az alkalmazott membrán szigorúan mikropórusos és hidrofób kell, hogy legyen. A membrán két oldalán sem nyomás-, sem hőmérséklet különbség sincs. A folyamat hajtóereje a két oldat (a gyümölcsle és a sóoldat) közötti koncentráció különbség. Az általunk alkalmazott OD membrán egy 10 m<sup>2</sup> aktív felületű 10µm pórusméretű hidrofób kapillárcsöves modul volt. Az eljáráshoz szükséges magas koncentrációjú sóoldatot CaCl<sub>2</sub>-ből készítettük (60°Brix). A műveletet - hasonlóan a fordított ozmózishoz - 17°C-on végeztük. A berendezésre vezetett elősűrítményt 34°Brix koncentrációra sikerült sűríteni, míg a sóoldat koncentrációja 50,3°Brix-ra csökkent. Az elért sűrítmény koncentráció nem felelt meg a laborkísérlet tapasztalatai alapján a várakozásainknak. Ezen eltérés oka a félüzemi méretű berendezések optimalizálatlanságával, valamint egyéb műveleti nehézségekkel magyarázható. Így a továbbiakban szükség van az egyes, valamint a több lépcsőben összekapcsolt berendezések műveleti optimalizálására. Csökkentett nyomású technika.

Modell oldatok és gyümölcslevek hagyományos nanoszűrő és fordított ozmózisos besűrítésekor a szétválasztási folyamat hajtóereje a nyomáskülönbség a membrán két oldala között. Ekkor a permeátumot folyamatosan távolítjuk el a besűrítés során. Csökkentett nyomású technika alkalmazásakor a permeátum oldalon a besűrítendő anyagnál töményebb oldatot áramoltatunk, így a membrán két oldala közt ozmózisnyomás – különbség is kialakul. A töményebb oldat nagyobb ozmózisnyomása segíti a hígabb anyagból történő oldószeráramlást a membránon keresztül, ezáltal a szivattyúval elegendő alacsonyabb nyomást biztosítani, hogy a hagyományos besűrítéssel közel azonos eredményt kapjunk. Kísérleteinket modell cukoroldatokkal végeztük, a mérési eredmények és a berendezés paraméterei alapján elvégeztük az anyagátadás modellezését. A kísérletek első fázisában 8 tömeg %-os cukoroldatot sűrítettünk be 20 bar-on, 30 °C-on nanoszűrő membránnal 2,5-es sűrítési arányig. A vizsgált nanoszűrő membrán a cukormolekulákat teljesen visszatartotta, a permeátum tiszta víz volt. A besűrítés alatt mértük a retentátum és a permeátum szárazanyag-

tartalmának változását kézi refraktométerrel. A mért koncentrációkból, a fluxusokból és az áramlási viszonyokból anyagátadási egyenletek segítségével kiszámítottuk a membrán felületén adódó cukorkoncentrációt.

Második lépésként a permeátum oldalon 20 tömeg %-os modell cukoroldatot áramoltattunk folyamatosan a besűrítés során. Az alkalmazott nyomás ebben az esetben is 20 bar volt. Azt kívántuk ellenőrizni, hogy gyorsabban elérjük-e így a 2,5-es sűrítési arányt, mint ha a klasszikus besűrítést alkalmazzuk. A 20 %-os cukoroldat gyors ütemben hígult, ezért határozott véleményt még nem tudtunk formálni a módszer hatékonyságáról, szeretnénk a kísérleteket olyan anyaggal is megismételni, melynek nagyobb az ozmózisnyomása, mint a cukoré, nagyobb hajtóerőt biztosítva ezáltal. Az anyagátadási viszonyok ismeretében különböző gyümölcslevekkel fogjuk a méréseket folytatni.

### Összefoglalás

A pervaporációs előkísérletek eredményeképpen megállapítható volt, hogy a membrán alkalmas az aromakomponensek szétválasztására. A vizsgált paraméterek (pervaporációs fluxus, aktiválási energia, szétválasztási tényező) alapján a vizsgált komponensek közül a membránon nagyobb dúsítási arányt lehetett elérni az etil-acetát esetében. A szétválasztás dúsítási aránya az adott oldat gőz folyadék egyensúlyi összetételéhez (relatív illékonyság) képest akár 22-szeresre is adódott.

A félüzemi kísérletek során az alkalmazott enzimkezelés nagy mértékben csökkentette a feketeribizli-lé pektin tartalmát, megkönnyítve a feldolgozást. A tükrösítést követően fordított ozmózissal 26,5 °Brix szárazanyag-tartalmat sikerült elérni. Az ezt követő végsűrítéssel 34 °Brix szárazanyag-tartalmat értünk el, ami a laborkísérletek eredményénél alacsonyabb érték, de műveleti optimálással növelni kívánjuk.

