

Komplex membrántechnikai alkalmazás és modellezés kajsziparacklé feldolgozására

Doktori (PhD) értekezés

Készítette: Fogarassy Eszter

Témavezető: Békássyné Dr. Molnár Erika

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

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalomjegyzék	1
1. Bevezetés	1
2. Irodalmi áttekintés.....	3
2.1. A kajszibarack (<i>Prunus armeniaca</i> L.)	3
2.2. A kajszibarack beltartalmi értékei	4
2.3. Gyümölcslevek	8
2.3.1. A gyümölcsből készült termékek gyártáshoz használt nyersanyagok fogalommeghatározásai.....	8
2.3.2. Gyümölcsből készült termékek megnevezései, meghatározásai és jellemzői.....	9
2.3.2.1. Gyümölcslé (juice).....	9
2.3.2.2. Sűrített gyümölcslé	9
2.3.2.3. Gyümölcslé por.....	10
2.3.2.4. Gyümölcsnektár.....	10
2.3.2.5. Gyümölcshital.....	10
2.3.3. Gyümölcshitalok fogyasztása Magyarországon	10
2.4. Gyümölcsből készült termékek előállítása.....	13
2.4.1. Gyümölcspüré- és gyümölcsvelő-félkésztermék előállítása.....	14
2.4.2. Gyümölcssűrítmény gyártása bepárlással.....	15
2.4.3. Gyümölcslésűrítmény gyártása kriokoncentrációval	19
2.4.4. Gyümölcslésűrítmény gyártása többlépcsős membrántechnikával.....	21
2.5. Membránműveletek	22
2.5.1. Membránok jellemzése.....	24
2.5.2. Klasszikus membránszűrési műveletek.....	26
2.5.3. Anyagátadási membránműveletek	28
2.6. Membránműveletek modellezése	30
2.6.1. Ellenállásmodell.....	30
2.6.2. Ozmózisnyomás-modell	31
2.6.3. Anyagátadási modell	33
2.6.3.1. Anyagátadási modell fordított ozmózis esetén.....	33
2.6.3.2. Anyagátadási modell ozmotikus desztilláció esetén.....	35
2.6.4. Membránműveletek szimulációja	36
3. Céltűzések.....	39

4. Anyagok és Módszerek	41
4.1.1. Hűtőrendszer tervezése kajszibaracklé kísérletekhez	41
4.2. Kajszibarack és kajszibaracklével végzett kísérletek	43
4.2.1. Kajszibarack előkészítése és a lényérés fázisai	43
4.2.2. Kajszibaracklé feldolgozása laboratóriumi többlépcsős membrántechnika alkalmazásával	45
4.2.2.1. Kajszibaracklé előszűrése ultra- és mikroszűrő berendezéssel	45
4.2.2.2. Az előszűrt kajszibaracklé előtöményítése nanoszűréssel és fordított ozmózissal	47
4.2.2.3. Az előtöményített kajszibarack lé végsűritése membrán- és ozmotikus desztillációval	48
4.2.3. Félüzemi kísérletek kajszibaracklével	50
4.3. Gyümölcslevek analízise	52
5. Eredmények és értékelés	54
5.1. Hűtőrendszer kiépítéséhez végzett elő-kísérletek	54
5.2. A kajszibarack feldolgozásának lépései és a melléktermékek hasznosítása	57
5.3. A kajszibaracklével végzett laboratóriumi tükrösítési kísérletek	57
5.3.1. A kajszibaracklével 37 03 I8 típusú ultraszűrő (UF) membránon végzett kísérletek	58
5.3.2. A kajszibaracklével Schumasiv típusú mikroszűrő (MF) membránon végzett kísérletek	62
5.3.3. Az ultraszűrés (UF) és mikroszűrés (MF) műveletének összehasonlítása	64
5.4. A tükrösített kajszibaracklé előkoncentráálásának laboratóriumi vizsgálata	65
5.4.1. Előtöményítés két membrán sorbakapcsolásával	66
5.4.2. A mikroszűréssel tükrösített kajszibaracklé előtöményítése	70
5.4.3. A tükrösített kajszibaracklé nanoszűrő és fordított ozmózis előtöményítésének összehasonlítása	73
5.5. Végőtöményítés három membrán sorbakapcsolásával	78
5.5.1. Kajszibaracklé végső töményítése ozmotikus desztillációval	78
5.5.2. Kajszibarack lé végső töményítése membrán desztillációval	80
5.5.3. Kajszibaracklé végső töményítésének összehasonlítása membrán desztilláció és ozmotikus desztilláció esetén	81
5.6. Laboratóriumi kísérletek összefoglalása	83
5.7. Félüzemi berendezések üzemi próbája	84
5.8. Analitikai eredmények	86
6. Kísérleti eredmények modellezése	91

6.1. Mikro- és ultraszűrés modellezése	91
6.1.1. A mikro- és ultraszűrés szimulációja	92
6.2. Fordított ozmózis modellezése	97
6.2.1. Ozmózisnyomás-modell	97
6.2.2. Anyagátadási modell	100
6.2.2.1. Anyagátadási tényező meghatározása kísérleti oldalról	100
6.2.2.2. Diffúziós és anyagátadási tényező meghatározása elméleti úton.....	102
6.2.2.3. A kísérleti adatokból és kritériális egyenletekből meghatározott anyagátadási tényezők összehasonlítása	103
7. Feldolgozó üzem költségeinek becslése SuperPro Designer programmal	104
8. Új tudományos eredmények	111
9. Következtetések és javaslatok	114
9.1. Következtetések.....	114
9.2. Javaslatok	115
10. Összefoglalás	116
Mellékletek	123

Jelmagyarázat

a	Empirikus konstans	[m ² /s ²]
a	Állandó	[-]
a ₁	Sűrítmény oldali főtömeg vízaktivitása	[-]
a ₂	Sóoldali főtömeg vízaktivitása	[-]
a _{m1}	Membrán felületi vízaktivitása a sűrítmény oldalon	[-]
a _{m2}	Membrán felületi vízaktivitása a sóoldalon	[-]
a _{mi}	Membrán felületi vízaktivitása	[-]
A	A membrán felülete	[m ²]
A ₁	Tapasztalati úton meghatározott együtthatók	[Pa]
A ₂	Tapasztalati úton meghatározott együtthatók	[Pa]
A ₃	Tapasztalati úton meghatározott együtthatók	[Pa]
A _{ker}	Áramlási keresztmetszet	[m ²]
B	Állandó	[-]
c	Koncentráció	[mol/mol; kg/kg; g/L, kg/m ³]
c	Állandó	[-]
c _B	A betáplálási áramra vonatkozó oldott anyag koncentráció	[g/L]
c _G	A gélréteg koncentrációja	[g/L]
c _M	A membrán felületén az oldott anyag koncentrációja	[g/L, °Brix]
c _P	A permeátumra vonatkozó oldott anyag koncentráció	[g/L, °Brix, mol/m ³]
c _R	A retentátumra vonatkozó oldott anyag koncentráció	[g/L, mol/m ³]
d	Állandó	[-]
d _b	Membrán modul belső csöveinek belső átmérője	[m]
d _e	Egyenértékű átmérő	[m]
D	Diffúziós tényező	[m ² /s, m ² /h]
f	Sűrítési arány	[m ³ /m ³]
f _c	Sűrítési arány a koncentrációból	[-]
FCR	Összes polifenol tartalom	[mgGS/L]
FRAP	Összes antioxidáns kapacitás	[mgAS/L]
J	Fajlagos szűrletáram v. fluxus	[L/(m ² h), m ³ /(m ² s)]
J*	Kritikus fluxus	[L/(m ² h), m ³ /(m ² s)]
J'	Adott időpillanatban mért fluxus	[m ³ /(m ² s)]
J' _{víz}	Az ionmentes víz fluxusa	[m ³ /(m ² s)]
J ₀	Kezdeti szűrletfluxus	[L/(m ² h)]
J _d	Desztillátum fluxus	[kg/(m ² h)]
J _p	Permeátum fluxus	[L/(m ² h)]
J _{ss}	Szűrletfluxus állandósult állapotban	[L/(m ² h)]
k	Anyagátadási együttható	[m/s]
k ₁	Anyagátadási együttható sűrítmény oldalon	[m/s]
k ₂	Anyagátadási együttható só oldalon	[m/s]
k _m	Anyagátadási együttható a vízaktivitás különbség függvényében kifejezve	[m/s]
K	Anyagátbocsátási együttható	[m/s]
K _M	Membrán permeabilitása	[m/Pas]
L	Membránmodul hossza	[m]
M	Oldószer moltömege	[kg/kmol]
n	Exponenciális faktor	[-]
n _m	Membrán modul belső csöveinek száma	[db]
p ₀	Permeátum oldali nyomás bar	[bar]
p ₁	Membrán előtti nyomás	[bar]

p_2	Membrán utáni nyomás	[bar]
P_1	Membrán felületén a sűrítmény gőznyomása	[Pa]
P_2	Membrán felületén a sóoldat gőznyomása	[Pa]
P_i^*	Tiszta víz gőznyomása	[Pa]
PWF	Tiszta vízfluxus	[L/(m ² h)]
Q_R	Recirkulációs térfogatáram	[L/h, m ³ /h]
R	Egyetemes gázállandó	[J/(kmol K)]
R	Ellenállás	[1/m]
Re	Reynolds-szám	[-]
R_F	Eltömődésből eredő ellenállás	[1/m]
R_G	Gélréteg ellenállása	[1/m]
R_M	Membrán ellenállása	[1/m]
R_P	Polarizációs réteg ellenállása	[1/m]
R_V	Visszatartás	[%]
Sc	Schmidt-szám	[-]
Sh	Sherwood-szám	[-]
t	Idő	[h]
T	Oldat hőmérséklete	[K, °C]
T_0	Viszonyítási hőmérséklet	[°C]
T_h	Membrán felületi hőmérséklete a hideg oldalon	[°C]
T_{hb}	Hideg oldalon a víz főtömegének hőmérséklete	[°C]
T_i	Időállandó	[h]
T_m	Membrán felületi hőmérséklete a meleg oldalon	[°C]
T_{mb}	Meleg oldalon az oldat főtömegének hőmérséklete	[°C]
v	Áramlási sebesség	[m/s]
V	A szűrlet térfogata	[L]
V_0	Diffundáló anyag moláris térfogata normál forrásponton	[m ³ /kmol]
VCF	Sűrítési arány	[m ³ /m ³]
V_F	A betáplált elegy térfogata	[L]
V_p	A permeátum térfogata	[mL]
V_R	A retentátum térfogata	[L]
x	Diffúziós úthossz	[m]
x_0	Oldószer asszociációs állandója (víz esetén $x_0 = 2,6$)	[-]
x_A	A komponens koncentrációja a betáplálásban	[mol/mol]
x_B	B komponens koncentrációja a betáplálásban	[mol/mol]
y_A	A komponens koncentrációja a permeátumban	[mol/mol]
y_B	B komponens koncentrációja a permeátumban	[mol/mol]
$\alpha_{A/B}$	Szelektivitási tényező	[-]
β	Koncentrációpolarizáció	[-]
δ	Hidrodinamikai határréteg vastagsága	[m]
Δp_{TM}	Transzmembrán nyomáskülönbség	[bar]
$\Delta p'_{TM}$	Transzmembrán nyomáskülönbség	[Pa]
Δp^*	Kritikus fluxushoz tartozó transzmembrán nyomáskülönbség	[bar]
$\Delta \pi$	Ozmózisnyomás-különbség	[Pa]
η	Oldat dinamikai viszkozitása	[Pas, mPas]
ν	Oldat kinematikai viszkozitása	[m ² /s]
π	Ozmózisnyomás	[Pa]
ρ	Oldat sűrűsége	[kg/m ³]

1. BEVEZETÉS

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, gyümölcssűrítmények). Számos tudományos és népszerűsítő orvosi közlemény is rámutat, hogy egészségünk megőrzése és folyamatos fenntartása szempontjából mennyire nélkülözhetetlenek a gyümölcsfélék, s a velük egyenértékű feldolgozott lé készítmények. A Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék kutatócsoportja számos kutatást végez különböző gyümölcssűrítmények előállítására (málna, feketeribizli, pirosribizli, szőlő, meggy, bodza, kajszibarack). A kísérletek alapján elmondható, hogy a technológiai folyamatokban minden gyümölcs másképp reagál a sűrítési eljárásokra, így felmerül 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 érkezik és puhul. Fogyaszthatósági idejének megnyújtása indokoltá teszi a gyümölcs értékes összetevőit megőrző, alternatív tartósítási mód kidolgozását.

A szállítási és tárolási költségek csökkentése érdekében a gyümölcslé-előállításban fontos szerepe van a gyümölcslé besűrítésnek és a mennyiség csökkentésének, emellett a koncentrátum mikrobiológiailag is sokkal stabilabb, mint az eredeti gyümölcslé.

A gyümölcslé feldolgozásának hagyományos eljárása a bepárlás, amelynek során a gyümölcs értékes komponensei hőkárosodást szenvednek, és az illékony aromakomponensek nagy része elvész, ezáltal a termék élvezeti értéke csökken.

A fent említett problémák kis mértékben kiküszöbölhetők többfokozatú, vákuumos elpárologtató berendezés alkalmazása esetén. Ennél az eljárásnál is jelentős az aromavesztés, ami irreverzibilis változashoz vezet a gyümölcslé aroma-összetételében, továbbá a magas hőmérséklet (45°C és 90°C közötti) miatt színbeli változások és tápértékbeli csökkenés is megfigyelhető, valamint a folyamat költségei nagymértékben nőnek.

Megoldás a fenti kedvezőtlen problémákra, egy olyan alternatív eljárás alkalmazása, amely nem igényel magas hőmérsékletet, kevesebb energia-befektetéssel jár, olcsóbb üzemeltetési paraméterek mellett működik. Ilyenek például az egyre inkább elterjedő membránműveletek.

A membránműveletekkel végzett tükrösítési és koncentrálni folyamatok az agrár-élelmiszeripar egyik leghatékonyabb innovatív eszközei közé sorolhatók. Alkalmazásukkal a termelés költségei is csökkenthetők, mely nem elhanyagolandó szempont.

Munkám során kajszibarack laboratóriumi kísérletei alapján modellezni kívánom a kajszibaracklé töményítésének, többlépcsős membránműveletekkel való besűrítésének lépéseit, így megkönnyítve a méretnövelést és az ipari méretű alkalmazáshoz szükséges berendezések tervezését.

A membrános betöményítés eredményeként nyert gyümölcsle-koncentrátumok nem igényelnek tartósítószeres kezelést, mivel az alacsony vízaktivitás miatt a sűrítmény nem romlik meg és nem igényel hűtve tárolást. Az ilyen módon elkészült termékek szállítása sokkal egyszerűbb, mivel kevesebb helyet foglalnak el. A sűrítmény víz hozzáadásával vagy anélkül is fogyasztható.

Membránműveletek alkalmazásával előállított kajszibaracklé-sűrítmény teljes körű technológiai leírását az irodalomban nem találtam, így a doktori munkám keretében ennek kidolgozásával foglalkoztam.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A kajszibarack (*Prunus armeniaca* L.)

A kajsz (*Prunus armeniaca* L.) a *Prunus* faj, *Prunoidae* nemzetség, *Rosaceae* család, Rózsafélék csoportjához tartozik. A kajszibarack fája viszonylag alacsony, jellegzetesen vörösesbarna ágú. A meleg klímát és a sok napsütést kedveli, ezért hazánk egyben európai elterjedésének északi határa is. Lombfakadás előtt, kora tavasszal virágzik, ezért a fagyok kárt tehetnek a virágokban. Az illatos szirmú virágok fehérek vagy enyhén pirosilók, ezért a barackfavirágzás látványnak is kellemes. Kerekded vagy szív alakú levelei fényesek, csúcsuk hegyes. Meszes talajt kedvelő, könnyen kezelhető fa, nem igényel sok metszést (PÉNZES és SZALAY 2003, G. TÓTH 2001, BRÓZIK és KÁLLAY 2000).

A teljesen érett gyümölcs termésének héja narancssárga, a nap felé kitett oldalon foltos vagy pöttyös, lilás piros (1.ábra). Nem véletlenül rózsabaracknak is hívják. A gyümölcshús éretlenül kemény, zöldes színű, éretten csaknem krémesen puha és lédús íze édes. A nagyobb termésű fajták kissé rostosabbak.



1. ábra: A kajszibarack termése

A kajszibarack a harmadik leggyakrabban termesztett csonthéjas gyümölcs. A termesztés fő területe a mediterrán országok, ez a világtermelés 40%-át teszi ki (VERSARI et al. 2007).

Őshazája Kína. Latin nevében az "armenica" arra utal, hogy a Selyemúton Örményország közvetítésével jutott el Európába a Földközi-tenger térségéig, majd római vagy török közvetítéssel a hódoltság idején jutott el hazánkba (PÉNZES és SZALAY 2003, HUI et al. 2006).

Fontos szerepe van az emberi táplálkozásban, fogyasztják friss, szárított, feldolgozott formában. Készítenek belőle aszalt és fagyasztott barackot, dzsemet, lekvárt, gyümölcspépet, üdítőitalt, nektárt és pálinkát is. A kajszibarack magját felhasználják olaj (HALLABO et al. 1975, RAHMA et al

1994, SHARMA és GUPTA 2004), benzaldehid, kozmetikai szerek, aktív szén és aroma parfüm készítéséhez (DRÉN et al. 2005).

2.2. A kajszibarack beltartalmi értékei

A földrajzi elhelyezkedés, a szezonális jellemzőkből adódó eltérések, az érettség mértéke és a feldolgozás feltételei alapvetően hatnak a gyümölcsök és a belőlük készült levek összetételére (VERSARI et al. 2007).

A kajszibarack a feketeribizlihez hasonlóan (PAPP és PORPÁCHY 1999) jelentős tápanyagforrással rendelkezik, mely élettani szempontból rendkívül hasznos. Mint minden gyümölcs, a kajszibarack is gazdagon tartalmaz szénhidrátokat, szerves savakat, polifenol vegyületeket, vitaminokat, ásványi anyagokat és természetesen nagy mennyiségben vizet. A gyümölcsök egyéb alkotórészei a cellulóz, a rostok, ásványi sók, nyomelemek, pektin, csersav, színező anyagok és illékony komponensek (BÍRÓ ÉS LINDNER 1999, BARTA 2007).

Ezen összetevők mennyisége a gyümölcsben jellemzi annak minőségét az éréstől a feldolgozáson keresztül a tárolásig, valamint meghatározza a gyümölcs és a belőle készült gyümölcskészítmények tápértékét.

A kajszibarackban megtalálható szénhidrátok az emberi szervezet elsődleges energiaforrásai. A szénhidrátok főként cukrok formájában vannak jelen (1. táblázat). A kajszibarack szénhidráttartalma szacharózból, glükózból és fruktózból áll (BÍRÓ ÉS LINDNER 1999, VERSARI et al. 2007, KURZ et al. 2008a, AKIN et al. 2008, BUREAU et al. 2009).

Számos gyümölcs, így a kajszibarack is tartalmaz nagyobb mennyiségű szerves savat (1. táblázat), ami nemcsak az ízüket befolyásolja, hanem a stabilitásukat, a tápértéküket és a minőségüket is. A kajszibarack savanyúságára, savtartalmára különösen az alma-, a citrom- és az aszkorbinsav van hatással (VERSARI et al. 2007, BUREAU et al. 2009). A szerves savak adják a gyümölcsök savanykás ízét. Ezek közül az almasav kitűnő fertőtlenítőszer, tisztítja a beleket, a veséket, a májat, a gyomrot, megszünteti a bélfertőzést, oldja a káros stresszhatásokat. A szerves savak mennyiségét nagyban meghatározza a gyümölcs érettségének a mértéke. A savtartalom az érés során folyamatosan csökken, míg a cukortartalom szinte a duplájára nő (GONZÁLEZ-AGÜERO et al. 2009).

Tanulmányok (MUNZUROGLU et al. 2003; AKIN et al. 2008) rámutattak arra, hogy a gyümölcs összetételét befolyásolja a termőhely, valamint a fajta is, de a főbb összetevők minden esetben ugyanazok (1. táblázat), azok mennyisége, egymáshoz viszonyított aránya változó.

1. táblázat: Kajsziparack fontosabb összetevői

Alkotóelemek	Mértékegység	Mennyiség
energia	kJ/100g	170-200
fehérje	g/100g	0,8-1,4
élelmi rost	g/100g	1,6
hamu	g/100g	0,5-0,9
víz	g/100g	81,15-88,8
szénhidrát	g/100g	7,4-12,3
szacharóz	g/100g	5,00-5,87
glükóz	g/100g	2,2-2,37
fruktóz	g/100g	0,8-0,94
citromsav	mg/L	1,4-1,8
almasav	mg/L	1,8-3,2

forrás: (AIDER és DE HALLEUX 2008; USDA NATIONAL NUTRIENT DATABASE FOR STANDARD REFERENCE RELEASE 21 2008; DANISH FOOD COMPOSITION DATABANK 2009, VERSARI et al. 2007, BUREAU et al. 2009)

A gyümölcsök - ide értve a kajsziparackot is - tartalmaznak polifenolos összetevőket is, amelyek hasznosak lehetnek az egészségre antioxidáns tulajdonságaiktól függően. A kajsziparackban legnagyobb mennyiségben megtalálható fenolos összetevő a hidroxifahéjsav, de nagy mennyiségben mutattak még ki klorogénsavat, ami fenolos karbonsav (DRAGOVIC-UZELAC et al. 2005). Ilyen módon a magas bioaktív tartalommal rendelkező gyümölcslevek speciális terméket, illetve összetevőt képviselhetnek a funkcionális élelmiszerek listáján (VERSARI et al. 2007).

A kajsziparackban található flavonoid összetevők kedvező élettani hatást gyakorolnak a vérkeringésre; megnövelik a hajszálerek rugalmasságát és áteresztő képességét, immunerősítő, gyulladáscsökkentő, asztmaellenes, antiallergén, antivirális, antibakteriális, májvédő és érfalkarbantartó hatásuk is ismert (SULTANA és ANWAR 2008).

A flavonoidoknak védő szerepük van számos, népegészségügyi szempontból fontos betegség (szív és érrendszeri, daganatos stb.) kezelésében és megelőzésében, csak hogy nehezen lehet fenntartani egy hasznos koncentrációt a vérben, ugyanis gyorsan lebomlanak az emberi szervezetben (ASHURST 2005).

A táplálékkal bevihető élelmiszer eredetű flavonoidok főleg három flavonolt – quercetin, myricetin, és kaempferol – és kettő flavont – apigenin és luteolin – tartalmaznak. SULTANA és ANWAR (2008) 22féle zöldségben, gyümölcsben és gyógynövényben vizsgálta a három élelmiszereredetű flavonoltartalmat. Mindhárom flavonol megtalálható volt a kajsziparackban, keampeferol-tartalma a

vizsgált növények közt nagyon alacsony (5,8 mg/kg), de quercetintartalma kiemelkedően magas (322,1 mg/kg) volt.

A kajsziabarack gazdagon tartalmaz vitaminokat is. A C- vitamin, niacin, valamint kiemelkedően sok antioxidáns és gyökfogó tulajdonságú β -karotin is megtalálható a gyümölcsben (2. táblázat).

2. táblázat: A kajsziabarack vitamin és ásványi anyag összetétele

Vitaminok/Ásványi anyagok	Mértékegység	Mennyiség
A-vitamin	RE*/L	131
β -karotin	$\mu\text{g/L}$	1566
B1 vitamin, tiamin	mg/L	0,030
B2 vitamin, riboflavin	mg/L	0,040
niacin	mg/L	0,600
triptofán	mg/L	0,150
B6 vitamin	mg/L	0,054
pantoténsav	mg/L	0,240
fóliátok	$\mu\text{g/L}$	9
C-vitamin	mg/L	10,0
nátrium	mg/L	1
kálium	mg/L	259
kalcium	mg/L	13-14,2
magnézium	mg/L	10
foszfor	mg/L	21,9-23
vas	mg/L	0,39
réz	mg/L	0,078
cink	mg/L	0,20
mangán	mg/L	0,077
szelén	$\mu\text{g/L}$	0,084-0,124

* retinol egyenérték; 1RE = 1 mg retinol = 6 μg β -karotin = 12 mg egyéb A vitamin aktivitású karotinoid

forrás: MUNZUROGLU et al. 2003; USDA National Nutrient Database for Standard Reference, 2008; Danish Food Composition Databank

A C-vitamin (aszcorbinsav) vízben jól oldódó vitamin, oxigén, fémionok, hő, fény hatására igen könnyen bomlik. Biológiai szerepe rendkívül szerteágazó, többek között: molekuláris szinten részt vehet mind az oxidációs, mind a redukációs folyamatokban; nélkülözhetetlen egyes hormonok és a

kollagén-fehérje szintéziséhez, az immunrendszer normális működéséhez; elősegíti a vasfelszívódást a bélrendszerből.

A niacin a szöveti oxidoredukciós folyamatokban résztvevő koenzimek alkotórésze.

A kajsziarack magas béta-karotin tartalommal rendelkezik (KURZ et al 2008b), mely az A-vitamin elővitaminja. Javítja a látást, kedvezően hat a zsíryanycserére, érvédő hatású, valamint serkenti a máj méregtelenítő működését. Mint zsírban oldódó vitamin a szervezetben raktározódik, felhalmozódik. Optimális mennyiségben fogyasztva szerepe van a daganatos, valamint a szív- és érrendszeri betegségek kezelésében és prevenciójában. Az A-vitamin befolyásolja a nyálkahártyák működését is, így hatással van a légzőszervi megfázás tüneteire.

A gyümölcs fogyasztása β -karotin és aszkorbinsav tartalmának antioxidáns hatása miatt hozzásegíthet a rákos és érrendszeri megbetegedések megelőzéséhez és gyógyításához (HERCBERG et al. 1999). TAC (Total Antioxidant Capacity) értéke 1000 és 3000 μmol 100 gramm gyümölcsre vetítve. Ennél magasabb antioxidáns értéke pl. az áfonyának, articsókának, feketeribizskének van (PENNINGTON és FISHER 2008).

Korábbi tanulmányok láng és grafit atomabszorpciós spektrométerrel nyomelemeket határoztak meg kajszibarack mintákból. A kajszibarack alapvető ásványi anyagai a vas, réz, mangán, cink, szelén, kén és a kálium (2. táblázat). Az emberi szervezetnek 12-15 miligramm vasra, 10-15 miligramm cinkre és mindössze 1,4 miligramm rézre van szüksége naponta. Ezek alapján, arra a megállapításra juthatunk, hogy a kajszibarack jelentős vas-, cink- és káliumforrás (SARACOGU et al. 2009).

A kajszibarackban lévő vas fő feladata az oxigén-, a szén-dioxid-, illetve az elektronszállítás.

A cinket legnagyobb koncentrációban a szem, a haj és a férfi nemi szervek tartalmazzák; megtalálható a májban, vesében, izomban, a bőrben és a csontban. A vér cinktartalmának mintegy 80%-a a vörösvérsejtekben található. A cink számos enzim, továbbá az inzulin alkotórésze. Részt vesz a szénhidrát-, a zsír-, a fehérje- és nukleinsav-anyagcserében.

A kajsziarack a vízháztartásért, az idegi ingerátvitelért és a szív működésért felelős káliumot is gazdagon tartalmazza. Ásványi anyagainak a csontok és a szövetek újjáépítésében fontos szerepük van, növelik a sejtek energiáját, élettartalmát, fokozzák a vérképzést, mérséklék az asztmikus panaszokat. A kajszi a benne lévő kénnek köszönheti többek között édes-savanyú ízét.

2.3. Gyümölcslevek

A táplálkozás teljes értékűségét az egészség jelzi, a táplálkozás értéktelenségét a betegség.

A mai világban nem mindegy, hogy milyen táplálékot fogyasztunk, hisz a szervezetünket sok olyan hatástól nem tudjuk megvédeni, melyek tőlünk függetlenek. Gondoljunk csak a levegő, a víz szennyezettségére, a zajártalomra, és még lehetne sorolni a káros hatásokat, az utazás, a munkahely területén.

Azt azonban, hogy milyen élelmiszert fogyasztunk, illetve teszünk a család, sok esetben ellenőrizhetjük, befolyásolhatjuk.

A zöldségek, gyümölcsök, illetve belőlük készült minőségi termékek (gyümölcslevek, gyümölcskészítmények, nektárok stb.) fontos szerepet töltenek be az egészséges táplálkozásban, amelyekből naponta legalább háromszor kellene fogyasztanunk, s köztudott a zöldségek és gyümölcsök vitamin- és ásványianyag-tartalma és az egészséges életmódban betöltött szerepe. Számos vizsgálat kimutatta, hogy sokcivilizációs betegség kifejlődésének hátterében a rosthiányos táplálkozás áll. Többek között rosthiánnyal függ össze az elhízás (a kevés mozgás természetesen elősegíti), a cukorbetegség, a magas koleszterinszint, és az érlemeszesedés, székrekedés kialakulása is (ODES et al. 1993, ABATE és CHANDALIA 2003, INGVAR 2004).

A diétás rostok közé tartozik a pektin, a cellulóz, a hemicellulóz és a lignin, melyek a zöldségekben és gyümölcsökben találhatók meg, a sejtfalakat, vázanyagokat alkotják.

A diétás rost előnyös tulajdonságai közé tartozik még a koleszterin megkötése, illetve a zsiradékok felszívódásának csökkentése.

A diétás rost optimális szükséglete 30-40 g naponta. Magyarországon csak 10-15 g-ot fogyasztunk. Sok rostot főleg a zöldségek (zöldborsó, karfiol, bab), gyümölcsök (alma, birs, egres, ribizli), illetve a teljes kiőrlésű gabonák, korpafélék tartalmaznak. Ha túlzottan sok korpát fogyasztunk, a benne lévő fitinsav gátolja a K, Ca, Fe felszívódását a szervezetbe, így ezek a fontos elemek a rostokkal együtt kiürülnek a szervezetből. A zöldségek, gyümölcsök fogyasztása esetén, mivel ezek a fitinsavat nem tartalmazzák, ez a káros hatás nem áll fenn. Ezért is fontos, hogy minél több zöldséget, gyümölcsöt fogyasszunk, akár rostos levek formájában is folyadékpótlás céljából (NAGY et al. 2003).

2.3.1. A gyümölcsből készült termékek gyártáshoz használt nyersanyagok fogalommeghatározásai

A gyümölcs hagyományos és újszerű feldolgozású technológiájának részletezése előtt mindenképp fontosnak tartom a nyersanyagok és termékeik fogalmát tisztázni. A Magyar Élelmiszerkönyv 1-3-2001/112 számú 2. számú melléklete alapján a gyümölcsből készült termékek gyártásához használt nyersanyagok a következőképpen csoportosíthatjuk:

Gyümölcs

Ide tartozik mindenféle gyümölcs.

Gyümölcspüré

Olyan nem erjesztett, de erjeszthető termék, amelyet az egész vagy a meghámozott gyümölcs ehető részéből átpaszírozással nyernek a lé eltávolítása nélkül.

Sűrített gyümölcspüré

Gyümölcspüréből a víztartalom egy részének fizikai úton végzett eltávolításával nyert termék.

Gyümölcsvelő és -rostok

Azon termékek, amelyeket ugyanazon fajtájú gyümölcsök ehető részéből nyernek a lé eltávolítása nélkül. (A gyümölcsvelőnél nincs átpaszírozva a gyümölcshús, csak darabolva van a gyümölcs.)

Természetesen a nyersanyagok közé soroljuk még a cukrokat, mézet és a vizet is, de ezt nem részletezem, mivel ezek nem befolyásolják a technológia megértését.

2.3.2. Gyümölcsből készült termékek megnevezései, meghatározásai és jellemzői

A Magyar Élelmiszerkönyv 1-3-2001/112 számú előírás 1. számú melléklete alapján a gyümölcsből készült termékeket többféle megnevezéssel látták el, figyelembe véve a különböző feldolgozási technológiát. A következő négy kategóriát különböztetjük meg:

2.3.2.1. Gyümölcslé (juice)

A gyümölcslé olyan nem erjesztett, de erjeszthető termék, amelyet egészséges, megfelelően érett, friss vagy hűtéssel tartósított, egy- vagy többfajta gyümölcsből nyernek, és az előállításához felhasznált gyümölcs(ök)re jellemző színe, illata, íze van. Olyan gyümölcsléhez, amelyből a gyártás során elválasztották az aromát, a velőt és a rostot, ezek visszaadagolhatók.

A koncentrátumból (sűrítmenyből) előállított gyümölcslé olyan termék, amelyet a gyümölcslé besűrítése során kivont vízmennyiség, valamint a gyártási folyamatban a léből elveszett, saját vagy azonos típusú aroma, – és ha szükséges – velő és rostok visszapótlásával állítanak elő. A hozzáadott víz kémiai, mikrobiológiai és érzékszervi szempontból nem befolyásolhatja a gyümölcslé alapvető minőségét.

Az így előállított terméknek olyan érzékszervi és analitikai jellegzetességeket kell mutatniuk, amelyek alapvetően megegyeznek az azonos típusú gyümölcsből készült gyümölcslével.

2.3.2.2. Sűrített gyümölcslé

Olyan termék, amelyet egy vagy több típusú gyümölcsléből a víztartalom fizikai úton végzett részleges elvonásával állítanak elő. A közvetlenül a fogyasztónak szánt terméket legalább az eredeti térfogat 50%-ára kell besűríteni.

2.3.2.3. Gyümölcslé por

Olyan termék, amelyet egy vagy több típusú gyümölcsléből fizikai úton nyernek a víztartalom csaknem teljes elvonásával.

2.3.2.4. Gyümölcsnektár

(a) Olyan erjeszhető, de nem erjesztett termék, amelyet víz és cukor és/vagy méz hozzáadásával, gyümölcsléből, sűrített gyümölcsléből, gyümölcslé porból, gyümölcspüréből vagy e termékek keverékéből nyernek, és emellett megfelelnek a gyümölcsnektárokra vonatkozó speciális előírásoknak (Magyar Élelmiszerkönyv 1-3-2001/112, 4. számú melléklet). A cukor és/vagy méz hozzáadása a végtermék teljes tömegének 20%-áig engedélyezett. A cukor hozzáadása nélkül gyártott vagy kis energiaértékű gyümölcsnektárok esetében a cukor részben vagy teljes egészében helyettesíthető édesítőszerekkel (MÉ 1-2-94/35).

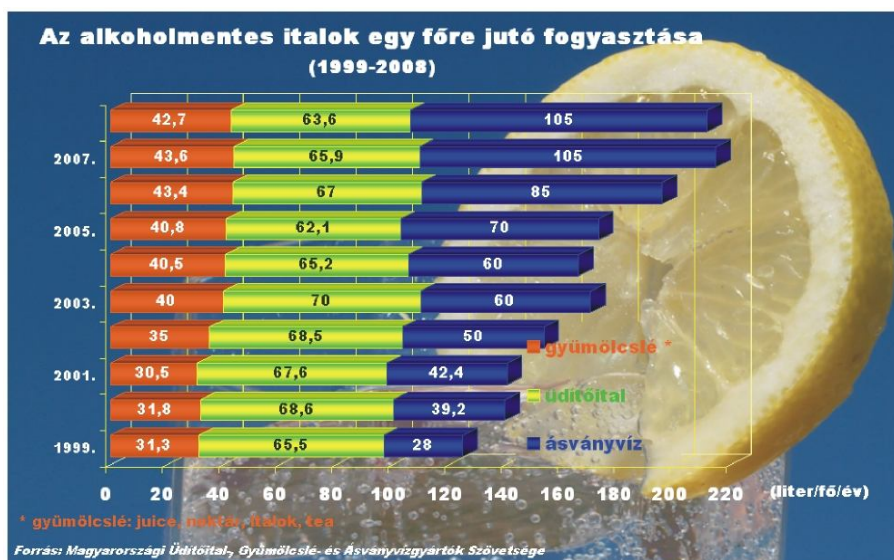
(b) Eltérően az előző (a) ponttól, a 4. számú melléklet II. és III. fejezeteiben felsorolt gyümölcsök, valamint a kajszibarack egyenként vagy egymással keverve is felhasználhatók cukor, méz és/vagy édesítőszerek nélküli nektárok előállítására.

2.3.2.5. Gyümölcsital

Olyan alkoholmentes ital, amely legalább 12 % gyümölcslevet tartalmaz (FVM Értesítő)

2.3.3. Gyümölcsitalok fogyasztása Magyarországon

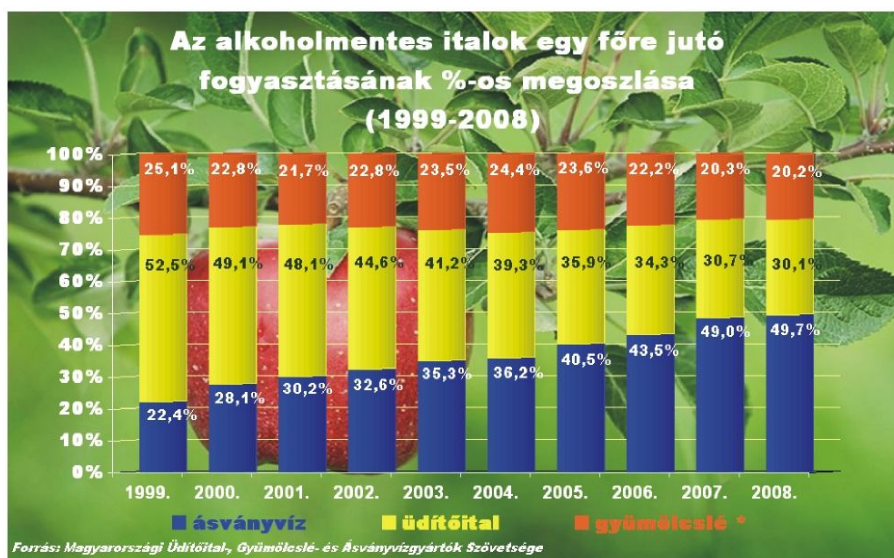
A hétköznapi szóhasználatban gyümölcsléként ismert termékek (juice, nektár, gyümölcsital, szénsavmentes üdítőital, ide tartoznak a teák is) az alkoholmentes italok csoportjába sorolandók. Az alkoholmentes italok egy főre jutó fogyasztása a Magyarországi Üdítőital-, Gyümölcslé-, és Ásványvízgyártók Szövetsége által leírt tanulmányban 10 év alatt közel kétszeresére nőtt. 2007-ben volt a legnagyobb a fogyasztás, megközelítette a 215 litert. A 2008. évben már érezhetővé vált a vásárlóerő csökkenése, a növekedés megtorpant, sőt a fogyasztás kismértékben csökkent (2.ábra).



2. ábra: Az alkoholmentes italok egy főre jutó fogyasztása 1999-2008 között

A magyarországi alkoholmentes italok piacából - bár az ásványvizek gyors térnyerése miatt csökkenő mértékben – 2004. évig a szénsavas üdítőitalok részesedése volt a legnagyobb, az összes egy főre jutó fogyasztás mintegy 40 %-a. A 2005. évben ez megváltozott, a vezető szerepet az ásványvíz vette át. A 2007. évben már közel 49 %-ra nőtt az ásványvizek aránya (3.ábra). A piaci részesedés a 2008. évben alig változott, és a szerkezet változása tartósan ígérkezik, tekintettel arra, hogy az alkoholmentes italokon belül ez az a termékcsoport, ahol a jövőben prognosztizálható lassú ütemű növekedés, miután a gazdaságilag fejlett országok fogyasztásától itt még van elmaradásunk.

A rendkívül széles választékban gyártott, az éles verseny miatt alacsonynak mondható árszinten tartott, a kereskedelemben folyamatosan akciózott alkoholmentes italoknál a 2008. évben átlagban, az inflációt alig követő, 6 % körüli az árnövekedés. Ezen belül a gyümölcsleveknél nagyobb az ármozgás, tekintettel arra, hogy ebben az árucsoportban az általános költségnövekedési tényezőkön (energiaárak, munkabérek, közterhek, stb.) túlmenően jelentős alapanyagár-növekedést okoztak a hazai, trópusi és citrusgyümölcsök kiugróan gyenge 2007. éves terméseredményei. Egyes gyümölcsfajtáknál az ár megkétszereződött, más fajtáknál 50-60 %-os volt az áremelkedés. A hazai gyümölcsök 2008. éves kedvező terméseredményeinek árcsökkentő hatását is lerontja a forint gyengülése, mely a citrusfélék és a trópusi gyümölcs-alapanyagok jelentős árnövekedését okozza.



3. ábra: Az alkoholmentes italok egy főre jutó fogyasztásának %-os megoszlása 1999-2008 között

A magyarországi alkoholmentes italgyártás jövőjét rendkívüli mértékben veszélyezteti az általános gazdasági válságon túlmenően, a csomagolási termékdíj-szabályozás, melynek módosítása további többletadó terheket rótt a 2009. évben a vállalkozásokra. A többletadót a jelenleg néhány % eredményt realizáló gyártók nem tudják kigazdálkodni, azt a fogyasztókra kell áthárítani, ami az eddig termékdíjfizetés alóli mentességet élvező gyümölcsleveknél mintegy 5-8 % áremelkedéssel jár. A 2008. évben mintegy 450 millió liter gyümölcslévet állítottak elő Magyarországon, melynek 75 %-át belföldön értékesítették, 25 %-át exportálták, elsősorban a már hagyományosnak számító keleti piacokra, de növekszik a nemzetközi gyártók tagországokon belüli kiszállítása is. A következő években hasonló termelési volumen, és Bulgária valamint Románia EU taggá, ezzel új versenytárrsá válásával némileg csökkenő export prognosztizálható. Az import a korábbi években ebből a termékcsoporthoz sem volt jelentős, EU tagságunkig alig haladta meg a fogyasztás 1-2 %-át. A változás ezen a területen is megfigyelhető. A több országban érintett gyártók termeléskoncentrációjának következményeként a 2006. évben már behozatalból származott az összfogyasztás mintegy 15 %-a, és a 2008. évben ez közelíti a 20 %-ot. A gyümölcslévek körébe tartoznak - gyümölcslétartalom szerinti megkülönböztetéssel - a 100 %-os levek (juice), a nektárok és az alacsony gyümölcstartalmú italok, de statisztika szempontjából itt szerepelnek az egyre népszerűbb teaitalok is. Az elmúlt években bekövetkezett lassú fogyasztásnövekedés jellemzően az alacsony gyümölcstartalmú, olcsóbb italoknál, ezen belül is a teáknál jelentkezik (4. ábra).



4. ábra: Gyümölcsléfogyasztás alakulása gyümölcslétartalom szerint

Tekintettel az általános gazdasági környezetre, a fizetőképes kereslet várható alakulására, az alacsonyabb gyümölcslétartalmú italok „sikerének” tendenciája a közlejtővőben lényegesen nem változik. Ugyanakkor az egészséges táplálkozásnak napjainkban egyre fontosabb szerepe van, és ez jellemzi a gyümölcslevek termékfejlesztését is. A piacon ez már kevésbé érezhető, hiszen táplálkozási szempontból a friss gyümölcsökhöz hasonlóan értékes 100 %-os levek a drága árkategóriába tartoznak, és itt a fizetőképes kereslet a meghatározó. Itt mindenképp nagyon fontos szerepet kap a membrántechnika, ami elősegíti a jobb minőségű és olcsóbb termék előállítását (KISS 2007).

2.4. Gyümölcsből készült termékek előállítása

Sokféle gyümölcsöt ismerünk, melyek szerkezete, külső megjelenése, beltartalmi értéke lehet hasonló és különböző is. Emiatt a feldolgozás is többféle. Itt csak a Magyarországon termelt, a gyümölcslégyártás szempontjából közkedvelt fajtákra térnek ki.

A kajsziarack a csonthéjas gyümölcsök csoportjába tartozik, „testvérei” a szilva, meggy, őszibarack, cseresznye. Ezek közül a meggy és cseresznye szolgál alapanyagul a sűrítmenny-gyártásnak, a többi csonthéjas gyümölcs félkész terméke inkább rostos formában van jelen.

A kajsziarack széleskörűen hasznosítható. Készíthető belőle befőtt, dzsem, velő, rostos lé, nektár, bébiital, aszaltvány és a közkedvelt pálinka is. Mivel rostban gazdag gyümölcs, ezért csak rostos kivitelben kapható a kisebb üzletek és a hipermarketek polcain.