A csökkentett nyomású nanoszűrési technikával, cukoroldat alkalmazásával 2,5-szeres sűrítési arányt értünk el. Az anyagátadást sikeresen modelleztük.

2007

Új, integrált membránműveletek alkalmazásával lehetővé válik az értékes anyagok megőrzése a feldolgozás során és az értékes komponensek nemcsak a szüret idején, hanem az egész év folyamán fogyaszthatókká válnak. Ennek a célnak megfelelően folytattuk a tavaly megkezdett kísérleteinket a kapcsolt membránműveletek kidolgozásával és a folyamatok modellezésével.

Új, integrált membránműveletek kidolgozása

A tolcsvai üzemben előkészített feketeribizli levét (zúzás, préselés, enzimkezelés) kapcsolt membrántechnikával dolgoztuk fel. Előszűrés céljára ultraszűrést alkalmaztunk, hogy eltávolítsuk a léből a lebegő anyagokat. Az előszűrt levét nanoszűréssel és fordított ozmózissal sűrítettük be első lépésben, a végsűrítést pedig membránesztillációval végeztük. Először az iparban is alkalmazott ultraszűréssel (UF) végeztük a gyümölcsle tákrösítését egy 100 kDa vágási értékű, hidrofíli, poliéterszulfon membránnal, melynek aktív szűrőfelülete 0,41 m<sup>2</sup> volt. Az előszűréseket konstans hőmérsékleten, 26 °C-on végeztük. Az alkalmazott transzmembrán nyomáskülönbség 4 bar, a recirkulációs térfogatáram 2 m<sup>3</sup>/h volt. Az előszűrés után tiszta, tükrös levét kaptunk, melyet nanoszűréssel és fordított ozmózissal sűrítettünk be. A nanoszűrést (NF) egy 0,3 m<sup>2</sup> aktív szűrőfelületű, 73 % sóvisszatartású spiráltekercs membránnal végeztük. 25 °C hőmérsékleten, 200 L/h recirkulációs térfogatáram mellett vizsgáltuk a nyomás hatását. Az alkalmazott transzmembrán nyomáskülönbség 25 és 30 bar volt. A magasabb nyomásértéknél magasabb volt a szűrletfluxus, ami az azonos szárazanyag-tartalom (19 °Brix) eléréséhez szükséges besűrítési idő lerövidülését eredményezte.

A fordított ozmózist (RO) egy 0,18 m<sup>2</sup> aktív szűrőfelületű, 93 %-os sóvisszatartású lapmembránmodulon végeztük. A műveleti paraméterek a következők voltak: Az alkalmazott transzmembrán nyomás 30, 40, 50 bar, a hőmérséklet 20 és 30 °C volt, míg a recirkulációs térfogatáram minden esetben 400 L/h. A kezdeti 11 °Brix szárazanyag tartalmú feketeribizli levét szakaszos üzemben sikerült 25 °Brix szárazanyag tartalomra sűríteni. Ennél a koncentrációnál magasabbra történő besűrítés RO-val nagyon időigényes és gazdaságtalan. Az így kapott elősűrítményt rávezettük a membránszűrés berendezésre. A besűrítés második lépése membránszűréssel történt (MD). A membránszűrés egy olyan membránművelet, amelynél két különböző hőmérsékletű vizes oldat van elválasztva egy mikroporózus hidrofób membránnal. Az eljárás hajtóereje a gőznyomás-különbség, a gőzmolekulák átdiffundálnak a membrán pórusain a magasabb gőznyomás (meleg oldal) felől az alacsony gőznyomás (hideg oldal) felé. Az általunk alkalmazott MD membrán egy 0,1 m<sup>2</sup> aktív felületű hidrofób kapillárcsöves modul volt. A hideg oldalon keringtetett, 4 °C hőmérsékletű tiszta víz, valamint a meleg oldalon áramoltatott, állandó, 40 °C hőmérsékleten tartott feketeribizke-sűrítvány között történt meg az anyagátadás. Két és félszeres sűrítési arány elérése mellett a fordított ozmózissal 25 °Brix értékre sűrített levét 64,31 °Brix értékig sikerült besűríteni.