A bogyós gyümölcsöket (málna, szamóca, ribizli) inkább tükrösített és sűrítmenny formájában használják, és ezekből a félkész termékekből állítják elő a gyümölcsleveket. Az almatermésűeknél

az almából szűrt és rostos készítmények, a birsből és körtéből inkább rostos termékek találhatóak (SCHOBINGER 1978, ASHURST 2005, BARTA 2007) a piacon.

2.4.1. Gyümölcspüré- és gyümölcsvelő-félkésztermék előállítása

A gyümölcspüré egy félkész termék, amely a gyümölcshús áttört, pépes formája, és nem tartalmazza a gyümölcs magját és héját.

A magyarországi gyümölcspürégyártás legfontosabb alapanyagai a bogyósok, csonthéjasok és az almatermésűek, de szinte minden gyümölcsből előállítható. A gyümölcsöt megtisztítják a felületére tapadt szennyeződésektől, ezáltal a fizikai, kémiai és mikrobiológiai tisztaságot növelik. A mosás hatékonyságát vízmozgatással növelik. Ezt követi a válogatás, ahol minden feldolgozásra alkalmatlan egyedet eltávolítanak. Ide tartoznak a gyümölcs közé került idegen anyagok, levél- és szárdarabok, romlóhibás gyümölcsök. A válogatást követi a durva aprítás, ahol a gyümölcs-nyersanyagot kisméretű, szabálytalan alakra aprítják, felszakítva ezzel a nyersanyag héját. A további feldolgozás szempontjából az aprításra azért van szükség, hogy az előfőzés hatékonyságát és egyenletességét elősegítsük, és a sejtnedvelválást biztosítsuk (HUI et al. 2006). Az előfőzésnek két fő feladata van, egyrészt a hő hatására felpuhul a gyümölcs szövetszerkezete, így könnyebb lesz a paszírozás, valamint a gyümölcsben lévő enzimek inaktiválódnak. A paszírozás nélküli félkésztermék a gyümölcsvelő, amit hőkezelés után csomagolnak. A gyümölcspépnek szánt gyümölcshúst paszírozzák, így apró alaki részekben gazdag pépet készíthetünk. Az áttörő gépek a centrifugális erő segítségével kényszerítik át a gyümölcsök lágy részeit a perforált szita felületen, ami az elválasztást végzi, a héj és magrészek a szita belső felületén maradnak. Magot tartalmazó gyümölcsöknél a paszírozó előtt magozó-áttörő egység található. A gyümölcspüré krémszerű állományának biztosítása, az alaki részek kiüledésének lassítása érdekében a gyümölcspépet homogenizálják. Tartósítását általában aszeptikus rendszerben hőkezeléssel, vagy fagyasztással oldják meg. A fehérhúsú gyümölcsből előállított püré aszkorbinsavat tartalmazhat a püré színének megőrzése érdekében, de egyéb élelmiszeradalék nem adható hozzá. A gyümölcspürét és gyümölcsvelőt önmagában nem fogyasztják, de számos gyümölcskészítmény (pl. lekvárfélék, rostos italok, bébi ételek) alapanyaga, valamint más élelmiszer-ipari ágazat (pl. édesipar, sütőipar, tejipar) termékeinek alkotója.

A gyümölcspürét előállítás után vagy natúr állapotban hőkezelik, vagy kis mértékben koncentrálnak 26-35 ref%-os szárazanyag-tartalomig.

A hagyományos hőkezeléses tartósítás során a terméket megfelelő edénybe rakva, légmentesen lezárva addig melegítik, míg a benne lévő mikroorganizmusok biztonsággal elpusztulnak.

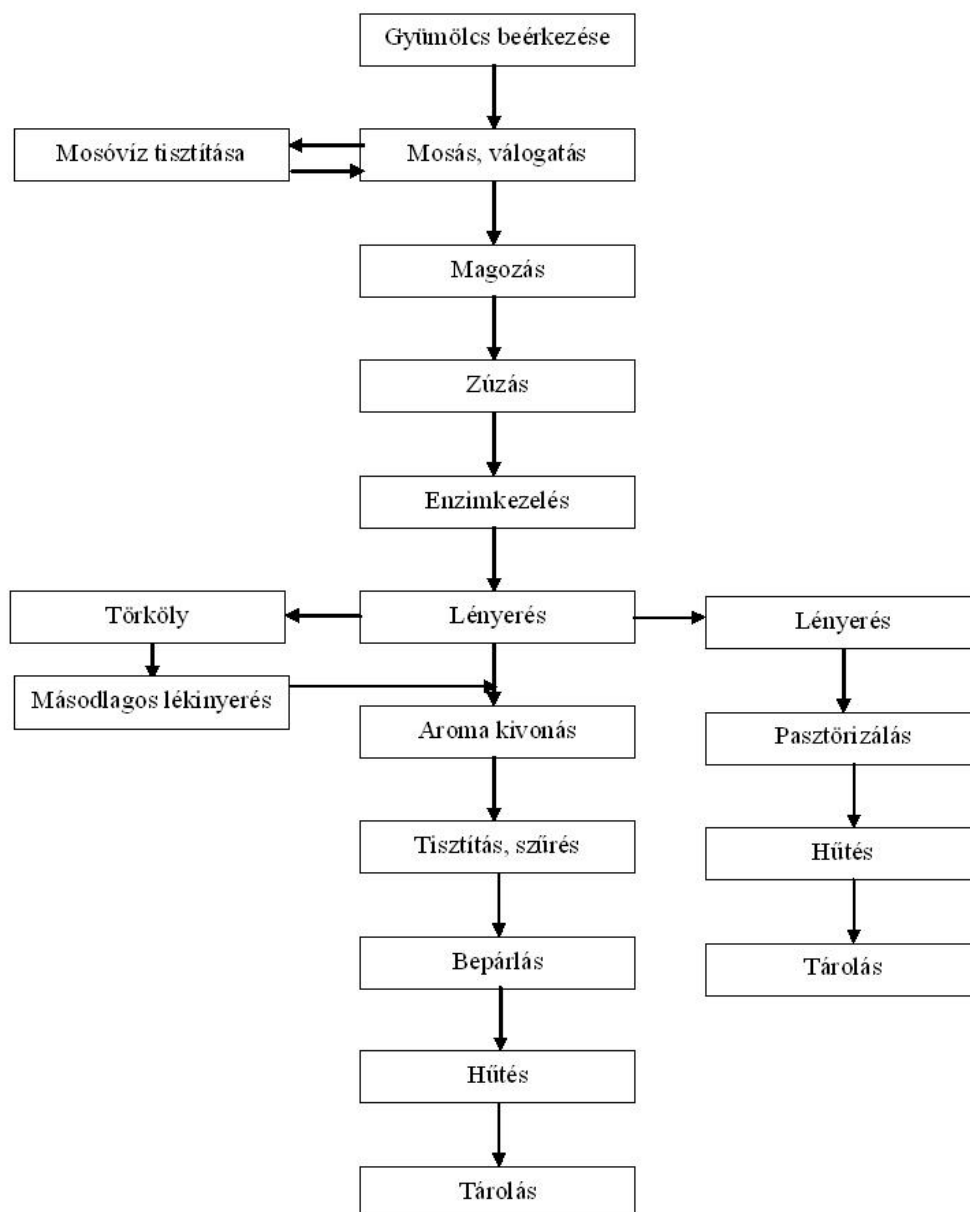
A gyümölcspürében lévő értékes anyagok nagyobb mennyiségének megőrzése céljából egy speciális módszert, az aszeptikus hőkezelést alkalmazzák. Az eljárás során a félkész terméket ömlesztett formában hőkezelik. A tartósítás átáramló rendszerben megy végbe rendszerint 90-120°C hőmérsékleten, igen rövid ideig 0,5-2 perces időtartam alatt, egy kapartfalú vagy hullámosított felületű, kettős cső a csőben, csőrendszerben. A pasztörözés után a félkész terméket a rendszer azonnal visszahűti (OTT 1990). A gyümölcspürét és gyümölcsvelőt egy speciális aszeptikus zsákba töltik és hermetikusan lezárják. Ezzel az eljárással a gyümölcsben található értékes anyagok csaknem teljes mértékben megmaradnak (SCHOBINGER 1978, HUI et al. 2006, BARTA 2007).

2.4.2. Gyümölcssűrítmény gyártása bepárlással

A gyümölcslégyártás fő tendenciája az, hogy a préselt levekből először sűrített gyümölcslevet készítenek, ami a gyümölcs préselt levét sűrített formában tartalmazza, mag-, héj- és szövetrészekről mentes natúr félkész termék, így az könnyen szállítható, tárolható és eltartható (ÁLVAREZ et al. 2000). A sűrített gyümölcslevekből ezután visszahígítással készterméket készítenek. Ezzel a technológiával mindig állandó minőségű gyümölcslétermékeket lehet előállítani.

Gyümölcssűrítményt almából, szőlőből és bogyósokból készít az ipar, csonthéjasokból, egyéb almatermésűekből ritkán állítanak elő sűrítményt.

A gyümölcspüré készítéséhez hasonlóan a sűrítmenygyártást is mosás, válogatás előzi meg. Ezt követi a magozás, zúzás majd a lényerés. Az összezúzott vagy pépesített gyümölcsöt préselés előtt enzimkezelik. Kajsziarack esetében pektinészterázt vagy poligalakturonáz összetételű enzimet alkalmaznak a lényeréshez (CHAUHAN et al. 2001). Az enzimkezelés célja a gyümölcsben található pektin (kocsonyásító anyag) gyors lebontása, és a lényerés hatékonyságának növelése úgy, hogy közben a gyümölcslében az erjedési folyamatok még nem indulnak el. A pektinbontó enzimek meglazítják a héj és a hús sejtjeit, ezáltal növelik a lékihozatait. A gyümölcs könnyebben tisztul és szűrhetőbbé válik. A pektin egy alapvető strukturális összetevője a gyümölcsöknek. Az éretlen gyümölcsben a pektin főleg oldhatatlan állapotban van jelen, de az érés során néhány pektin a héjon és a gyümölcshús sejtfalaiban fokozatosan lebomlik, ami azt eredményezi, hogy ezek poliszacharid összetevők alakját veszik fel, és ezen belül is az uronsavpolimerekhez tartoznak, amelyek a poliszacharidok csoportjának homopoliszacharid származékai (CSAPÓ és CSAPÓÉ 2003). Az enzimkezelés után történik a préselés, amikor is a levét és a rostanyagok jelentős részét különválasztjuk egymástól a hatékonyabb feldolgozás érdekében.

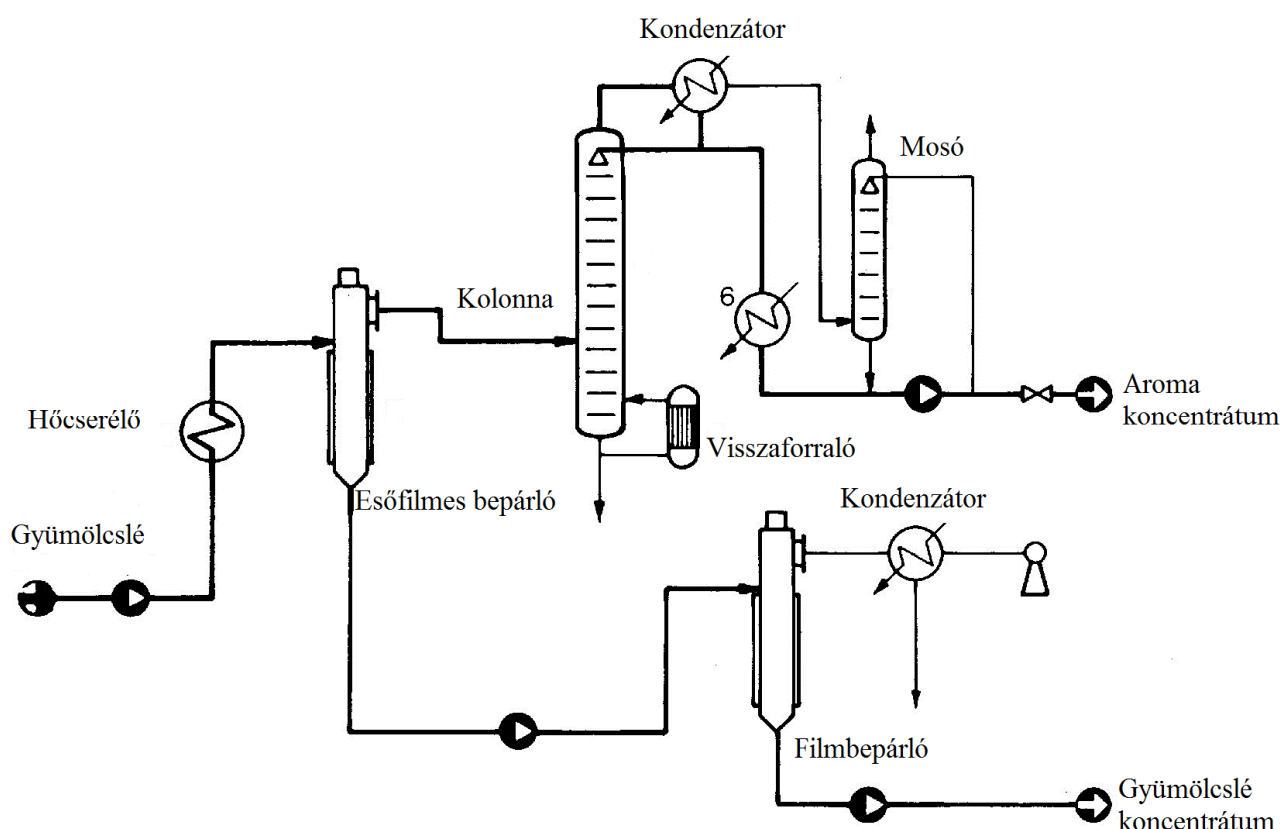


5. ábra: Gyümöcslésűrítmény előállítása bepárlással

A préselés műveletének technológiailag legfontosabb mérőszáma a lékihozatal, mely a kinyert lé mennyiségét jelzi a feldolgozásra kerülő anyagmennyiség százalékában. (BARTA 2007). Sokfajta szeparátor áll rendelkezésre; mind szakaszos, mind folyamatos termeléshez (FÁBRY 1995): tömörítő nyomásos (hagyományos szőlőprés, csomagprés), vízszintesen nyomásos módszer (szalagprés, csigaprés, pneumatikus prés) és a centrifugális elven működő dekanterek (FÁBRY 1995, NAGEL 1992). A gyümöcslésfeldolgozás lépéseit az 5. ábra mutatja.

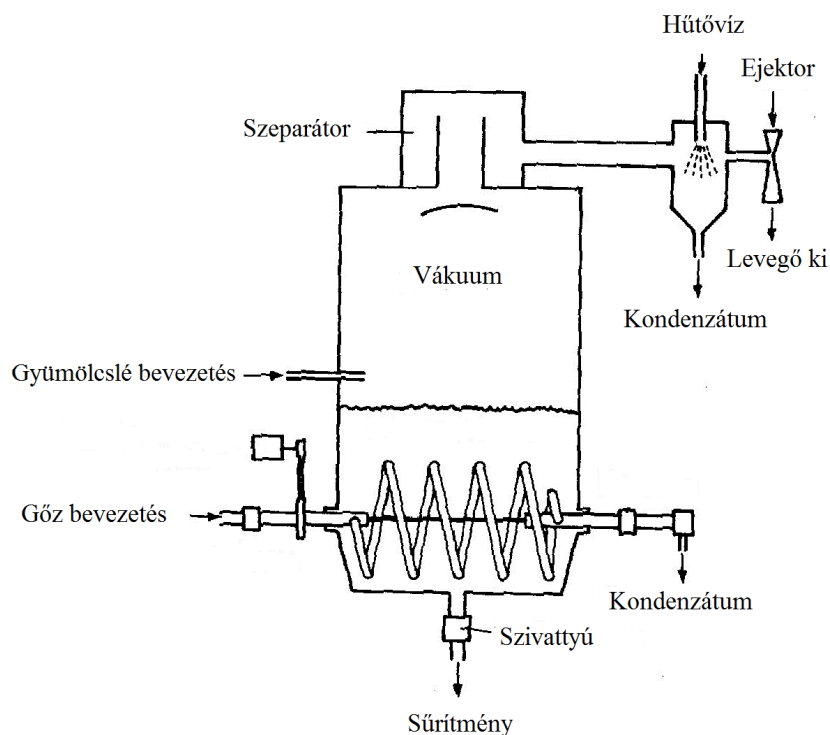
Az iparban a kipréselt „nyers” levet bentonittal, kovasavszózzal vagy kis mennyiségű aktív szénnel derítik, ezután a keletkezett csapadékot, a gyümöcslébe szuszpendált rostot kovaföldes szűréssel vagy ultraszűréssel (CSISZÁR 1991) eltávolítják. Az így kapott tükrös gyümöcslé magas szárazanyag-tartalomra történő besűrítéséhez többtestes bepárlókat vagy vákuumbepárlókat

alkalmaznak. A bepárlók energiaköltsége magas, amely egyrészt a gyümölcsléből történő víz elpárologtatásából adódik, másrészt a készterméket az előállítást követően hűteni kell a csomagolás hőmérsékletére. Ha a bepárlás atmoszférikus nyomáson történik, a gyümölcslé forrásponti hőmérséklete 100-106 °C (FONYÓ és FÁBRY 2004) között változik. Ez a magas hőmérséklet az aroma- és ízanyagok és vitaminok nagymértékű károsodását okozza. Az aromaanyagok visszanyerésére aromafelfogót építenek be (6. ábra) a rendszerbe, és ezt vagy teljes mértékben visszaadagolják, vagy természetes aromaanyagként hasznosítják (BAGGER-JORGENSEN et al. 2004).



6. ábra: Kombinált bepárlás aromakinyeréssel

A másik eljárás a problémák kiküszöbölésére a légritkított térben (vákuumban) történő vízelvonás (7. ábra) ugyanúgy aroma-visszanyerővel (az aroma visszanyerés a bepárlás előtt már megtörténik), mellyel viszonylag alacsony, 40-60°C-os hőmérsékleten lehet elvégezni a műveletet (BARBE et al. 1998, CSISZÁR 1991).



7. ábra: Vákuumbepárlás vázlata

A vákuumbepárlás hátránya, hogy meglehetősen költséges, előnye viszont, hogy az ízanyagok és vitaminok nagyrészt benne maradnak a sűrítményben. Másik hátránya, hogyha az iparban a tükrösítés nem membránszűréssel történik, akkor pektin metilészterázok maradhatnak a gyümölcslében. A vákuumbepárlásnál alkalmazott hőmérséklet nem elegendő a pektin metilészterázok inaktiválásához, így a koncentrátum kocsonyásodhat, ezért a vákuumbepárlást egy 95°C-os hőkezelés kell, hogy kövesse, ami az energiaköltségeket szintén növeli (ASHURST 2005).

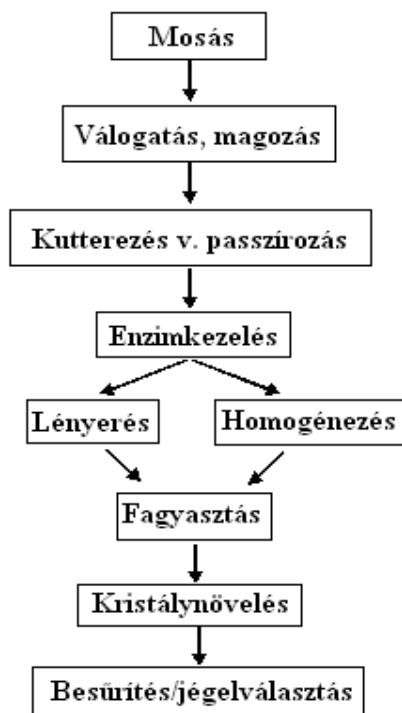
A korábbi bepárlók a lé keringtetésével működtek, amíg el nem érték a kívánt koncentrációs fokot. Ez szintén megnövelte a hő hatásának időtartamát. Azóta az ipar újabb bepárlókat fejlesztett ki, hatékonyabb, többlépcsős, egyszeri átfutású kivitelezésekben. Számos bepárló típus terjedt el a gyümölcs- és zöldséglevék töményítésre is. Minden esetben az a cél, hogy a termék értékes anyagait megőrizze, így a sűríteni kívánt levet általában vékony rétegben, kis tartózkodási idővel koncentrálják. Néhány egyszeri átfolyással működő bepárló típus látható a 3. táblázatban.

3. táblázat: Bepárló típusok a gyümölcslegyártásban (SCOBINGER 1978, FONYÓ és FÁBRY 2004, MIKKELSEN és POLL 2002, VARMING et al. 2004)

Bepárlótípusok	Fokozatok száma	Tartózkodási idő	Viszkozitás határ (mPas)
Vákuum bepárló	1	1- több óra	-
Kúszóáramú bepárló recirkulációval	1	1/2- 1 óra	100
Kúszóáramú bepárló	1	1 perc	100
Esőfilmes bepárló	1	1 perc	200
Esőfilmes bepárló	5	4 perc	200
Lemezes bepárló	3	4 perc	300-400
Filmbepárló	1	20-30 sec	20 000
Centrifugál bepárló	1	1-10 sec	20 000

2.4.3. Gyümöcslésűrtmény gyártása kriokoncentrálassal

Mivel a bepárlásos művelet során számos probléma jelentkezik mind az értékes anyagok tekintetében, mind az energiafelhasználást illetően, így a kutatások egy másikfajta töményítési eljárás irányába is elindultak már az '50-es években, ez az eljárás volt a kriokoncentrálás (RAVENTÓS et al. 2007). A kriokoncentrálás során a gyümöcslé előkészítése teljesen megegyezik az előbbi fejezetben részletezett technológiával, a betöményítés műveletében van számottevő különbség (8. ábra). A kriokoncentrálás során hőt vonnak el a besűrítendő anyagból. A gyümöcslévet 0°C alá hűtik egy kapart falu hőcserélőben, így a benne található vízmolekulák megfagynak (ASHURST 2005). A keletkezett jégkristályokat fizikai módszerrel távolítják el. A szeparátornak három alaptípusát különböztetjük meg. Van a centrifugával történő elválasztás, préseléses szétválasztás és mosóoszlopos szeparálás (SCHOBINGER 1978, BARTA 2007). A visszamaradt oldat a sűrítmény. A művelet előnye, hogy környezet- és termékkímélő, hátránya viszont, hogy a kriokoncentrálás kétszer olyan drága, mint a bepárlás aromavisszanyerővel a nagy hőelvonás miatt, valamint a gyümöcskoncentrátum maximális szárazanyag-tartalma (40-50 °Brix) mellett a jégkristályok is tartalmazznak szárazanyagot és értékes komponenst (SCHOBINGER 1978).



8. ábra: Kriokoncentráció lépései

A kriokoncentráció alkalmas hőérzékeny levek, folyadékok sűrítésére, mivel nincs illékony komponens és vitaminvesztés (AIDER, DE HALLEUX, 2008), csak ebből a szempontból jobb a technológia a bepárlás műveleténél.

A fagyasztva sűrítés hatékonyabb, ha az élelmiszert előzőleg kezeltük, pl.: ha az enzimet (pektinészteráz) inaktiváltuk, a velőt és pektint eltávolítottuk. Korábbi cikkek kivi, bogyós gyümölcsök és citrusfélék fagyasztva sűrítésével foglalkoztak. A makromolekulák (pl. fehérjék, keményítők) káros hatással vannak a kristályosodásra, ezért előzőleg ultraszűréssel eltávolíthatjuk, majd a koncentrált léhez visszaadagolhatjuk ezeket.

A másik módszer a szilárd alkotórészek szuszpenzióból való eltávolítására, ha előhűtést alkalmazunk, így a szilárd részek kicsapódnak, és ezt a csapadékot adjuk hozzá a besűrített léhez. A gyümölcslé viszkozitása a koncentráció emelkedésével és a hőmérséklet csökkentésével nő. A jégkristályok sűrítmenytől történő elválasztásának hatékonysága fordítottan arányos a termék viszkozitásával.

Lemezes kriokoncentrációnál a sűrítendő anyagot folyamatosan áramoltatjuk a lemezek felületén. A lemezek belsejében hűtőközeg áramlik, amely elvonja a hőt a folyadéktól, így a felületen jégkristályok válnak ki. A lemezes kivitel előnye a hagyományos kristályosítóhoz képest, hogy egyszerűbb és gazdaságosabb, mivel a sűrűsödő lé gravitációs úton választódik el a jégtől (lecsurog a lemezeken) – így nem kell mosóoszlop vagy centrifuga – valamint légköri nyomáson működik. A legfontosabb paraméterek a jégkihozatal és a jégkristályok oldottanyag tartalma. A fagyasztás

folyamata a lemezes kristályosítónál lassú, mivel a kristályok növekedése érvényesül a kristályképződéssel szemben. A víz és szacharóz elegyének fagyasztva sűrítését vizsgálva 5 % és 40% cukortartalmú elegyek esetén a jégkristályok cukortartalma 0,4 %, illetve 26,5 % volt. Ezen eredmények alapján a lemezes kriokoncentrátor alacsonyabb töménységű oldatoknál a hatékonyabb. Turbulens áramlás esetén az oldat eloszlása a lemezeken egyenletesebb, és a jég kevesebb oldott anyagot tartalmaz. A fenti adatok alapján az egylépcsős lemezes kristályosító kevésbé hatékony, mint a hagyományos, mosó oszloppal ellátott szuszpenziós kristályosító. Nagyon nehéz tiszta jégkristályokat előállítani egy lépcsőben, ha a töményítendő oldat koncentrációja 20 és 40 tömeg % között van. Megoldás lehet, ha az oldott anyagot (jelen esetben cukrot) tartalmazó jeget felengedve fordított ozmózis berendezésen töményítjük be.

2.4.4. Gyümölcslésűrítmény gyártása többlépcsős membrántechnikával

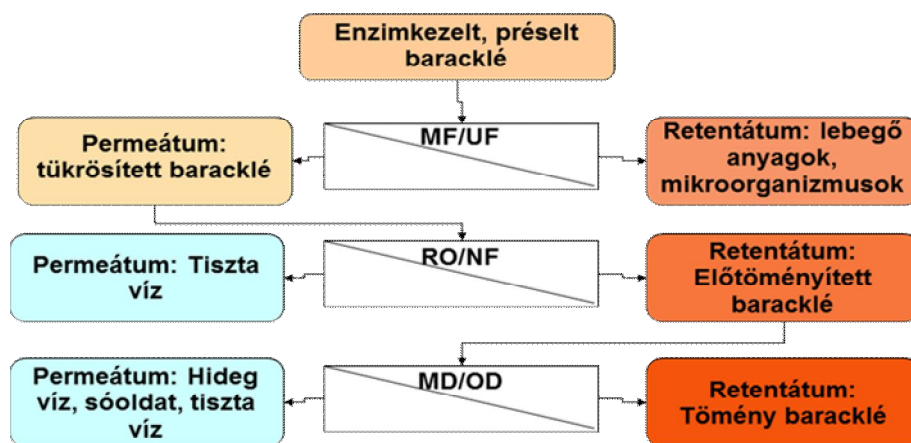
Az utóbbi évtizedekben számos kutatás irányult olyan szűrési és besűrítési műveletek kifejlesztésére, amelyek segítségével olcsón és kíméletesen lehet gyümölcslésűrítményeket előállítani. A kutatások nagy többsége a membrántechnológia alkalmazhatóságát vizsgálta. A membránszűrési alpműveleteket (mikroszűrés, ultraszűrés, nanoszűrés és fordított ozmózis) ma már elterjedten használják az élelmiszeripar egyes területein.

A mikroszűrést (MF) és ultraszűrést (UF) a levekből a mikroorganizmusok, enzimkezelésből visszamaradt pektinek, keményítők, rostanyagok kiszűrésére és alkoholos és alkoholmentes italok (HE et al. 2007, TASSELLI et al. 2007, USHIKUBO et al. 2007, JAEGER DE CARVALHO et al. 2008, KOZÁK et al. 2008,) tükrösítésénél alkalmazzák.

Kutatások folynak a nanoszűrés (NF), fordított ozmózis (RO) alkalmazására elősűrítmények előállításához (ALVAREZ et al. 1997, BÁNVÖLGYI et al. 2006, REKTOR et al. 2007, VINCZE et al. 2007). Az előtöményítéshez alkalmazott műveleteknél a nyers tükrösített levét amely kezdeti szárazanyag tartalma gyümölcsfajtánkként változó (6-14°Brix), a két művelet segítségével 20-25 °Brix tartalomig lehet besűríteni, szobahőmérsékleten (25-35°C) magas nyomás alkalmazásával.

A magasabb koncentrációra történő sűrítéshez az ozmotikus (OD) és membrán desztilláció (MD) mutatkozik megfelelő membrános műveletnek (CHIAMPO és CONTI 1999; ÁLVAREZ et al. 2000, CAMPOS et al. 2002; WARCZOK et al. 2004, RODRIGUES et al. 2004, JIAO et al. 2004, ALVES és COELHO 2006, REKTOR et al. 2006, CASSANO és DRIOLI 2007). Ezekkel a műveletekkel akár 70-75 °Brix-es gyümölcsle-koncentrátumot is elő lehet állítani.

Membránművelettel való koncentrálás esetén érdemes három lépcsős kezelést alkalmazni, amit a 9. ábra mutat.



9. ábra: Kajsziparack koncentráció membránműveletekkel

A membránszűrés előnye a bepárlással, és a vákuumbepárlással szemben, hogy a töményítés során kismértékű az aromavesztés és az ízanyagokat és vitaminokat is megőrzi a technológia az alacsony hőmérséklet miatt. Nem kell hőkezelést alkalmazni, mivel a membránok kiszűrik a romlást okozó mikroorganizmusokat, kórokozókat, a problémát jelentő pektinmaradványokat és a keményítőt is. Nincs szükség aromakinyerésre. Ezáltal az üzemeltetési költség alacsony. A beruházási költséget a magas nyomású szivattyúk és a membránmodulok növelik, és ezen belül is a membránmodulok rövid élettartama (1-2 év), ami jelentős költséget eredményez. A rövid élettartam a pórusok eltömődéséből és a membránok átszakadásából fakad. Ennek kiküszöbölésére számos kutatás indult (MI és ELIMELECH 2010). A technológia gazdasági szempontból való optimalizálására mindenképp nagy figyelem fordul a membrán desztillációnál (MD) alkalmazott hűtési és fűtési energia csökkentésére és az ozmotikus desztillációnál (OD) használt sóoldat hatékony és olcsó újrahasznosítására vagy másféle sóoldatok kipróbálására (CELERE és GOSTOLI 2004). Mivel ezek az eljárások általában keresztáramban (11. ábra) történnek, ezért a folyamatos cirkulálás miatt az anyag a sűrűlődségek következtében kis mértékben melegszik, ezért mindenképp szükség van vízűtés alkalmazására.

2.5. Membránműveletek

A membránműveletek szétválasztási eljárások esetében valamilyen hajtóerő hatására különböző komponenseket molekuláris méretben lehet szétválasztani. A membrán egy olyan réteg, amely elválaszt két fázist és rajta keresztül szelektív transzport megy végbe a fázisok között. A művelet hajtóereje lehet nyomáskülönbség (MF, UF, NF, RO), vagy gőznyomáskülönbség (pervaporáció), hőmérsékletkülönbség (membrándesztilláció), ozmózisnyomáskülönbség (ozmotikus desztilláció), illetve lehet anyagáram (abszorbens, extragens).

Többféle membránművelet különböztethető meg a folyamat hajtóereje, anyagátadási mechanizmusa és a membránon áthaladó komponens alapján (4. táblázat) (WAGNER 2001, BÉLAFINÉ 2002, FONYÓ és FÁBRY, 2004,).

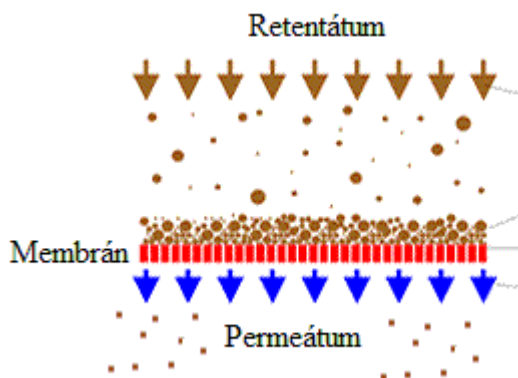
4. táblázat: Membránműveletek csoportosítása

Művelet	Hajtóerő	Anyagátadási mechanizmus
Mikroszűrés (MF)	Nyomáskülönbség	Konvekció, szitahatás
Ultraszűrés (UF)		Konvekció, szitahatás
Nanoszűrés (NF)		Konvekció, szitahatás
Fordított ozmózis (RO)		Diffúzió
Pervaporáció (PV)	Gőznyomás-különbség	Diffúzió
Membrán-abszorpció (MAB)	Koncentráció-különbség	Diffúzió
Membrán-extrakció (MEX)	Koncentráció-különbség	Diffúzió
Membrán-desztilláció (MD)	Hőmérséklet-különbség	Diffúzió
Ozmotikus desztilláció (OD)	Ozmózisnyomás-különbség	Diffúzió
Gázszeperáció (GS)	Koncentráció-gradiens	Diffúzió
Elektrodialízis (ED)	Elektromos potenciálkülönbség	Diffúzió

A membránszűrés kétféleképpen valósítható meg:

- Statikus vagy „dead-end” szűrés

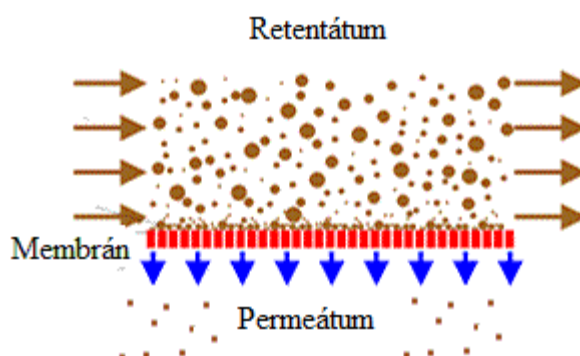
Ezt a módszer olyankor alkalmazzák, amikor a kiszűrendő komponens koncentrációja alacsony, kisebb mint 0,1%. Ebben az esetben, a szűrendő folyadékáramot merőlegesen, a folyadék áthaladásához szükséges nyomás biztosításával vezetik a membránra (10. ábra). Ilyen módon, a membrán felületén a kiszűrt részecskék szűrőréteget fognak alkotni. Ez a fajta megvalósítás a hagyományos szűrési eljárásokra nagymértékben hasonlít, és analóg módon modellezhető.



10. ábra: Statikus vagy „dead-end” szűrés vázlata

- Keresztáramú vagy „cross-flow” szűrés

A membránszűrésnek ez a formája az elterjedtebb. A szűrés során a membrán felületére párhuzamosan, nagy sebességgel áramoltatjuk a folyadékot, ami megakadályozza a szűrőlepleny kialakulását, mindössze egy vékony filmréteg keletkezik (11. ábra). Így csökkenthető a szűrő eltömődése és a szűrőteljesítmény nagymértékű romlása az idő függvényében. Az eljárás során a nyomáskülönbség hatására a folyadék egy része áthatol a membránon (Permeátum), az elegy főárama pedig továbbviszi magával a visszatartott molekulákat (Retentátum), ezáltal koncentrációja a szűrés előrehaladtával nő (BÉLAFINÉ 2002).



11. ábra: Keresztáramú vagy „cross flow” szűrés vázlata

2.5.1. Membránok jellemzése

A membránokat anyaguk szempontjából két csoportba sorolhatjuk: biológiai (természetes) vagy szintetikus membránok. A szerves anyagokból készült membránok (pl. kerámia, üveg, fém, zeolit) tulajdonságai, mint a kémiai-, és hőstabilitásuk, sokkal kedvezőbbek, mint a polimer alapúaké. A szilárd membránfajták jellegüket tekintve lehetnek pórusosak, illetve pórusmentesek. A pórusos típusúaknál (pl. MF, UF) a részecskeméret-különbség alapján történik a szétválasztás. A pórusmentes membránok felhasználási területei a gáz- és gőzszeparáció, a pervaporáció, a dialízis, illetve a fordított ozmózis.

A membránok megjelenési formájuk szerint lehetnek lapmembránok, spiráltekercs modulok, csőmembrán modulok, üreges szál vagy kapillármodulok.

Membrán áteresztő képessége, fluxus

A membrán teljesítményét az áteresztőképességgel (J) jellemezzük, az 1. egyenlet alapján.

$$J = \frac{V}{A \cdot t} \text{ [L/(m}^2\text{h)]} \quad (1)$$

ahol V [L] – a permeátum térfogata, A [m²] – a membrán felülete, t [h] – az idő

Visszatartás

Az elválasztásnak a teljesítményét a visszatartással (2. egyenlet) jellemezhetjük (R):

$$R_v = \frac{c_B - c_P}{c_B} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

ahol c_B – a betáplálási áramra vonatkozó oldott anyag koncentráció, c_P – a permeátumra vonatkozó oldott anyag koncentráció

Ha R=0, a membránon minden anyag zavartalanul átáramlik (nincs visszatartás), ha R=100, a membrán az oldott anyagokat teljesen visszatartja.

Sűrítési arány

Szakaszos szűrés esetén számolható (3. egyenlet) a sűrítési arány (f):

$$f = \frac{V_F}{V_R} \text{ [m}^3\text{/m}^3\text{]} \quad (3)$$

ahol V_F [L] – a betáplált elegy térfogata, V_R [L] – a retentátum térfogata

Sűrítési arányt lehet számolni a koncentrációból is:

$$f_c = \frac{c_R}{c_B} \text{ [(g/L)/(g/L)]} \quad (4)$$

ahol c_R – a retentátumra vonatkozó oldott anyag koncentráció [g/L], c_B – a betáplált elegyre vonatkozó oldott anyag koncentráció [g/L]

Kihozatal

A permeátum és a betáplált elegy térfogatának viszonyát a kihozatal (K_h) jelöli (5. egyenlet).

$$K_h = \frac{V_P}{V_F} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

Transzmembrán nyomáskülönbség

Fontos paraméter a transzmembrán nyomáskülönbség. Ha ismerjük a membrán előtti (p_1) és utáni (p_2) nyomást, a permeátum oldali nyomást (p_0) (mindegyik mértékegysége bar-ban értendő), akkor a transzmembrán különbség (Δp_{TM}) a következő összefüggésből meghatározható (6. egyenlet):

$$\Delta p_{TM} = \frac{p_1 + p_2}{2} - p_0 \text{ [bar]} \quad (6)$$

Rendszerint $p_0=1$ bar

A membránok további jellemzésére alkalmas a vágási érték (MWCO, molecular weight cut off), amely azt a molekulatömeget jelenti, amelyet a membrán 90%-ban visszatart.

Szelektivitás

A szelektivitást az ún. szeparációs (vagy szelektivitási) faktorról adhatjuk meg. Egy A és B komponensből álló elegynél a szelektivitási tényező $\alpha_{A/B}$ a következő módon számítható:

$$\alpha_{A/B} = \frac{\frac{y_A}{x_A}}{\frac{y_B}{x_B}} [-] \quad (7)$$

ahol y_A és y_B a két komponens koncentrációja a permeátumban [mol/mol], míg x_A és x_B a sűrítményben [mol/mol].

A szelektivitási tényező értéke egynél nagyobb. Ha a B komponens jut át a membránon nagyobb mértékben, akkor érdemesebb $\alpha_{B/A}$ –ként definiálni a faktort. Abban az esetben, ha a szelektivitási tényező értéke 1, nincs szeparáció (BÉLAFINÉ 2002).

2.5.2. Klasszikus membránszűrési műveletek

A klasszikus membránszűrési eljárásokat pórusméret és nyomáskülönbség alapján az 5. táblázatban látható módon csoportosíthatjuk.

5. táblázat: Klasszikus membránszűrési műveletek csoportosítása (MULDER 1997, CHERYAN 1998)

Művelet	Pórusméret	Nyomáskülönbség (bar)	Visszatartott molekulák
Mikroszűrés	~ 0,1-1 μm	1-3	Lebegő részecskék, baktériumok, koloidok, pektin, keményítő
Ultraszűrés	~ 0,01-0,1 μm	3-8	Makromolekulák, fehérjék, vírusok
Nanoszűrés	~ 0,001-0,01 μm (1-10 nm)	10-40	Nagyobb molekulák, cukrok, kétértékű ionok
Fordított ozmózis	~ 0,1-1 nm	10-60	Konyhasó, egyértékű ionok, aminosavak

Megfigyelhető, hogy a pórusméret csökkenésével az alkalmazott nyomáskülönbség nő.

Mikroszűrés (MF): mikroszűréssel a lebegő részecskéket, illetve a baktériumokat és a gombákat lehet eltávolítani a kezelt folyadékból. A kiszűrendő komponensek oldatlan állapotban vannak jelen, szuszpenzió vagy emulzió formájában. A membránszűrők közül a mikroszűrő membránok rendelkeznek a legnagyobb pórusmérettel (0,1-1 μm), és ez az egyike a klasszikus szűrési műveleteknek. A membránellenállás kicsi, ezért az alkalmazandó nyomáskülönbség is alacsony (1-3 bar). Az eljárást szakaszos, illetve folyamatos üzemmódban is alkalmazzák.

Alkalmazási terület: tej hideg sterilizálása, sörélesztő kiszűrése a fermentléből, bor, gyümölcslevek tükrösítése, híg cukoroldatok tisztítása, stb (REKTOR és VATAI 2004, REKTOR et al. 2004, BEKASSY-MOLNAR és VATAI 2006). A mikroszűrést legtöbb esetben nanoszűrés és fordított ozmózisos besűrités követi.

Ultraszűrés (UF): ultraszűrésnél a nagyméretű kolloid részecskéket, a mikroorganizmusokat, az iszapot és a nagy molekulatömegű vegyületeket, mint a fehérjéket, illetve vírusokat távolítják el. Leggyakrabban a keresztáramú szűrési módot alkalmazzák 3-8 bar nyomáskülönbséggel. Ennél az eljárásnál is alkalmazható mind a szakaszos, mind a folyamatos üzemmód. A pórusméret akár egy nagyságrenddel is kisebb lehet, mint a mikroszűrésnél, azaz 0,01-0,1 μm . Az ultraszűrő membránok jellemzője a vágási érték, ami azt a molekulatömeget jelenti, amelyet a membrán 90%-ban visszatart. Ez az érték 1 és 1000 kDa között van, a molekula alakjától függően.

Alkalmazási terület: Főleg az ivóvíztisztítás és szennyvízkezelés területén terjed el, de alkalmazza az élelmiszeripar tejsavó feldolgozásánál a fehérjék besűritésére, tojásfehérje töményítésére szárítmány készítése előtt, sajtgyártásnál, enzimek tisztítására, gyümölcslevek tükrösítésére (GALAMBOS et al. 2004, GALAMBOS et al. 2005, KORIS et al. 2005, CASSANO et al. 2006, CASSANO et al. 2007, TASSELLI et al. 2007, JAEGER DE CARVALHO et al. 2008, VATAI et al. 2009).

Nanoszűrés (NF): nanoszűréssel a nagyméretű molekulákat, mint a cukrok és a kétértékű ionok, lehet eltávolítani. A membrán pórusmérete az 1-10 nm közötti tartományban helyezkedik el, az alkalmazott nyomás 10-40 bar. Vágási értéke 100-500 Da közötti értéknek felel meg. Az előbb leírtakon kívül jellemzi még a konyhasóvisszatartása, ami 30-70% lehet (MULDER 1997).

Alkalmazási terület: növényolaj-finomítás, tejsavó részleges sóalanítása és besűritése, alkoholmentes sörgyártás, egyes gyümölcslevek besűritése (SERES et al. 2004, VINCZE és VATAI 2004, WARCZOK et al. 2004, ATRA et al. 2005, BÁNVÖLGYI et al. 2006a, BÁNVÖLGYI et al. 2006b, ROMÁN et al 2009).