### Membránszűrés modellezése

#### Ellenállásmodell

Egy adott szétválasztás során a membrán teljesítőképessége az idő előrehaladtával jelentősen változik, ami a membrán áteresztő-képességének csökkenését eredményezi, melyet a koncentráció-polarizáció és az eltömődés okoz. A koncentráció-polarizáció során a visszatartott komponensek koncentrációja a membrán felületén fokozatosan megnő. A koncentráció-polarizáció reverzibilis jelenség, ezzel szemben az eltömődés irreverzibilis és több mechanizmus okozhatja, így az adszorpció, a póruseltömődés és a gélréteg-képződés. Ezen jelenségek mértéke erősen függ a membrán típusától és az alkalmazott anyagtól. Az összellenállás az egyes ellenállások összegéből adódik (membránellenállás, polarizációs réteg ellenállása, eltömődés ellenállása). Mind nanoszűrésnél, mind fordított ozmózisnál azt tapasztaltuk, hogy a membrán ellenállása kétszer-háromszor nagyobb volt az eltömődés ellenállásához képest. A hőmérséklet növelésével mind a membrán, mind a póruseltömődés ellenállása csökkent.

#### Ozmózisnyomás modell

A membránszűrés folyamatáról a nanoszűrés és a fordított ozmózis esetében megbízható leíró modellt kaphatunk az ozmózisnyomás-modell alkalmazásával. Az ozmotikus szűrés modell lényege, hogy ha víz és sós oldat egy szemi-permeábilis hártával van elválasztva, akkor az ozmózis következtében a sóoldat oldalán ozmózisnyomás jelentkezik. Ha célunk a folyamat visszafordítása, vagyis oldószert szeretnénk átjuttatni a féligáteresztő membránon, akkor le kell küzdeni az ozmózisnyomást és még egy pozitív nyomáskülönbséget (transzmembrán nyomáskülönbség) is kell biztosítani hajtóerőként. A Van't Hof törvény felhasználásával meghatároztuk a gyümölcsle ozmózisnyomását, melyet mérésekkel sikerült igazolnunk. A permeabilitási együtthatót is meghatároztuk a szűrletfluxusra vonatkozó összefüggésből. Az alkalmazott transzmembrán nyomáskülönbség ismeretében számítható a minimális szűrletfluxus.

### Összefoglalás

A 2007. évi munkák a tervek szerint folytak. Ezévből a hangsúlyt a kísérleti munkákra alapozott új, kíméletes integrált technológiák kidolgozására és a folyamatok matematikai modellezésére tettük. Az integrált műveletekben hagyományos előkészítő műveletek mellett

mikroszűrés, ultraszűrés, nanoszűrés, fordított ozmózis, membrándeztilláció és ozmotikus desztilláció szerepelnek, a terméktől függően különböző kombinációkban. Az eddig feldolgozott anyagokból nagyszámú külföldi és hazai publikációt jelentettünk meg, illetve az eredmények bekerültek a résztvevő hallgatók diploma- és PhD munkáiba.

2008

A 2008-as évben további értékes gyümölcslevek (málnalé és bodzalé) besűrítését végeztük integrált membrántechnika alkalmazásával. A feketeribizli lével végzett kísérleteket is folytattuk a folyamatok modellezésével. A kísérletek hatékonyságát igazolva elvégeztük a minták analitikai elemzését is (antocianin tartalom, összes sav tartalom, fenol tartalom). Ezekkel az új, integrált membránműveletek alkalmazásával lehetővé válik az értékes anyagok megőrzése a feldolgozás során és az értékes komponensek nemcsak a szüret idején, hanem az egész év folyamán fogyaszthatókká válnak.

Málnalé és bodzalé besűrítése integrált membrántechnikával

Mivel a gyümölcslevek tartalmazhatnak magokat, lebegő anyagokat, ezek eltávolítása céljából mikro- és ultraszűrést alkalmaztunk a gyümölcslevek tükrösítésére. A mikroszűréshez egy 0,45  $\mu\text{m}$  pórusméretű kerámia csőmembránt, az ultraszűréshez egy 100 kDa vágási értékű polimer csőmembránt alkalmaztunk. A szűrések alatt a hőmérsékletet állandó, alacsony értéken (25 °C) tartottuk, hogy megóvjuk a gyümölcslevek értékes anyagait. Az analitikai vizsgálatok eredménye szerint az általunk alkalmazott ultraszűrő membrán nem volt megfelelő a málna- és bodzalé előszűrésére, mivel 30-40 %-ban visszatartotta az értékes anyagokat (antocianin, fenol). Ezzel szemben az alkalmazott mikroszűrő membrán visszatartása 1% alatt volt.