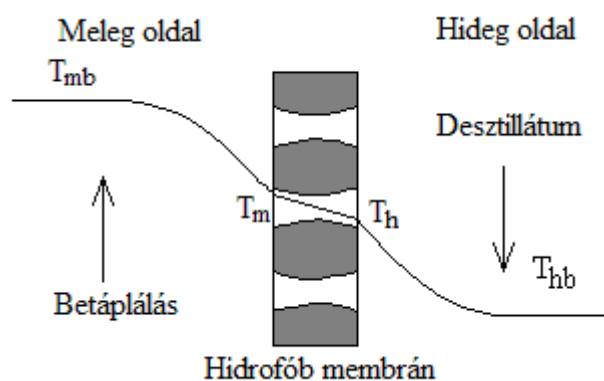
Fordított ozmózis (RO): a membrán pórusmérete 1-10 nm közötti érték lehet. Fordított ozmózissal az aminosavak, a konyhasó és az egyértékű ionok szűrhetőek ki. A membrántól függően a

sóviasszatartás akár a 99%-ot is elérheti. A kisméretű pórusok és az ozmózisnyomás leküzdése miatt itt a legnagyobb az alkalmazott nyomás: 10-60 bar. Kutatások szerint nagy nyomású (100-200 bar) fordított ozmózis berendezéseket is használnak (GÜNTHER et al. 1996). A szétválasztás mechanizmusát sokfajta módon magyarázták: szitaeffektuson alapuló, nedvesített felületen alapuló, szorpciós-kapilláris hatáson alapuló mechanizmus és az oldódás – diffúziós modell (BÉLAFI-BAKÓ et al. 2000, BRANDHUBER 1999, RAUTENBACH 1997).

Alkalmazási területei: tengervíz sótalanítása, szennyvizek tisztítása, cukorgyártás, gyümölcslevek besűrítése (MATTA et al. 2004, VINCZE et al 2006, JESUS et al. 2007, REKTOR et al. 2007, BÁNVÖLGYI et al 2009).

2.5.3. Anyagátadási membránműveletek

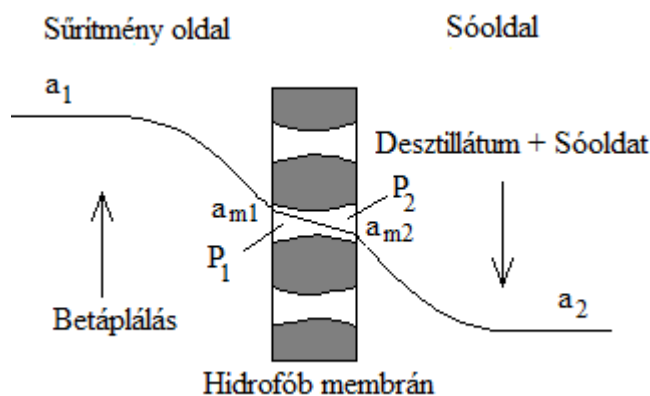
Membrán desztilláció (MD): membrán desztillációnál két különböző hőmérsékletű elegyet áramoltatnak a membrán két oldalán. A hőmérsékletkülönbség gőznyomáskülönbséget okoz, ezáltal a gőzmolekulák az alacsonyabb gőznyomású hely felé kezdenek vándorolni. A folyamat a következőképpen zajlik le: a magasabb hőmérsékletű oldalon a víz elpárolog, a gőzmolekulák átdiffundálnak a membránon, és az alacsonyabb hőmérsékletű oldalon lekondenzálnak (12. ábra). A meleg oldalon a párologás következtében a hőmérséklet csökkenni, a hideg oldalon a kondenzáció miatt pedig növekedni fog. Vizes oldatok esetén hidrofób membránt alkalmaznak, ugyanis a folyadékok nem nedvesíthetik azt. Az eljárás jól alkalmazható gyümölcslevek kíméletes töményítésére (DRIOLI et al. 1992, LAESON és LLOYD, 1997, LAGANA et al. 2000, ELBOURAWI et al. 2006, KOZÁK et al. 2006, KOZÁK et al. 2009).



12. ábra: Membrán desztilláció (MD) elvi vázlata

Ozmotikus desztilláció (OD): az ozmotikus desztilláció hajtóereje, a membrán két oldala közötti ozmózisnyomás-különbség. A membrán desztillációhoz hasonlóan, hidrofób membránt alkalmaznak. A membrán egyik oldalán híg oldatot, a másik oldalán tömény oldatot áramoltatnak. Ozmotikus nagy koncentrációjú oldatok a glicerín, a NaCl, a CaCl₂, a MgSO₄ vagy a K₂HPO₄. Az

ozmotikus nyomáskülönbség miatt a vízmolekulák a hígabb oldatból a töményebbe vándorolnak át, mégpedig olyan módon, hogy a nagyobb vízaktivitású oldatból a víz elpárolog, és diffúzióval jut át a membrán pórusain a kisebb vízaktivitású oldatba, majd ott lecsapódik (13. ábra). Így a két oldat nem érintkezik közvetlenül egymással, aminek fontos szerepe van az élelmiszeriparban (THANEDGUNBAWORN et al. 2007).



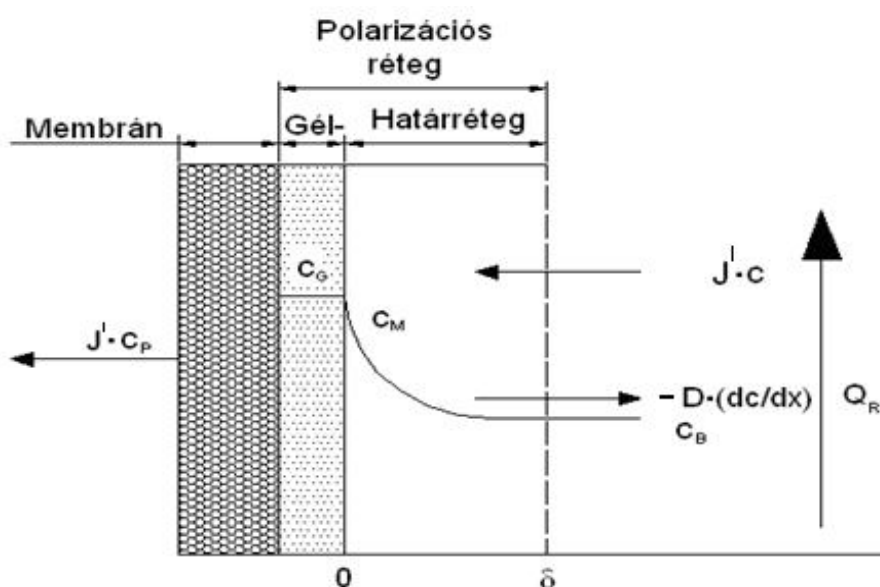
13. ábra: Ozmotikus desztilláció elvi vázlata

Alkalmazási terület: gyümölcslevek végsűritésére (VAILLANT et al. 2001, RODRIGUES et al. 2004, ALVES és COELHOSO 2006, CASSANO et al. 2006, CASSANO és DRIOLI 2007, KOZÁK et al. 2007).

2.6. Membránműveletek modellezése

A membrános elválasztás ipari méretű megtervezéséhez a megfelelő membrán és műveleti paraméterek kiválasztása a kívánt eredmény és gazdasági szempontok miatt is elengedhetetlen. Ezek helyes megválasztásához általában laboratóriumi kísérletek eredményeit és matematikai modelleket használnak fel.

A keresztáramú szűrések esetében a szűrendő oldatot a membrán felületével párhuzamosan áramoltatjuk (Q_R). A művelet során a transzmembrán nyomáskülönbség (Δp_{TM}) hatására a membrán pórusméreténél kisebb molekulák a membránon átjutnak, a pórusméreténél nagyobb molekulákat a membrán visszatartja.



14. ábra: Az ellenállás-modell és anyagátadási modell szemléltetése

A visszatartott molekulák a membrán felületén felhalmozódnak (14. ábra), koncentrációjuk a főtömegtől (c_B) a membrán felé haladva folyamatosan nő (c_M), majd egy állandó, magas koncentrációjú (c_G) „második szűrőréteget” alkotnak, ez az ún. gélréteg (ellenállása: R_G). A gélréteget és a határréteget (ellenállása: R_H) együttesen polarizációs rétegnek nevezzük (ellenállása: R_p). A szűrés megtörténte után eredményként a c_p koncentrációjú permeátumot kapjuk. A folyamat hajtóereje a Δp_{TM} transzmembrán nyomáskülönbség, ennek hatására létrejön a J fajlagos szűrletáram vagy fluxus.

2.6.1. Ellenállásmodell

Az Ohm-törvényt alkalmazva a 14. ábrának megfelelően, a permeátum fajlagos szűrletárama (fluxus) az alábbi összefüggéssel írható fel:

$$J' = \frac{\Delta p'_{TM}}{\eta \cdot (R_G + R_F + R_M)} \quad (8)$$

ahol J' Fluxus ($\text{m}^3/(\text{m}^2\text{s})$), $\Delta p'_{\text{TM}}$ transzmembrán nyomáskülönbség (Pa), η az oldószer dinamikai viszkozitása ($\text{Pa}\cdot\text{s}$), R_G a gélréteg ellenállása ($1/\text{m}$), R_F a membrán pórusainak eltömődéséből adódó ellenállás ($1/\text{m}$), R_M a membrán ellenállása ($1/\text{m}$).

Amennyiben a membránszűrést ionmentes vízzel végezzük, a szűrés során nem keletkezik gélréteg, így a méréssel meghatározott fluxus ($J'_{\text{víz}}$) és nyomáskülönbség-értékekből a 9. egyenlet alapján számítható a membrán ellenállása, amely független a szűrési paraméterektől.

$$R_M = \frac{\Delta p'_{\text{TM}}}{\eta \cdot J'_{\text{víz}}} \quad (9)$$

Pórusos membránokkal történő membránműveletek során elképzelhető, hogy egyes oldott anyagok a membrán belsejébe kerülnek és elzárják annak pórusait, ezzel kialakítva az eltömődésből adódó ellenállást (R_F).

R_F értékét úgy határozhatjuk meg, hogy a szűrés után a még meg nem tisztított membránnal (a felületére rakódott gélréteg eltávolítása után) ionmentes vizet szűrünk. Az így mért fluxusértékekből és a korábban kiszámolt R_M értékéből R_F értéke a következőképpen határozható meg:

$$R_F = \frac{\Delta p'_{\text{TM}}}{J'} - R_M \quad (10)$$

Ha a szürendő oldatban az alkalmazott membrán által visszatartott molekulák is jelen vannak, akkor kialakul a gélréteg. A réteg ellenállása függ az oldat anyagi jellemzőitől (koncentráció (c_R), viszkozitás (η)), valamint műveleti paraméterektől (alkalmazott nyomáskülönbség (Δp_{TM}), hőmérséklet (T), recirkulációs térfogatáram (Q_R)) is.

$$R_G = f(c_R, \eta, \Delta p_{\text{TM}}, T, Q_R) \quad (11)$$

Tekintsük a 11. egyenlet értékeit állandónak; ekkor J' és $\Delta p'_{\text{TM}}$ mért értékeiből, valamint a korábban kiszámolt R_M és R_F értékéből számítható R_G értéke a következő:

$$R_G = \frac{\Delta p'_{\text{TM}}}{J'} - R_M - R_F \quad (12)$$

Az ellenállásmodell az összes membránszűrési eljárásra alkalmazható, fordított ozmózis esetében kiegészítve az ozmotikus nyomással.

2.6.2. Ozmózisnyomás-modell

Az ultraszűrésnél a makromolekulákat a membrán visszatartja, az alacsony molekulatömegű részecskék a membránon szabadon áthaladhatnak. Mivel az oldatok ozmózisnyomása az alacsony molekulatömegű részecskék miatt alakul ki (mikro- és ultraszűrésnél a koncentrációjuk a permeát és retentát oldalon megegyezik), ezért az ozmózisnyomás a visszatartott makromolekulák miatt gyakran elhanyagolható.

Azonban a fordított ozmózis eljárásoknál a nagyobb visszatartás miatt – mivel a fordított ozmózis membránok már csak az oldószert engedik át, az alacsony molekulású részecskéket is visszatartják – számolni kell azzal, hogy a koncentráció-kiegyenlítődésre való törekvés miatt a permeátum-oldalról oldószert fog visszaáramlani a membránon keresztül. Ahhoz, hogy ezt a visszaáramlást legyőzzük, az ozmotikus nyomásnál nagyobb nyomást kell alkalmaznunk az eljárás során. Tehát a fordított ozmózis eljárás során kialakuló szűrletáram meghatározásához figyelembe kell venni az ozmotikus nyomást is.

Az (13) egyenlet az ozmózisnyomással kiegészítve a következőképpen alakul:

$$J' = \frac{\Delta p'_{TM} - \Delta \pi}{\eta \cdot (R_G + R_F + R_M)} \quad (13)$$

ahol $\Delta \pi$ a retentátum és a permeátum ozmózisnyomás-különbsége (Pa)

Az ozmotikus nyomás az oldat koncentrációjának függvénye, az összefüggést van't Hoff a következőképpen írja le:

$$\pi = c \cdot R \cdot T \quad (14)$$

ahol c az oldott anyag koncentrációja (mol/m^3), R az egyetemes gázállandó ($\text{J}/(\text{kmol K})$), T az oldat hőmérséklete (K)

Az ozmózisnyomás meghatározására empirikus összefüggések is születtek.

RAUTENBACH (1997) és MULDER (1997) az ozmózisnyomásnak az oldat koncentrációjától való függését a és n , az oldott anyag tulajdonságaitól és hőmérsékletétől függő állandókkal a 15. egyenlet szerint határozza meg.

$$\pi = a \cdot c^n \quad (15)$$

ahol a és c az oldott anyag koncentrációja (kg/m^3).

CHERYAN (1998) az ozmózisnyomás felírására a következő polinomiális összefüggést alkalmazza

$$\pi = A_1 \cdot c + A_2 \cdot c^2 + A_3 \cdot c^3 \quad (16)$$

ahol A_1 , A_2 és A_3 tapasztalati úton meghatározott együtthatók, c az oldott anyag koncentrációja (kg/kg).

Az ozmózisnyomás-modell a szűrletteljesítményt a transzmembránnomás és a membrán két oldala közötti ozmózisnyomás-különbség különbségeként értelmezi, amit a 17. egyenlet ír le.

$$J' = K_M \cdot (\Delta' p_{TM} - \beta \cdot \Delta \pi) \quad (17)$$

ahol K_M a membrán permeabilitása ($\text{m}/(\text{Pas})$), $\Delta' p_{TM}$ a transzmembrán nyomáskülönbség (Pa), β a koncentrációpolarizáció, $\Delta \pi$ az ozmózisnyomás különbség (Pa).

2.6.3. Anyagátadási modell

2.6.3.1. Anyagátadási modell fordított ozmózis esetén

A keresztáramú szűrés során a visszatartott molekulák a membrán felületén felhalmozódnak, koncentrációjuk folyamatosan nő (c_M). A koncentráció-kiegyenlítődésre való törekvés eredményeként a magas koncentrációjú gélréteg (c_G) felől a komponensek az oldószer konvektív áramával ($J' \cdot c$) szemben molekuláris diffúzióval ($-D \cdot (dc/dx)$) a főtömeg (c_B) felé áramlanak (14. ábra). Állandósult állapotban a két ellentétes irányú áramlás kiegyenlíti egymást, ami a következőképpen írható fel:

$$J' \cdot c = J' \cdot c_p - D \cdot \frac{dc}{dx} \quad (18)$$

A differenciálegyenlet szétválasztható, az integrálási határokat a megtett diffúziós úthossz (x) esetében 0-tól δ -ig tartó határréteg vastagságra, míg a koncentrációval (c) a főáram (c_B) és a membrán felületi koncentrációjára (c_M) vonatkoztathatjuk, ahol a c_p a permeátum koncentrációja.

$$J' \int_0^{\delta} dx = -D \cdot \int_{c_M}^{c_B} \frac{1}{c - c_p} \cdot dc \quad (19)$$

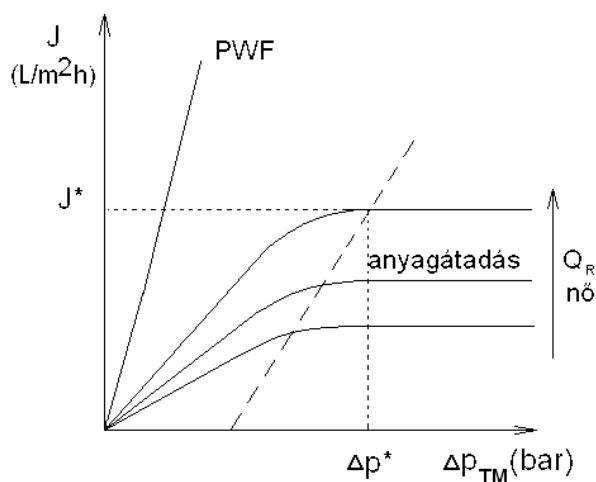
Integrálás és egyenletrendezés után a permeátum fluxusára a következő kifejezést kapjuk.

$$J' = \frac{D}{\delta} \cdot \ln \frac{c_M - c_p}{c_B - c_p} = k \cdot \ln \frac{c_M - c_p}{c_B - c_p} \quad (20)$$

ahol δ -et definiálhatjuk, mint a hidrodinamikai határréteg vastagságát [m], a D/δ értékét pedig mint anyagátadási együtthatót (k [m/s]).

A hajtóerő növelésével az áthaladó szűrlet növekvő áramlási sebessége részben csökkenti a membrán felületi gélréteg ellenállását, egészen addig, míg a felületi koncentráció értéke el nem éri azt a határértéket, ahol az oldott anyag membránon való kiülepedéséről szólhatunk. Az ekkor kialakuló gélréteg-koncentráció (c_G) a kiülepedett makromolekulákra jellemző konstans, így a hajtóerőtől függetlenné és a folyamatban állandóvá válik.

A transzmembrán-nyomás növelésével így a fluxus csak egy bizonyos értékig növelhető, mivel a gélréteg és az oldat főtömegének koncentrációkülönbsége folytán a kialakult ellenáramú diffúzió kontrollálja azt (15. ábra). Tiszta víz (PWF) esetén a fluxus a transzmembrán-nyomás növelésével egyenes arányban növekszik



15. ábra: A fluxus változása a transzmembrán nyomáskülönbség (Δp_{TM}) függvényében tiszta víz (PWF) és oldatok esetében

A gélkoncentráció tekintetében erre az állandósult állapotra a következőképpen írhatjuk fel az anyagátadási modellt feltételezve, hogy $c_G \gg c_P$ $c_P \sim 0$

$$J' \cdot c = -D \cdot \frac{dc}{dx} \quad (21)$$

A differenciál szeparálását követően a koncentráció esetében az integrálás felső határaként a már kialakult gélkoncentrációt választhatjuk meg. Egyenletrendezés után a szűrletteljesítményre kapjuk az összefüggés végső megoldását.

$$J' \cdot \int_0^\delta dx = -D \cdot \int_{c_G}^{c_B} \frac{1}{c} \cdot dc \quad (22)$$

$$J' = \frac{D}{\delta} \ln \frac{c_G}{c_B} = k \cdot \ln \frac{c_G}{c_B} \quad (23)$$

Ebben az esetben, ha a betáplált elegy főárama állandó koncentrációval jellemezhető, akkor a modell koncentrációhányadosa is állandóvá válik, minek következtében a szűrletteljesítményt alapvetően az áramlási viszonyoktól függő anyagátadási együttható fogja döntően befolyásolni. Ezért kiemelt fontossággal bírnak az oldat anyagi tulajdonságai, valamint a modul áramlási viszonyai. Mivel a szürendő elegy fizikai tulajdonságainak változására állandó hőmérsékleten gyakorlatilag sem nyílik lehetőség, így a membránmodul geometriai tulajdonságai kerülnek előtérbe.

Ha természetes alapú logaritmusra emeljük az egyenletet, akkor a következő kifejezést kapjuk.

$$\beta = e^{\frac{J'}{k}} = \frac{c_G}{c_B} \quad (24)$$

Mivel itt a β mértékegység nélküli arányszám a gélréteg és a főáram koncentrációjának viszonyát fejezi ki, definiálható koncentráció-polarizációként.

A folyamat során a membrán felületén összetorlódó molekulák növekvő halmazának eredményeként a határréteg-koncentráció kialakulásáig a koncentráció-polarizáció a membrán felületi koncentrációjával jellemezhető:

$$\beta = e^{\frac{J'}{k}} = \frac{c_M - c_P}{c_B - c_P} \quad (25)$$

Az anyagátadási együttható (k) meghatározását a modul geometriai tulajdonságainak, valamint a betáplált elegy anyagi jellemzőinek ismeretében az áramlási viszonyok alapján végezhetjük el a Sherwood-szám (Sh) meghatározásával lamináris és turbulens tartományban, ahol a következő összefüggések érvényesek (MULDER 1997):

Lamináris:
$$Sh = \frac{k \cdot d_e}{D} = 1,62 \cdot (Re \cdot Sc \cdot d / L)^{0,33} \quad (26)$$

Turbulens:
$$Sh = 0,04 \cdot Re^{0,75} \cdot Sc^{0,33} \quad (27)$$

ahol Re – Reynolds szám, Sc – Schmidt szám

$$Re = \frac{d_e \cdot v \cdot \rho}{\eta} \quad (28)$$

ahol d_e a modul egyenértékű átmérője (m), ρ az oldat sűrűsége (kg/m^3), η az oldat dinamikai viszkozitása (Pas), v az elegy áramlási sebessége (m/s), L a membránmodul hossza (m), D a diffúziós tényező (m^2/s).

$$Sc = \frac{v}{D} = \frac{\eta}{\rho \cdot D} \quad (29)$$

A v az oldat kinematikai viszkozitása (m^2/s).

2.6.3.2. Anyagátadási modell ozmotikus desztilláció esetén

Ozmotikus desztilláció esetén a membrán két oldala között fennálló vízaktivitás különbség következtében gőznyomáskülönbség lép fel, ennek hatására vízfluxus (J') indul meg a membránon keresztül gőz formájában. A vízfluxus arányos a membrán két oldala között lévő gőznyomáskülönbséggel (P_1 és P_2):

$$J' = k \cdot (P_1 - P_2) \quad (30)$$

ahol a k a membrán anyagátadási együtthatója (m/s).

A membrán két oldala között fellépő gőznyomások kifejezhetők a membrán felületén jelenlévő vízaktivitásokkal:

$$P_i = a_{mi} \cdot P_i^* \quad (31)$$

ahol az a_{mi} jelöli a membrán felületén lévő vízaktivitást és a P_i^* a tiszta víz gőznyomását. A 30. egyenlet a következőképpen írható fel:

$$J' = k \cdot (P_1^* \cdot a_{m1} - P_2^* \cdot a_{m2}) \quad (32)$$

Ha a hőmérséklet azonos a membrán határfelületén mindkét oldalon, ami ozmotikus desztillációnál igaz, akkor a $P_1^* = P_2^* = P^*$ és a 32. egyenlet egyszerűsíthető:

$$J' = k \cdot P^* (a_{m1} - a_{m2}) \quad (33)$$

A membrán felületi vízaktivitása nem ismert, így a fluxust ki lehet fejezni a membrán két oldalán lévő főtömegek vízaktivitásának különbségéből úgy, hogy a számításnál a teljes anyagátadási együtthatót (K , (m/s)) vesszük figyelembe:

$$J' = K(a_1 - a_2) \quad (34)$$

A membrán két oldalán két különböző diffúziós határréteg található, így a határrétegek anyagátadási együtthatója is különböző (13. ábra):

$$J' = k_1(a_1 - a_{m1}) = k_2(a_{m2} - a_2) \quad (35)$$

ahol a k_1 a sűrítmény határrétegében, a k_2 a sóoldal határrétegében fellépő anyagátadási együttható (m/s).

Ha a 33. és a 35. egyenletet összevonjuk, kapjuk a következő összefüggést:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_m} + \frac{1}{k_2} \quad (36)$$

ahol a k_m a membrán anyagátadási együtthatója a vízaktivitás különbség függvényében kifejezve.

A teljes anyagátadási ellenállás a sűrítmény oldali határfelület ellenállásából, a membrán ellenállásából és a sóoldal határfelületi ellenállásából tevődik össze.

A határfelület ismeretének hiányában az anyagátadási együttható összefüggéseit a kritériális egyenletekből számíthatjuk a Sherwood- szám, Re- szám és a Schmidt számok (26-28. egyenletek) segítségével (ALVES et al. 2002).

2.6.4. Membránműveletek szimulációja

A műszaki-technológiai, termelési folyamatok során lényeges, hogy a stacionárius üzemállapot zavaró hatások fellépése esetén is biztosítható legyen. Ezen folyamatok esetében a valóságban rendszerint egy stacionárius állapot körüli viszonylag kis amplitúdójú lengésekről vagy kismértékű változásokról van szó, melyekre a lineáris összefüggések jó közelítéssel alkalmazhatók. A változó paraméterű, nem lineáris rendszerek vizsgálata esetében a nemlineáris rendszer lineáris modellel való helyettesítésére törekszenek.

A lineáris rendszerek olyan folyamatok, amelyek egyváltozós, állandó együtthatójú lineáris differenciálegyenletekkel írhatók le. A differenciálegyenletek általános alakja a következő:

$$a_n \frac{d^n x_k}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x_k}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx_k}{dt} + a_0 x_k = b_m \frac{d^m x_b}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x_b}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx_b}{dt} + b_0 x_b \quad (37)$$

ahol x_b a rendszer (rendszerelem) bemenőjele, x_k a rendszer (rendszerelem) kimenőjele, $a_0, a_1, \dots, a_n$, ill. $b_0, b_1, \dots, b_m$ a rendszer állandó együtthatóit az idő.

A 37. egyenletet összegezve az alábbi kifejezést mutatja:

$$\sum_{i=i_0}^n a_i \frac{d^{(i)} x_k}{dt^i} = \sum_{k=k_0}^m b_k \frac{d^{(k)} x_b}{dt^k} \quad (38)$$

Az egyenlet jobb oldalán a rendszertől független bemenőjel, az ún. gerjesztőfüggvény (ennek lehetséges változatai), a bal oldalán a kimenőjel, a rendszert jellemző állapotváltozó(k) szerepel(nek). A következő jelátviteli esetek különböztethetők meg:

- a rendszer arányos jellegű, ha $i_0=0$; $k_0=0$
- a rendszer differenciáló jellegű, ha $i_0=0$; $k_0>0$
- a rendszer integráló jellegű, ha $i_0>0$; $k_0=0$

A rendszertechnikában a differenciálegyenlet állandó együtthatói helyett olykor időállandók kerülnek bevezetésre (<http://e-oktat.pmmf.hu>).

Elsőrendű, arányos tagok esetében a be- és kimenő jel közti kapcsolatot az alábbi differenciálegyenlet írja le (átmeneti függvény) (BORUS 1989):

$$T_i \frac{dx_k}{dt} + x_k = A \cdot x_b \quad (39)$$

ahol T_i az elsőrendű tag időállandója (h), x_b a bemenő jel, x_k a kimenő jel, t az idő. Az átviteli tényező azt mutatja meg, hogy stacionárius állapotban (amikor $\frac{dx_k}{dx_b} = 0$) a be- és kimenő jel milyen

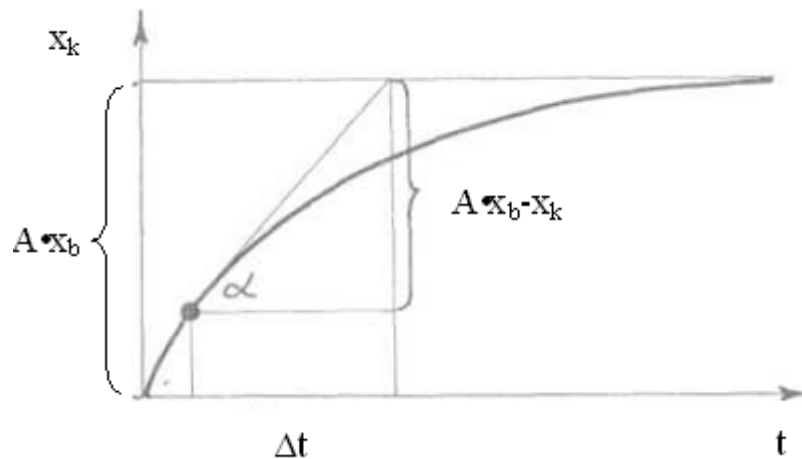
arányban áll egymással.

Az elsőrendű tag időállandója meghatározható a kísérletileg felvett ugrás jelre adott válaszfüggvényből.

Ennek egyik módja, hogy az átmeneti függvény által leírt görbének kiválasztjuk egy – elvileg – tetszés szerinti pontját, és ahhoz a ponthoz érintőt szerkesztünk (16. ábra).

A 16. ábrán látható görbét az átmeneti függvény átrendezésével kapott 40. egyenlet alapján ábrázoljuk.

$$\frac{dx_k}{dt} = \frac{1}{T_i} (A \cdot x_b - x_k) \quad (40)$$



16. ábra: Időállandó meghatározása érintő szerkesztéssel

Az ábrán látható derékszögű háromszögből leolvasható a következő összefüggés:

$$\operatorname{tg} \alpha \equiv \frac{dx_k}{dt} = \frac{A \cdot x_b - x_k}{\Delta t} \quad (41)$$

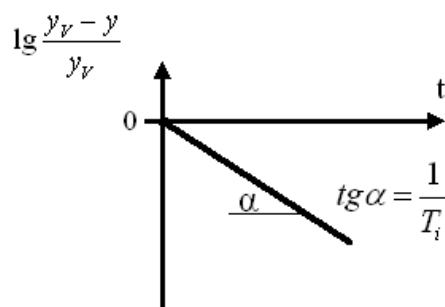
Ezt összehasonlítva a 40. egyenlettel belátható, hogy $\Delta t = T_i$.

Az időállandó meghatározható az átmeneti függvény egyetlen értékpárjából is. Az átmeneti függvény egyenletének integrált alakjába (42. egyenlet) egy tetszőleges $y/y_v - t$ értékpárt behelyettesítve számítható T_i értéke.

$$\frac{x_k}{A \cdot x_b} = \frac{y}{y_v} = 1 - e^{-\frac{t}{T_i}} \quad (42)$$

A módszer hibája, hogy csak egy pontot használ fel az átmeneti függvényből, így a mérési hibák kiegyenlítésére nincs lehetőség.

Az időállandó meghatározásának másik módszere, hogy az átmeneti függvényt linearizáljuk, a függvény pontjait ábrázoljuk, akkor a kapott egyenes iránytangense megadja az időállandót (17. ábra).



17. ábra: Elsőrendű tag linearizált átmeneti függvénye

Előnye a módszernek, hogy a függvény sok pontját használja az időállandó meghatározásához, így kísérleti hibák kiegyenlítésére ad lehetőséget.

3. CÉLKITŰZÉSEK

Munkám fő céljai:

- Olyan jó minőségű kajszibarack-lé sűrítmény előállítása kombinált membrántechnikával alacsony hőmérsékleten, ahol a lehető legkisebb értékes anyag veszteség mellett, azaz a legjobban megtartva a magas összantioxidáns kapacitást (FRAP), összes polifenoltartalmat (FCR), C- vitamint, és savtartalmat tudjak elérni.
- Előbbiek megvalósításához a legcélszerűbb technológiai sor összeállítását meghatározni úgy, hogy a műveleti paraméterek (Δp_{TM} , Q_R , T) helyes megválasztásával a gazdaságos termelés biztosítható legyen.

A fő célok eléréséhez az alábbi részfeladatok elvégzése indokolt:

1. Az előkísérletek alapján, mivel a hőmérséklet emelkedése nagy hűtőrendszer tervezése és beüzemelése vált szükségessé.
2. A lehetséges membránvariációkból a megfelelő kiválasztása, mivel a kajszibarack membrántechnikai feldolgozásához nincs irodalom:



18. ábra: Lehetséges kapcsolások

3. Laboratóriumi kísérletek végzése

- Minden kombináció (18. ábra) vizsgálata, műveleti paraméterek meghatározása, koncentrációk változásának nyomonkövetése:
 - Mikroszűrés (MF) / ultraszűrés (UF) a préselt lé tükrösítésére
 - Fordított ozmózis (RO) / nanoszűrés (NF) a mikro- vagy ultraszűrt lé elősűritésére
 - Membrán desztilláció (MD) / ozmotikus desztilláció (OD) az elősűritett lé végsűritésére
- Alkalmazott hőmérsékletek: 25°C, 30°C, 35°C
- Recirkulációs térfogatáramok:
 - MF: 500L/h, 300L/h, 100 L/h
 - UF: 1m³/h, 1,5m³/h, 2m³/h
 - RO/NF: 200L/h, 400L/h, 600L/h

○ MD/OD: 20 L/h, 30L/h, 40L/h

4. Analitikai vizsgálatok

A laboratóriumi mérések során vett minták (alapanyag, permeátum, retentátum) összes antioxidáns kapacitásának (FRAP), összes polifenol-(FCR), C-vitamin és savtartalmának meghatározása.

5. Félüzemi mérések

Laboratóriumi kísérletek alapján meghatározott membrántechnikai kapcsolás megvalósítása félüzemi méretben kb. 5-szörös méretnövelést alkalmazva. A kísérletek elvégzése és összevetése a laboratóriumi vizsgálatokkal.

6. Modellezés és szimuláció:

- A préselt friss lé tükrösítéséhez használt mikro- és ultraszűrés (MF, UF) fluxusváltozásának modellezése az idő függvényében, időállandó meghatározása (T_i), a membrán-, az eltömődési (R_F) és a gélréteg-ellenállás (R_G) meghatározása
- A tükrösített lé elősűritéséhez használt fordított ozmózis (RO) ellenállásainak (R), az ozmózisnyomásnak ($\Delta\pi$), az anyagátadási együtthatónak (k) meghatározása
- A fordított ozmózissal (RO) mért kísérleti adatok segítségével annak megállapítása, hogy a kajszilében található cukrok közül melyik a fő komponens (szacharóz vagy glükóz)
- Ozmotikus desztilláció (OD) és membrán desztilláció (MD) szimulációja

7. Gazdasági elemzés SuperPro Designerrel

A program adattárának feltöltése naprakész gazdasági adatokkal. A kísérleti eredmények és gazdasági adatok alapján a komplex membrántechnikai kapcsolások közül a legalkalmasabbak vizsgálata és összehasonlítása a hagyományos bepárlás költségeivel.

4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

4.1.1. Hűtőrendszer tervezése kajszibaracklé kísérletekhez

Az alkalmazott membránszűrési műveleteknél minden esetben tapasztalható, hogy a feldolgozandó anyag hőmérséklete az idő előrehaladtával folyamatosan melegszik, ami a rendszerben fellépő sűrűlódás miatt következik be, amit a szivattyú okoz. Problémát jelent, hogy nem tudok állandó hőmérsékletet fenntartani csapvizese hűtéssel, és 40°C felett a gyümölcsleében lévő anyagok károsodhatnak, így veszítenek élvezeti értékükből. A másik probléma, hogy a kísérleteim során használt membránok többsége polimer alapú, így nem ajánlott a magas hőmérsékletet.

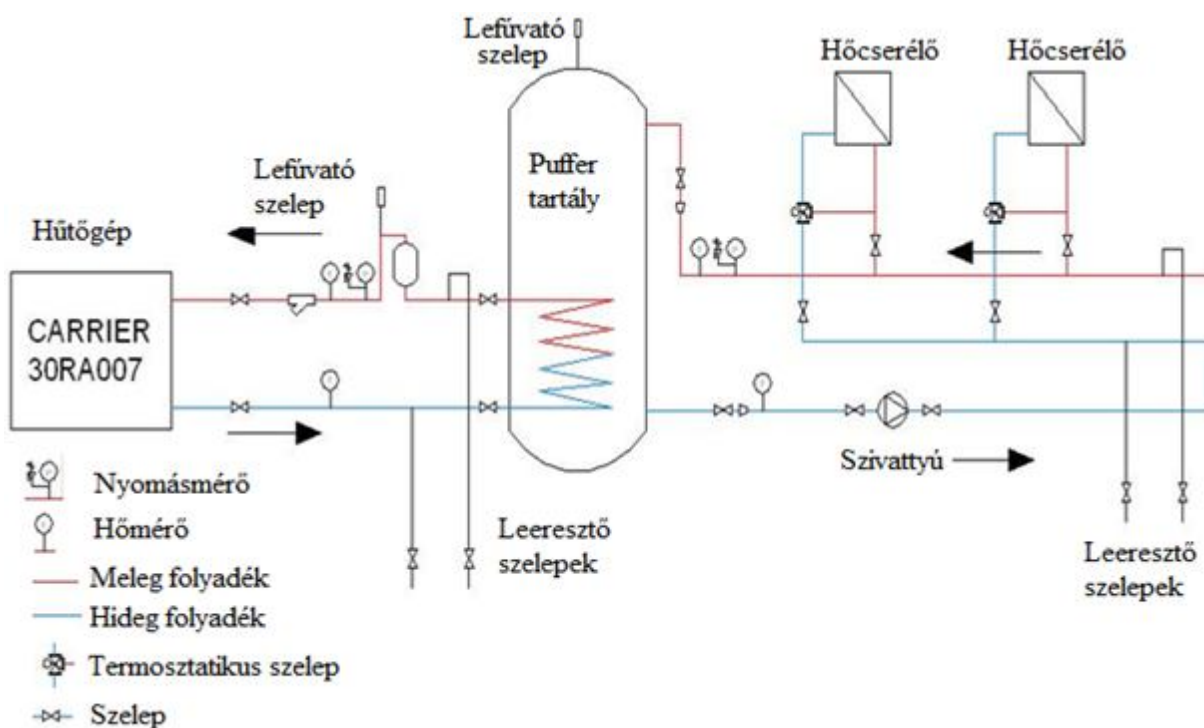
Ennek megoldására egy **hűtőrendszert terveztem**, abból a célból, hogy a hőmérsékletet rögzíteni tudjam, így a kapott eredmények a hőmérséklet függvényében is modellezhetőek, illetve az analitikai méréseknél is vizsgálható a hőmérséklet hatása. Az optimális műveleti paraméterek meghatározása, a modellezhetőség és az analitikai vizsgálatok együttesen segítik a legjobb konfigurációt összeállítani és megtalálni a gazdaságossági elemzésnél a kompromisszumot az ár és a minőség között.

A rendszer kiépítéséhez **előkísérleteket végeztem**, ahol vizsgáltam a membránszűrő rendszerek melegedését az idő függvényében, folyamatos elvétel és recirkuláció esetén, különböző mennyiségű vízre és gyümölcslevekre. A kapott összefüggésekből megállapítottam a szükséges hűtőteltjesítményt és ahhoz megfelelő hűtőgépet választottam, figyelembe véve a rendszer bővítésének lehetőségét, illetve a berendezések párhuzamos működtetését is.

Meghatároztam:

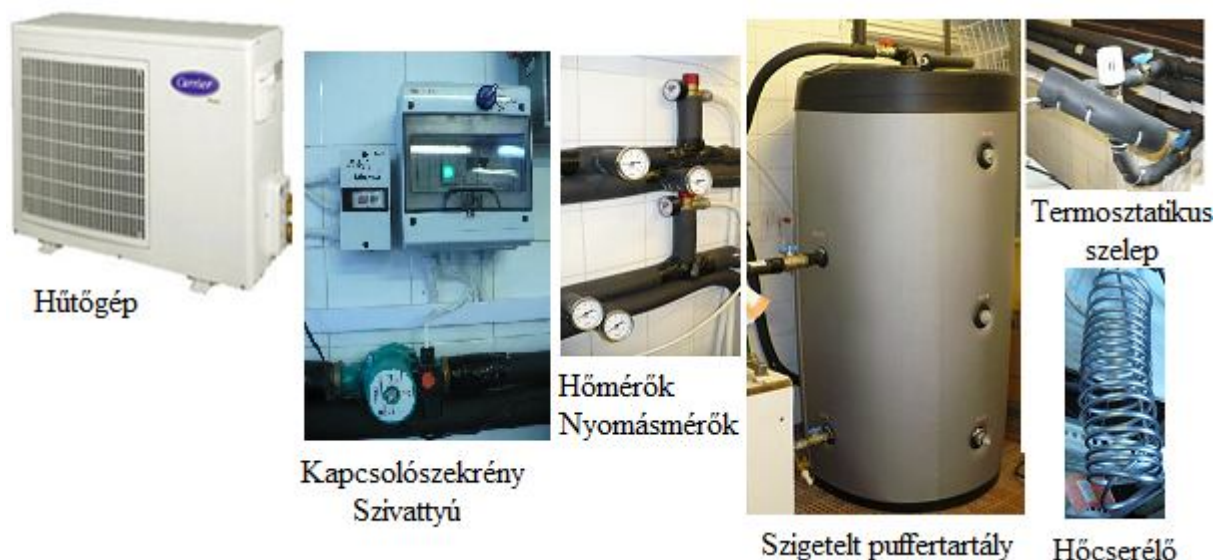
- a) a hűtővíz szükséges térfogatáramát
- b) a membránszűrő berendezések tartályaiba kerülő hőcserélő felületeket
- c) csővezetékeket
- d) szerelvényeket
- e) hőmérséklettartományokat

amiket a mérések során folyamatosan biztosítani szeretnénk. A kész rendszert a kivitelező tesztelte, a kísérletek alapján megbízhatóan, jól működött.



19. ábra: Hűtőrendszer vázlata

A hűtőrendszer folyamatábráját a 19. ábra mutatja, a főbb elemek fényképeit pedig a 20. ábra. A rendszer két körből áll, az egyik a hűtőkör (a puffer tartálytól balra), a másik pedig a pufferkör (puffer tartálytól jobbra). A hűtőkörben a hűtőgép lehűti a glikolos oldatot ($15^{\circ}\text{Brix} \sim -20^{\circ}\text{C}$) és 8°C -on belép a szigetelt puffer tartályba. A puffer tartályban lévő 500 L mennyiségű vizet lehűti, közben a glikolos oldat felmelegszik (12°C) és visszamegy a hűtőgépbe. A hűtőkör visszamenő ágába biztonsági okokból egy kis tartály és lefűtató szelep lett beépítve. Ha a visszatérő ágban a folyadék hőmérséklete 8°C , akkor a hűtőgép leáll, és csak akkor indul újra, ha a tartályra szerelt hőmérő 15°C -ot mér. A glikolos oldatra azért van szükség, mert a hűtőgép kültéren helyezkedik el és téli időszakban fagyásveszély lép fel. A hűtőgépben található fagyásvédelem, de esetleges áramkimaradás vagy meghibásodás esetén nem működik, így megtörténhet a hűtőgép szétfagyása. A puffer tartályban lehűtött vizet használok a membránszűrésekhez. A puffer tartály aljáról elvezetem a vizet egy keringtető szivattyú segítségével. A vizet a hőcserélőkbe vezetem, amelyek a membránszűrők tartályában találhatók. Egyszerre több hőcserélőt is tudok üzemeltetni. A termosztatikus szeleppel beállítom a megfelelő állapotot. A hőcserélőből a felmelegedett víz visszamegy a puffer tartályba. A puffer tartály tetején található lefűtató szelep véd az esetlegesen fellépő tágulástól. Tágulás esetén a víz ezen a szelepen távozik.



20. ábra: A hűtőrendszer főbb elemeinek fényképe

A hűtőgépet, a keringtető szivattyút és a puffertartályra szerelt hőmérőt elektromosan is be kellett kötni, így egy kapcsolószekrény (20. ábra) is ki lett építve érintésvédelemmel, kapcsolókkal (hűtőgép, szivattyú).

4.2. Kajsziarack és kajsziaracklével végzett kísérletek

4.2.1. Kajsziarack előkészítése és a lényérés fázisai

A laboratóriumi és félüzemi kísérletek elvégzéséhez az Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék által, termelőtől vásárolt Magyar Gönczi kajsziarackot használtam, melynek húsa aranylómély narancssárga, alig rostos, magvaváló, igen lédús. Íze édes, zamatos, a legkiválóbb kajszi jelleggel.

A széleskörű membránműveletek és műveleti paraméterek hatásainak vizsgálatához összesen ~600 kg nyers kajsziarackot használtam. A feldolgozott gyümölcsnek ~7%-a mag és a mag nélküli hús ~85%-a lé. A laboratóriumi kísérletekhez ~300 liter, a félüzemi kísérletekhez ~150 liter préselt kajsziaracklevet alkalmaztam.