A második lépcsőben az előszűrt, tükrös gyümölcsleveket sűrítettük be fordított ozmózis (95%-os sóvisszatartású, polimer lapmembrán) és nanoszűrés (75%-os sóvisszatartású, polimer spiráltekercs membrán) alkalmazásával. Mindkét műveletet alacsony hőmérsékleten végeztük (30 °C). A nanoszűrés kevésbé hatékony a besűrítés első lépésére, hiszen a membrán 80%-ban tartja vissza az értékes anyagokat, míg fordított ozmózis membrán esetén ez az érték 90-95 % volt, egyes esetekben közel 100%. Az integrált membrántechnika második lépcsőjének a fordított ozmózis membrán alkalmazása javasolt. Az elért szárazanyag tartalom fordított ozmózis esetén 28% volt, míg nanoszűréssel mindössze 20 % körüli érték.

A harmadik lépcsőben az elősűrített gyümölcsleveket továbbcsűrítettük ozmotikus desztilláció alkalmazásával. Az alkalmazott membrán mikropórusos és hidrofób. A folyamat hajtóereje a két oldal (gyümölcslé és sóoldat) közötti koncentrációkülönbség. Az eljáráshoz szükséges sóoldatot  $\text{CaCl}_2$ -ből készítettük (60-65 °Brix). A végsűrítmény koncentrációja bodzalé esetén 68 °Brix volt, míg málnalé esetén 62 °Brix.

Ez a háromlépcsős integrált membrántechnika kiválóan alkalmas gyümölcslevek besűrítésére.

A folyamatok matematikai modellezése, gazdaságossági elemzése

Az integrált membrántechnika alkalmazásánál az előszűrések (mikroszűrés, ultraszűrés) és előtöményítések (nanoszűrés, fordított ozmózis) esetén a kísérleti eredmények (kritikus fluxus szűrési és besűrítési kísérletekből, gyümölcslé főtömegének koncentrációja, gélréteg-koncentráció, koncentráció polarizáció, diffúziós tényező) segítségével az anyagátadási modellből meghatároztuk az anyagátadási tényezőket, amelyeknek fontos szerepe van a

gyümölcslevek sűrítésének tervezéséhez szükséges összefüggések meghatározásánál és az ipari berendezések tervezésénél, méretnövelésénél.

Az ellenállásmodell alkalmazásával megállapítható, hogy a membránszűrés mekkora fluxus érhető el az alkalmazni kívánt membránokon gyümölcslevek feldolgozása esetén. Az ellenállásmodellből szintén a mérési adatokból meghatározott (transzmembránnyomás-különbség, membránellenállás, polarizációs réteg ellenállás, gyümölcslé fizikai paraméterei) összefüggésekből megállapítottuk, hogy a mikroszűrés esetén az összellenállás legkisebb részét a membránellenállás képezi és nagyobb térfogatáramot alkalmazva az eltömődés ellenállása csökken. Ultraszűrés esetén ugyanezt tapasztaltuk.

Mikroszűréssel végzett előszűrés esetén nanoszűréssel és fordított ozmózissal történő továbbtöményítés során a nanoszűrésnél az eltömődésből adódó ellenállás bizonyult nagyobbak, míg fordított ozmózisnál a membránellenállások képezték a legnagyobb részét az összellenállásoknak.

Ultraszűréssel végzett előszűrés esetén nanoszűréssel és fordított ozmózissal történő továbbtöményítés során szintén a membránellenállások képezték a legnagyobb részét az összellenállásoknak.

Gazdasági elemzést végezve elmondható, hogy a mikroszűrés és az ultraszűrés beruházási és üzemeltetési költségeit illetően számottevő különbség nincs, így gazdasági szempontból is javasolható a mikroszűrés. A fordított ozmózis és nanoszűrés költségeit figyelembe véve sincs számottevő különbség, így a mérési adatokat figyelembe véve a fordított ozmózis alkalmazását javasoljuk az előtöményítésre.

Az ozmotikus desztillációnál és membrán desztillációnál jelentkező költségek magasak, az ozmotikus desztillációnál a folyamat gyors viszont melléktermékként keletkező  $\text{CaCl}_2$  oldat ismételt felhasználása a visszatöményítés miatt nagy energiaköltséggel jár, a membrándesztilláció lassabb művelet, viszont itt a hajtóerő a hőmérsékletkülönbség és emiatt jelent nagy energia befektetést. Az ozmotikus desztilláció javasolható az integrált membrántechnika megvalósítására gyümölcslevek töményítésre abban az esetben, ha a  $\text{CaCl}_2$ -ot valamilyen környezetbarát anyaggal helyettesítjük, amit utána akár műtrágyaként hasznosítani tudunk. Ez a feladat még megoldásra vár.