A kajsziarack előkészítését a Hűtő és Állattermék Technológiai Tanszéken végezte a kutatócsoportunk. A hagyományos technológia a kajsziarackból nem készít tükrös levet és sűrítmenyt. Folyamatosan készült a préselt lé, így a gyümölcs lefagyasztására nem volt szükség. Rosttartalma miatt gyümölcsvelő és gyümölcspulp a kedvelt félkésztermék, mely önmagában nem fogyasztható, de számos gyümölcskészítmény (pl. bébiételek, lekvárfélék, rostos italok) alapanyagául szolgál (BARTA 2007).

Mivel rostmentes és szűrt kajsziabarack gyümölcslé nincs a piacon, és erre nincs technológia sem, így széleskörű feltérképezésre és több előkísérlet elvégzésére volt szükségem a technológia megvalósításához. Ahhoz, hogy a gyümölcsből sűrítmenyt tudjak készíteni, levet kellett nyernem. A mosást, válogatást, magozást követően a barackokat kutterba helyeztem és aprítottam (21. ábra). A durva aprítás célja volt a gyümölcs roncsolása, durván darabos állományúvá aprítása, a fajlagos felület megnövelése, a sejtnedvelválás megindítása. A lényerés préssel történt, viszont enzimkezelés nélkül többszöri próbálkozásra is, sikertelennek bizonyult.



21. ábra: Kajsziabarack aprítása kutterban

Első feladatomban volt, hogy egy olyan enzimet találjak, amely szobahőmérsékleten segíti a pektin lebontását, emellett megmaradnak az értékes anyagok a lében, és a kinyert lé mennyisége is megfelelő a feldolgozáshoz. Az aprított gyümölcs pH-ja 3,2 volt.

A Novozymes Switzerland AG-től kapott adatlapok alapján többféle enzim hatékonyságát is kipróbáltam (6. táblázat). A 1094 Rapidase TF enzimet zöldségek, a Biozym P. rossi-t és Biozym XP-t a szőlő, Pectinex YieldMASH-t az alma és körte, a Pectinex XXL-t bogyós gyümölcsök, a Pektopol PT-400-at a feketeribizli, eper pektinjének bontására alkalmazzák.

6. táblázat: Pektinbontáshoz alkalmazott enzimek hatásvizsgálata

Enzim	Gyártó	Kezelési paraméterek			Lékihozatal (%)
		Mennyiség (g/L)	Hőmérséklet (°C)	Hatóidő (h)	
1094 Rapidase TF	DSM	0,005-0,025	25-45	0,25-1	74,8±12,9
Biozym P. rossi	BiotechSul	0,1-0,3	15-30	1-4	56,2±2,2
Biozym XP	Valley Research	0,0005-0,003	15	2-4	30±2,5
Enzim nélkül	-	-	30	1	58,5±2,2
Pectinex YieldMASH	Novozymes	0,04-0,08	25-30	0,5	84,3±2,7
Pektinex XXL	Novozymes	0,5-1,5	15-30	1-3	58,8±5,0
Pektopol PT-400	Pektowin	0,06-0,12	15-25	0,5-1,5	55±2,3

A lényerési vizsgálat alapján látható (6. táblázat), hogy a legjobb lékihozataalt a Pectinex YieldMASH enzimmal értem el, melynek a kezelési paraméterei is igen kedvezőek, így a feldolgozás során ezt az enzimet használtam.

Az enzimkezelést követően aszkorbinsavat adagolunk az esetlegesen jelentkező enzim barnulás miatt. A kajszi nehezen préselhető préskendőben. A Hűtő és Állatitermék és Technológia Tanszék tervezői közreműködéssel egy pneumatikus prést terveztetett és saját kivitelezésben el is készítette. A prés közepében egy gumitömlő van, ami 2,5-3 bar nyomással a zúzott anyagot a kosár falának nyomja, amit belülről egy finom szita takar, így rostmentes levet nyerhetünk (22. ábra).



22. ábra: Kajsziбарack préselése pneumatikus présen

A keletkezett préslepenyből pálinkát, illetve friss gyümölcs hozzáadásával lekvárt készítettünk. A kajsziбарack mag is hasznosítható, a csontos héjrész tüzelőanyagként vagy aktív szén előállítására alkalmas, a puhább belső mag pedig értékes olajforrás.

A kipréselt lé egy részét azonnali előkísérletek elvégzéséhez használtam, a többi kajsziбарacklé 10 literes műanyag kannákban -18°C-on fagyasztásra került.

4.2.2. Kajsziбарacklé feldolgozása laboratóriumi többlépcsős membrántechnika alkalmazásával

A kajsziбарack szűrhetőségét vizsgáltam laboratóriumi méretekben, majd a kísérleti eredmények alapján félüzemi kísérleteket is elvégeztem.

4.2.2.1. Kajsziбарacklé előszűrése ultra- és mikroszűrő berendezéssel

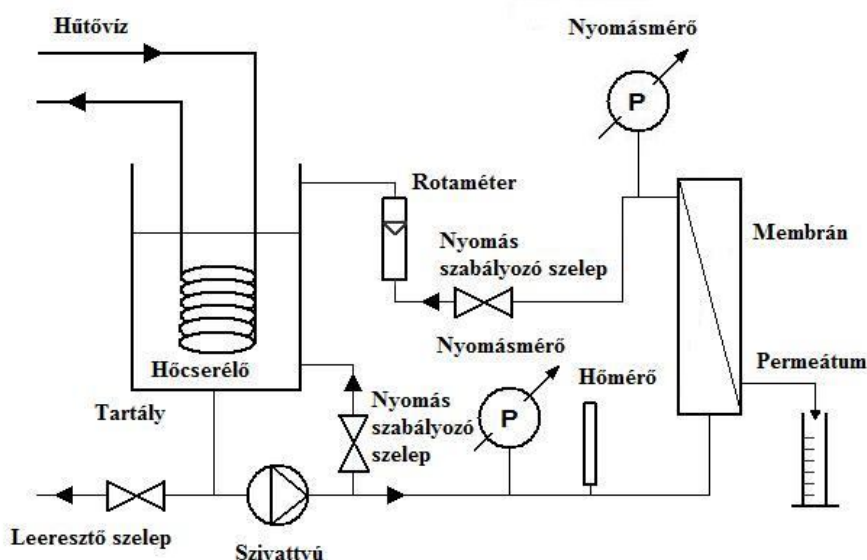
A préselés elvégzését követően a mikroszűréssel végzett előszűréseket 25, 30, 35°C-on, 500, 300, 100 L/h recirkulációs térfogatáram (Q_R) mellett 4 bar-on, az ultraszűrési előszűrési kísérleteket szintén 25, 30, 35°C-on, 2; 1,5; 1 m³/h recirkulációs térfogatáram (Q_R) mellett végeztem 4 bar transzmembrán nyomáskülönbséget (Δp_{TM}) alkalmazva. Az előszűrési kísérletekhez használt membránok tulajdonságait az 7. táblázat mutatja.

7. táblázat: Az alkalmazott mikro- és ultraszűrő membránok tulajdonságai

Folyamat	Típus	Gyártó	Kialakítás	Membrán anyaga	Pórusméret	Membrán felület
MF	SCHUMASIV	PALL	csöves	kerámia	0,45 μm	0,125 m^2
UF	37.03 I8	BERGHOF	cső	Poliéter-szulfon	100 kDa	0,41 m^2

A számos műveleti paraméter alkalmazása egyrészt a modellezés, másrészt az analitikai vizsgálatok szempontjából jelentős.

Az előszűrés nemcsak a tükrösítés (lebegő anyagok eltávolítása) szempontjából fontos, hanem az enzimkezelés során visszamaradt pektinmaradványok és egyes gyümölcsöknél a keményítőmaradványok eltávolítása szempontjából is. A másik fontos dolog, ha a gyümölcsleből porított terméket állítunk elő, akkor mindenképp szükséges a rostmentesítés a jó minőségű termék előállításához.



23. ábra: Az alkalmazott mikro-, ultraszűrő sematikus vázlata

Az előszűrési kísérletekhez alkalmazott membrános berendezés sematikus vázlatát a 23. ábra szemlélteti, a berendezések fényképei a 24. ábrán láthatók. A hajtóerőt (Δp_{TM}) a nyomásszabályozó szelepek segítségével állítható be, ezzel tudjuk szabályozni a membránon áthaladó permeátum mennyiségét (V) és a recirkulációs térfogatáramot (Q_R), amit a rotaméter mutat. A szűrés keresztáramban történik. A folyamatos keringtetéshez szivattyút alkalmazunk. A rendszerben fellépő súrlódás miatt a gyümölcsle melegszik, így mindenképp hűtésre van szükség, ami egy spiráliscsöves hőcserélővel történik. A hőmérséklet ellenőrzésére hőmérő is be van építve a rendszerbe.



24. ábra: Ultraszűrő (bal) és mikroszűrő (jobb) berendezések fényképei

4.2.2.2. Az előszűrt kajsziparacklé előtöményítése nanoszűrőssel és fordított ozmózissal

A tükrösítés után előtöményítési kísérleteket végeztem, nanoszűrőssel (NF) és fordított ozmózissal (RO). Itt is 25, 30, és 35 °C állandó hőmérsékleten és 200, 400 és 600 L/h recirkulációs térfogatáram mellett történt a besűrítés. Nanoszűrésnél 30 bar, fordított ozmózisnál 50 bar állandó nyomáskülönbség mellett változtattam a hőmérsékletet és a recirkulációs térfogatáramot. A berendezés ugyanaz volt NF és RO esetén is, csak a membránokat cseréltem. A membrán tulajdonságait a 8. táblázat mutatja. A berendezés ugyanúgy működik, mint a tükrösítés esetén, csak az alkalmazott nyomáskülönbség magasabb. A félkész termék a sűrítmény. A berendezés fényképe a 25. ábrán látható. A besűrítés során mind a permeátum, mind a retentátum oldalon mértem a szárazanyag-tartalom változását.

8. táblázat: Az alkalmazott nanoszűrő és fordított ozmózis membránok tulajdonságai

Folyamat	Típus	Gyártó	Kialakítás	Membrán anyaga	Só visszatartás	Membrán felület
NF	TS80	TRISEP	12 lap	Poliamid	80%	0,216 m ²
RO	ACM2	TRISEP	10 lap	Poliamid	93%	0,18 m ²



25. ábra: Fordított ozmózis és nanoszűrő berendezés fényképe

4.2.2.3. Az előtöményített kajsziarack lé végsűrítése membrán- és ozmotikus desztillációval

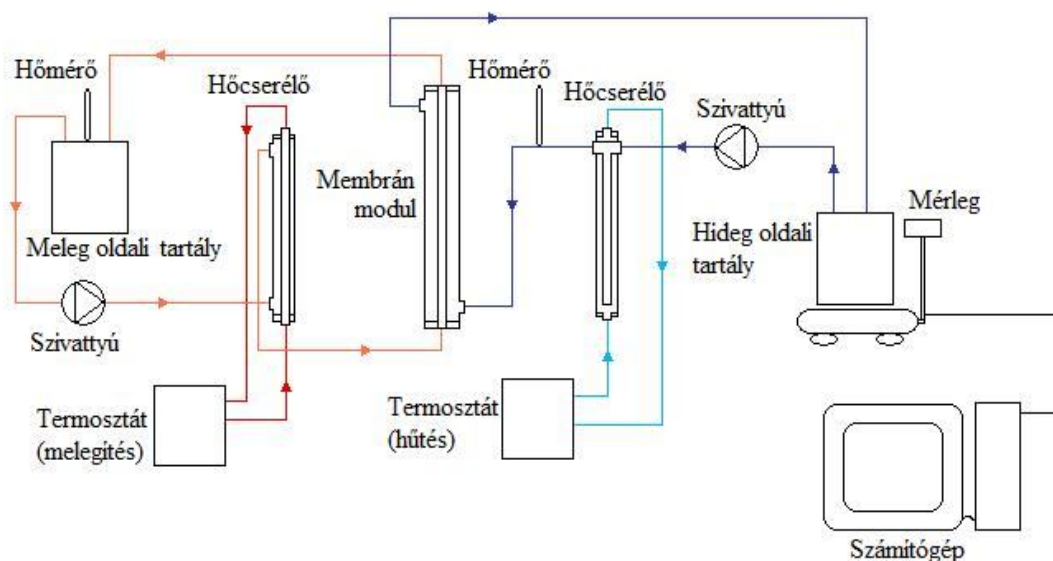
A fordított ozmózissal és nanoszűréssel előállított felsűrítmenyt tovább töményítettem. A végsűrítéshez membrán desztillációt és ozmotikus desztillációt alkalmaztam (0,2 μ m pórusméretű membránok). A paramétereknél perisztaltikus kis szivattyú fordulatszámával változtattam a recirkulációs térfogatáramot 20, 30, 40 L/h között. Az ozmotikus desztillációnál a folyamat hajtóereje a membrán két oldala mellett áramló oldatok gőznyomáskülönbsége. A hajtóerő kialakítása úgy történik, hogy a membrán két oldalán különböző koncentrációjú oldatokat keringtetek. A membrán kapillárcsöves kialakítású. A kis csövekben áramlik a kajsziaracklé, amit töményíteni szeretnék, és a membrán köpenyterében CaCl_2 oldatot áramoltatok, melynek koncentrációja 65-70°Brix. A membrán hidrofób tulajdonsága miatt taszítja a vizet, így nem nedvesíti a membránt. A membránon átpárolgó víz hígítja a sóoldatot, ezáltal a sárgabaracklé töményedik, a CaCl_2 oldat hígul. A folyamat állandó szobahőmérsékleten végbevihető. A membránok tulajdonságait a 9. táblázat tartalmazza.

9. táblázat: Ozmotikus és membrán desztillációs membránok tulajdonságai

Folyamat	Típus	Gyártó	Kialakítás	Membrán anyaga	Membrán felülete
MD/OD	MD020CP2N	MICRODYN	csöves	polipropilén	0,1m ²
OD	MD020FP2N	MICRODYN	kapillárcsöves	polipropilén	0,2 m ²

A membrán desztilláció esetén a hajtóerő szintén a membrán két oldala mellett áramló oldatok gőznyomáskülönbsége. Itt a hajtóerő kialakításakor a membrán két oldala között különböző

hőmérsékletű oldatokat keringtetek. A kajsziparacklében lévő víz a membrán pórusain átdiffundál, így a gyümölcslelé szintén töményedik.



26. ábra: Membrán desztillációs berendezés felépítése

A membrán desztillációs berendezés vázlatát a 26. ábra mutatja, fényképe a 27. ábrán látható. A folyadék mindig a melegebb oldal felől áramlik a hidegebb felé, ezért a meleg oldalon helyezem el az előtöményített kajsziparack félkoncentrátumot. A meleg oldal állandó hőmérsékleten tartása egy termosztáttal összekapcsolt hőcserélő segítségével történik. Minél nagyobb hőmérsékletkülönbséget lehet beállítani, annál nagyobb az átáramlott permeátum mennyisége, és annál hatékonyabb és gyorsabb a töményítés. Az átáramlott mennyiségnek viszont határt szab a membrán anyaga, ami polimer, így 40 °C felett nem ajánlatos működtetni, illetve 40 °C felett a gyümölcslevek beltartalmi értékei jelentős hőkárosodást szenvednek, emiatt is célszerű alacsonyabb hőmérsékletet biztosítani. A termosztáttal felmelegített levet egy kis perisztaltikus szivattyú segítségével a kapillárcsöves membrán csöveibe áramoltattam. A kapillárcsöves modul köpenyterében vizet keringtettem, amit célszerű minél alacsonyabb hőmérsékletre hűteni. A hideg oldalon a hűtést egy kis glikolos hűtőgéppel biztosítottam, ahol szintén hőcserélőt használtam a hideg oldalon lévő víz lehűtéséhez. A berendezés kialakítása és a hűtés nagy költsége miatt csak minimum 4-5 °C-ra tudtam lehűteni a hideg oldalt, így a membrán desztilláció az ozmotikus desztillációhoz képest időigényesebb művelet. A membránon átáramlott permeátum mennyiségét egy számítógéphez rögzített mérleg segítségével mértem. A tárolt adatokból a mérés kiértékelhető.

Az ozmotikus desztilláció működési elve hasonló a membrán desztillációéhoz. Az ozmotikus desztilláció esetén az előtöményített kajsziparack koncentrátumot nem szükséges felmelegíteni (a hőcserélők és termosztátok nélkül is működik), ezáltal energiát takarítunk meg. A kajsziparack

félsűrítményt ismét a membrán csövecskéibe vezetjük, és a membrán köpenyterében ismert koncentrációjú CaCl_2 (65 °Brix) sóoldatot keringtetünk, így hűtésre sincs szükség.

Ozmotikus desztilláció esetén a folyamat gyorsabb a membrándesztillációhoz képest, szobahőmérsékleten végrehajtható, viszont a só miatt nehezebb az esetlegesen a kajsziarack sűrítményből átáramló komponensek analitikai elemzése. Fő probléma az ozmotikus desztilláció esetén a keletkezett hígított sóoldat regenerálása. A regenerálás hagyományos vagy napenergiával történő bepárlással vagy esetleg geotermikus vizek használatával megoldható lenne. Mindenképp szükséges lenne egy olyan só felhasználása, ami hígított változatban töményítés nélkül is hasznosítható.



27. ábra: Membrán- és ozmotikus desztillációs berendezés fényképe

4.2.3. Félüzemi kísérletek kajsziaracklével

Az előszűréshez (MF) és előtöményítéshez (RO) szükséges berendezések felépítése hasonló a laboratóriumban használt berendezésekhez (23. ábra). A rendszerben egy szivattyú biztosítja a gyümölcsle keringtetését, melynek következtében MF esetén max. 4 bar-os transzmembrán nyomáskülönbség, a fordított ozmózis esetén max. 50 bar-os transzmembrán nyomáskülönbség mellett érem el, hogy a kajsziaracklé szűrhető és előtöményíthető legyen. A transzmembrán nyomáskülönbség beállításához a membrán előtt és után szükségeszerű egy-egy nyomásmérő, valamint egy-egy nyomásszabályzó szelep beépítése. A rendszerben fellépő sűrűlődből adódó hőmérsékletnövekedés miatt szükséges hőmérő alkalmazása, és az esetlegesen fellépő túlmelegedéskor hőcserélő beépítése. A folyamat hatékonysága függ a gyümölcsle áramlásától, melynek ellenőrzése a recirkulációs rotaméter segítségével történik, mely szintén szerves része a

berendezésnek. A mikroszűrő berendezés alapváza a laboratóriumi ultraszűrős berendezés külön modullal (23.ábra) A fordított ozmózis berendezés fényképe a 28. ábrán látható.

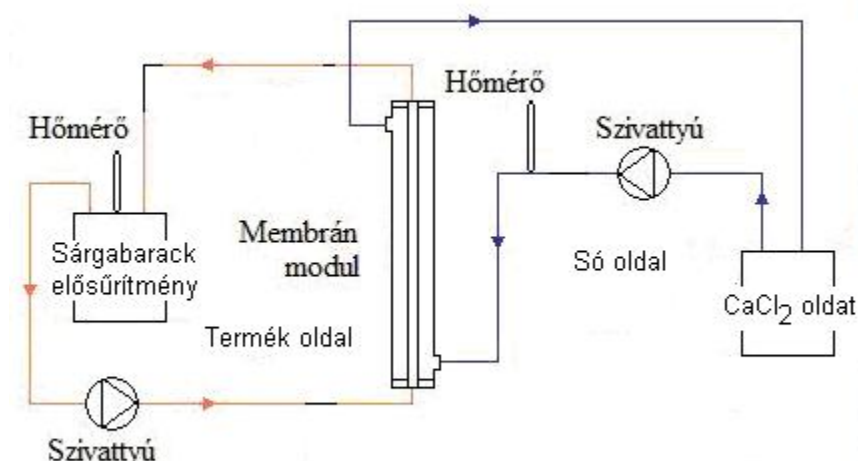
10. táblázat: Félüzemi kísérletekhez alkalmazott membránok tulajdonságai

Folyamat	Típus	Gyártó	Kialakítás	Membrán anyaga	Membrán felület
MF	MD080TP2N	MICRODYN	csöves	poliéter-szulfon	1m ²
RO	CD1 TYP3	MFT Köln	lap	poliamid	0,5m ²
OD	MD063CP2N	MICRODYN	kapillárcsöves	polipropilén	0,75 m ²



28. ábra: A félüzemi fordított ozmózis berendezés felépítése

A gyümölcslé végtöményítéshez használt ozmotikus berendezés (sóvisszatartás 97%) felépítése (29. ábra) eltérő az előbb felvázolt két lépcsőhöz képest. Ennél a folyamatnál nem a nyomáskülönbség, hanem a koncentrációkülönbség a folyamat hajtóereje, így két oldalt különböztetünk meg. Ahol a gyümölcslé kering az a termék oldal, ahol a CaCl_2 oldat kering az a só oldal. A két oldal között helyezkedik el a membránmodul. A membránmodul belső csöveibe a kajsziparack félsűrítmény kerül, a modul köpenyterében pedig a sóoldat áramlik. A folyamat működéséhez szükség van két szivattyúra a termék- és só oldal keringtetése miatt, de nem alkalmazunk nyomást.



29. ábra: A félüzemi ozmotikus desztillációs berendezés folyamatábrája és fényképe

4.3. Gyümölcslevek analízise

Az összes antioxidáns-kapacitás meghatározása

A vizsgált minták összantioxidáns-kapacitásának meghatározása az Alkalmazott Kémia Tanszék segítségével, BENZIE és STRAIN (1966) módosított módszerével történt, amely módszert eredetileg a vérplazma antioxidáns kapacitásának meghatározására dolgozták ki (FRAP=Ferric Reducing Ability of Plasma). A FRAP lényege, hogy a ferri-(Fe^{3+})-ionok az antioxidáns aktivitású vegyületek hatására ferro-(Fe^{2+})-ionokká redukálódnak, amelyek alacsony pH-n a tripiridil-triazinnal (TPTZ= 2,4,6 tripiridil-S-triazin) komplexet képezve színes terméket adnak (ferro-tripiridil-triazin). Ennek a terméknek a spektrofotometriásan, $\lambda = 593 \text{ nm}$ -en mért abszorbanciájából, aszkorbinsavval készített kalibrációs görbe segítségével, mmol aszkorbinsav / L (mmol AS/L) dimenzióban meghatározható a minta összantioxidáns-kapacitása.

Fenoltartalom meghatározása

Az összes fenoltartalmat Folin-Ciocalteu reagenssel galluszsavra vonatkoztatva határoztam meg SINGLETON és ROSSI (1965) spektrofotometriás ($\lambda = 760 \text{ nm}$) módszerével, szintén az Alkalmazott Kémia Tanszéken. A szükséges reagensek: metil-alkohol és desztillált víz (Me-OH:DV) 4:1 arányú keveréke; Az összes fenol tartalmat mg/mL galluszsav dimenzióban adtam meg.

C-vitamin

Az L-AA (L-aszkorbinsav) meghatározását WOLD és munkatársai (2004) és VOLDEN és munkatársai (2008) által leírt módom végeztem el. 25 g kajszibarackléhez (amelyek a tükrösítési és besűrítési kísérleteimből származó retentátumok és permeátumok). (A mintaelőkészítésben és a HPLC mérésekben és a diagramok értékelésében a Norwegian University of Life Science kutatói segítettek.) 50 ml 1%-os (g / L) oxálsavat adagoltam, 1 percig homogenizáltam egy Braun MR 400 típusú berendezés segítségével, majd egy Whatman 113 V hajtogatott szűrőpapíron (Whatman International Ltd., Brentford UK) átszűrtem. Ezután a papírszűrőn átszűrt anyagot (mintát) a Waters Corp. által gyártott Sep-Pak C18-ra (Milford, MA, USA) vittem fel, melyet előzetesen 5 ml metanollal és 5 ml vízzel regeneráltam. Az első három ml-t kiöntöttem, és az így kapott mintát, mielőtt HPLC-vel elemeztem volna, még egy 0,45 µm-HA Millex szűrőn (Millipore Corp. Bedford, MA, USA) átszűrtem. Az összes minta elemzésre került, a mérést kétszer ismételtam. Az izokratikus HPLC-s elválasztást és kimutatást WILLIAMS, BAKER és SCHMIT (1973) módszerével végeztem el. A nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás (HPLC, High Performance Liquid Chromatography) berendezés egy AgilentSeries 1100 LC típusú rendszer volt, ami egy pumpából, egy légmentesítő egységből, egy automata mintaadagolóból, egy kolonna termosztátból és egy UV-detektorból állt. Az összetevők elválasztását a Zorbax SB-C18 (250 x 4,6mm, 5µm) oszloppal, illetve az ezt kiegészítő Zorbax XDB C18 (4 x 4 mm, 5µm) (védő) oszloppal végeztem. Az injektálás térfogata 5µl volt, a 0,05 M KH₂PO₄ oldat (eluens) áramlási sebessége 1 ml/perc volt, míg a detektálás 254 nm-en történt. Az eredményeket számítógép segítségével mg/L- ben kaptam meg. A C-vitamin retenciós ideje 2,9 perc volt. Az L-AA mennyiségi meghatározását külső kalibráció segítségével végezte a norvégiai egyetem.

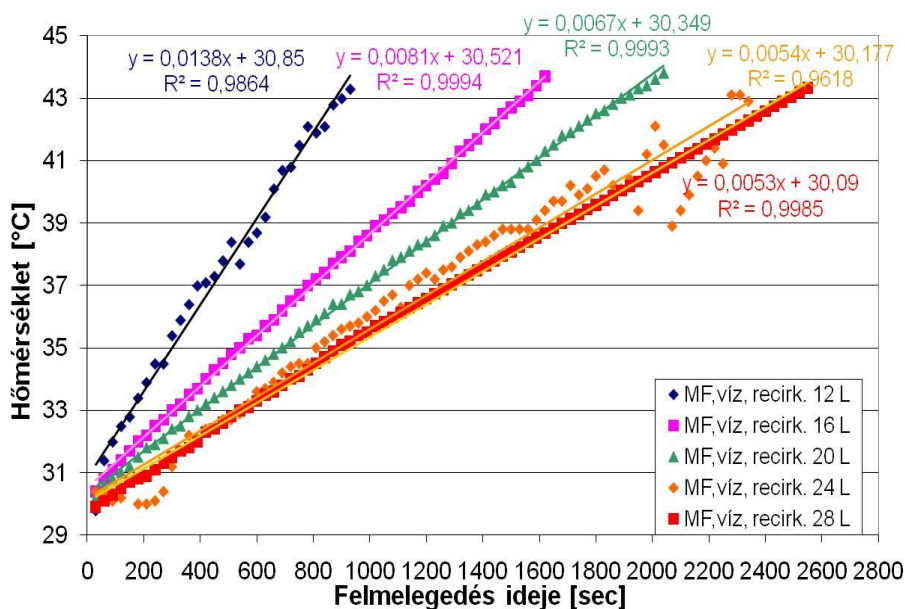
Összes savtartalom meghatározása

A savtartalmat az MSZ 3619-1983 szabványnak megfelelően, 0,1 N NaOH mérőoldattal történő titrálással, brómtimolkék indikátor segítségével határoztam meg. A kajszibarack sűrítmények sötét színe miatt a szabvány által előírt fenolftalein indikátor színátcsapása (színtelenből rózsaszín) nem érzékelhető, ezért brómtimolkék indikátort (színátcsapás: sárgából kék) alkalmaztam. Az összes savtartalmat (m/m%) citromsavban adtam meg.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

5.1. Hűtőrendszer kiépítéséhez végzett elő-kísérletek

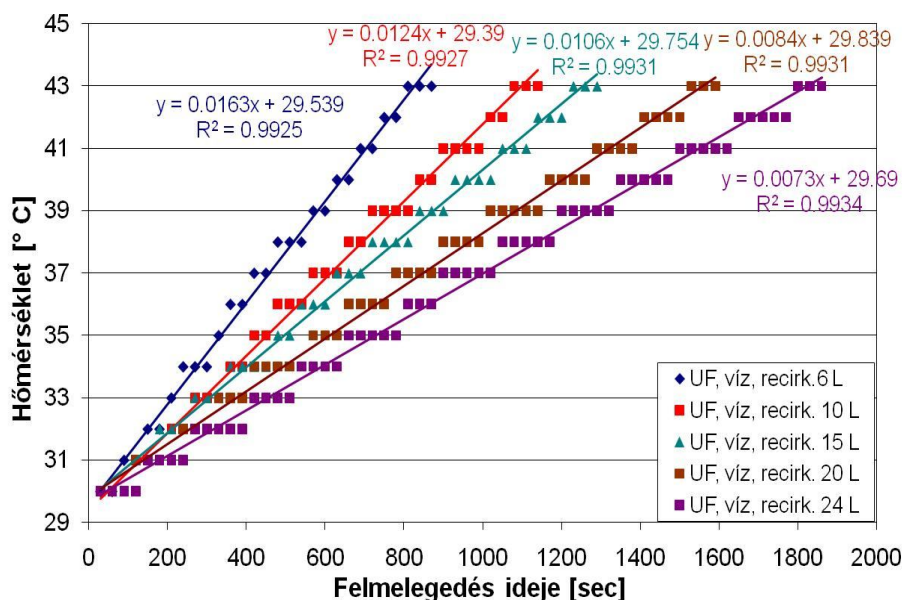
A hűtőrendszer kiépítését az indokolta, hogy a rendszerben áramló folyadék a folyamatos recirkuláció, illetve elvétel hatására melegedett. Az első esetben csapvizet öntöttem a kerámia mikroszűrő berendezésbe (ezt a berendezést használtam a kajszibaracklé tükrösítésére, melynek paramétereit a 7. táblázat, felépítését a 23. ábra, fényképét a 24. ábra mutatja). A víz mennyiségét változtattam 12 litertől egészen 28 literig. A minimális 12 liter mennyiséget az indokolta, hogy egy tükrösítési kísérletnél minimum ekkora mennyiséget kell alkalmaznom, hogy a továbbbsűrítés érdekében elegendő permeátumot nyerjek, másrészt pedig a membrán hatékony tisztításához is elengedhetetlen körülbelül ez a mennyiség. A maximális 28 liter pedig a rendszer maximális kapacitása.



30. ábra: Kerámia mikroszűrő (MF labor) berendezésben lévő víz melegedése folyamatos cirkuláltatás esetén

Amint a 30. ábrán látható, kisebb mennyiségnél hamarabb (12 liter, 13 perc), nagyobb mennyiségnél később (28 liter, 43 perc), de minden esetben lineárisan melegedett fel a rendszer 40°C fölé. A kiindulási víz hőmérséklet közel 30°C volt és 30 másodpercenként mértem a tartályban lévő folyadék hőmérsékletét egy hagyományos borszeszes hőmérővel. 44°C felett leállítottam a berendezést, mivel a méréseimet 40°C alatt szerettem volna elvégezni és a membránnak sem kedvez a magasabb hőmérséklet. A mikroszűrő membrán működtetéséhez 4 bar transzmembrán nyomáskülönbséget és 500L/h recirkulációs térfogatáramot használtam, mivel itt tudom elérni a legnagyobb fluxust.

A csapvizes hűtés esetén a kívánt hőmérséklet (25, 30, 35 °C) egy bizonyos ideig tartható volt, de az idő előrehaladtával és a tükrösítésnél a folyamatos permeátum elvétel következtében a folyadék hőmérséklete ugrásszerűen megnőtt. Az előkísérleteknél - víz esetén - azért alkalmaztam recirkulációt, hogy megnézzem, hogy hogyan melegszik a rendszer, mivel ha folyamatos elvétel lett volna, akkor víznél csak pár percet tartózkodott volna a folyadék a rendszerben (nem mérhető megfelelően a hőmérsékletváltozás) a magas vízfluxus érték miatt.



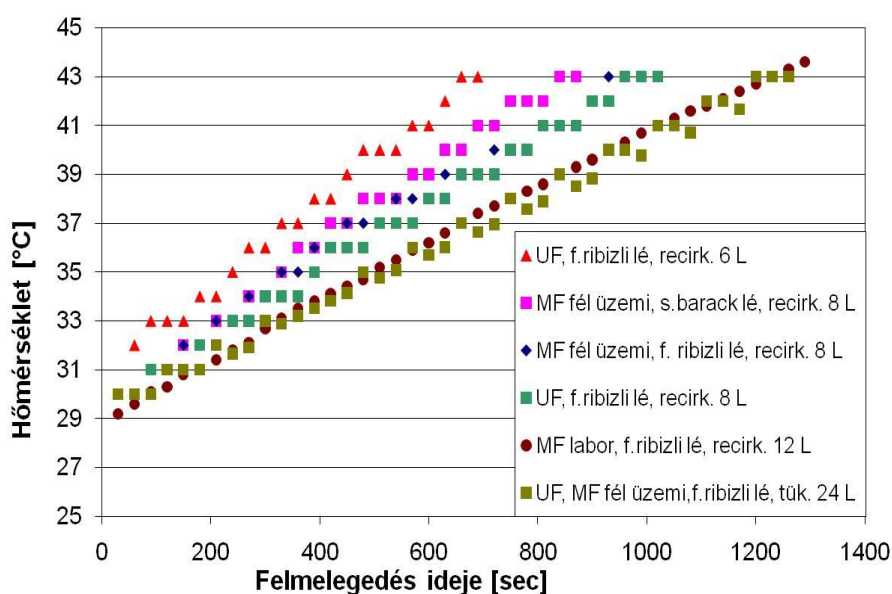
31. ábra: Polimer ultraszűrő (UF) berendezésben lévő víz melegedése folyamatos cirkuláltatás esetén

A 31. ábrán hasonlóan a 30. ábrához ugyanazt a kísérletetsort végeztem el UF membránnal. A berendezés a tükrösítési kísérletekhez használt ultraszűrő berendezés volt (7. táblázat, 23. ábra, 24. ábra). Itt a hőmérsékletre jobban oda kellett figyelnem, mivel ez egy polimer anyagú membrán, így 45°C felett már sérülhet. A rendszer tartályába került víz mennyiségét hasonlóan az előző membránhoz a működés és kapacitás határozta meg. Az alkalmazott transzmembrán nyomáskülönbség 4 bar volt a recirkulációs térfogatáram 2 m³/h. Szintén ezen értékek mellett lehetett a legjobb vízfluxust elérni, így mind a hűtőrendszer tervezéséhez, mind a tükrösítési kísérletekhez ezt a paramétert használtam. A hőmérséklet növekedése itt is lineáris. A felmelegedés idejéből látható, hogy a rendszer könnyebben melegedett. A hőmérséklet mérését a berendezésbe beépített hőmérő mérte, a hőmérsékletkijelző nem tudott tizedes pontossággal mérni, ezért látható az idő elteltével több hőmérsékletpont egymás mellett.

Méréseket végeztem ugyanezen (UF) berendezésen, csak egy nagyobb felületű mikroszűrő (MF félüzemi, 10. táblázat) modullal, amit a méretnövelés után használtam a félüzemi kísérletekhez. A vizes, recirkulációs mérések hasonló tendenciát mutattak, mint az ultraszűrő membrán

használatánál. Az alkalmazott transzmembrán nyomáskülönbség 3 bar volt, a recirkulációs térfogatáram 2 m³/h. Ennél nagyobb értéket MF félüzemi modul esetén nem lehetett a berendezésen beállítani.

Ugyanezek a berendezések, ugyanilyen műveleti paraméterek mellett feketeribizli-lé és kajsziaracklé melegedésére végeztem kísérleteket, recirkuláció és folyamatos elvétel mellett (32. ábra). A hőmérsékletemelkedés ebben az esetben is lineárisan változott. UF esetén 6 liter fekete ribizli-lé 700 sec alatt melegedett, víz esetén 800 sec (31. ábra) alatt. MF félüzemi és UF membránokon 8 liter feketeribizli-lé és 8 liter kajsziaracklé közel hasonlóan melegedett (850-1000 sec). Víz esetén a nagyobb mennyiség (10 liter) melegedett közel ennyi idő alatt. 24 liter feketeribizli-lé esetén is gyorsabb volt a melegedés a vízhez képest.



32. ábra: Tükrösítés berendezéseiben (MF labor, MF félüzemi, UF) lévő gyümölcsle méledése folyamatos cirkuláltatás és elvétel (tük.) esetén

Az előzetes mérések alapján ez a három berendezés (MF labor, MF félüzemi, UF) melegedett a legnagyobb mértékben, így ebből elegendő kiszámolni a hűtőteltjesítményt.

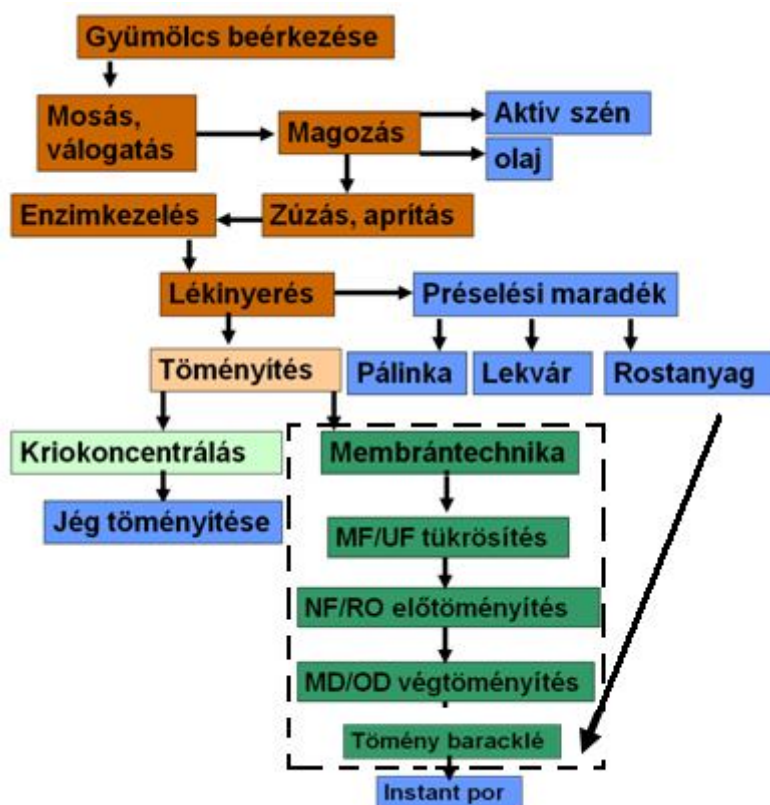
$$q = c_p \cdot m \cdot \Delta T \text{ [kW]} \quad (43)$$

A hűtőteltjesítmény a tartályban lévő folyadék mennyiségének növelésével nőtt (2. Melléklet). A hűtőteltjesítmény meghatározása után, figyelembe véve, hogy egyszerre több berendezést párhuzamosan szeretnék hűteni, és a rendszert tovább kívánja bővíteni, az Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék (fordított ozmózis berendezésre és a membrán desztillációs berendezés hűtésére), egy 7kW-os Carrier 30RA007 típusú hűtőgépet választottam. A nagy hűtőteltjesítményt az is indokolta, hogy a legtöbb berendezésben betáplálási oldalon lévő tartályban spirálcsoves hőcserélő van elhelyezve és a folyamatos elvétel hatására, a folyadékszint lecsökken, és nem tudja a rendszer a folyamatosan melegedő gyümölcslevet ugyanazzal a hűtőteltjesítménnyel

hűteni, mint amikor a tartály tele van. A rendszer további tervezését, alkatrészek kiválasztását, hőcserélők méretezését és hűtőrendszer kiépítését, stb. a Refco Kft és a PC.OS Stúdió Bt szakemberei végezték. A doktori dolgozatomhoz ez a hűtőrendszer nélkülözhetetlen volt, kihívás volt számomra is részt venni a tervezésben, kiépítésben és beüzemelésében.

5.2. A kajszibarack feldolgozásának lépései és a melléktermékek hasznosítása

A kajszibarack általam elképzelt feldolgozását mutatja a 33. ábra. A gyümölcs lényerésének lépéseit, illetve a melléktermékek hasznosításának módjait már az anyagok és módszerek című fejezetben részletesen ismertettem.



33. ábra: Kajszibarack teljes körű feldolgozása és a melléktermék hasznosítása

Az előállított kajszibaracklevet többlépcsős membrántechnikával besűrítettem (33.ábra), tükrösítésre és a lebegő anyagok kiszűrésére mikroszűrést (MF) és ultraszűrést (UF) használtam. Az előtöményítést nanoszűréssel (NF) és fordított ozmózissal (RO) végeztem, és a végtöményítéshez membrán desztillációt (MD) és ozmotikus desztillációt (OD) alkalmaztam.

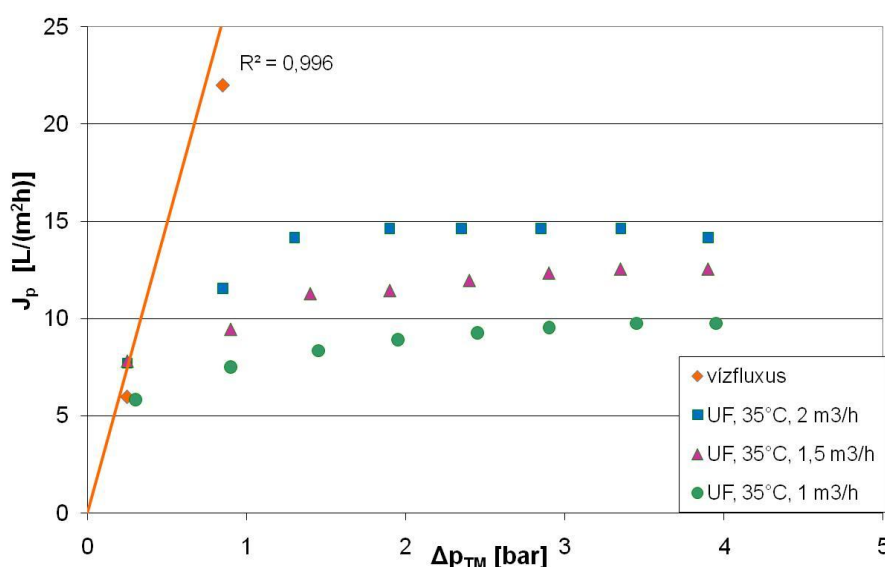
A párhuzamos műveleteket összehasonlítva és az analitikai vizsgálatokat figyelembe véve választottam ki a megfelelő kapcsolást, és a berendezés méreteit növelve félüzemi vizsgálatokat végeztem.

5.3. A kajszibaracklével végzett laboratóriumi tükrösítési kísérletek

A gyümölcsfeldolgozásban egyre inkább elterjed a membrántechnika használata. A préselt gyümölcsleveket első lépésben a lebegő anyagoktól mentesítik, erre a célra kétféle módszer terjedt el az élelmiszeriparban. Számos kutatás alkalmazza az ultraszűrést és a mikroszűrést. Kutatásomban mindkét műveletet vizsgálva igyekszem a megfelelő műveletet kiválasztani kajszibaracklé tükrösítésére.

5.3.1. A kajszibaracklével 37 03 I8 típusú ultraszűrő (UF) membránon végzett kísérletek

A kipréselt kajszibaracklével végzett kísérletek előtt, minden esetben mértem a tiszta víz fluxusát, amiből következtettem a membrán tisztaságára. A tiszta víz fluxusa minden esetben egy origóból induló egyenest kell, hogy mutasson, mivel a tiszta víz nem tartalmaz olyan komponenseket, melyek a membrán pórusait eltömíthetnék. A tiszta víz fluxus meghatározásából számolható a membránellenállás (R_M) is, ami fontos és jellemző paraméter a későbbi modellezésnél. A tiszta víz fluxus mérése alapján, ha a membrán tisztának bizonyult (figyelembe véve a membrán adatlapján szereplő vízfluxus értékeit) kísérleteket végeztem az optimális műveleti paraméterek meghatározására. A 34. ábrán látható a vízfluxus origóból induló egyenese, melynek determinációs együtthatója 0.996. Mivel a víz fluxusértékek magasak, így csak 2 pontot ábrázoltam a diagramban, a teljes fluxusgörbét a 2. sz. melléklet tartalmazza. Három különböző térfogatáramon és 3 különböző hőmérsékleten néztem a membránon átáramló kajszibarack permeátumot úgy, hogy közben a transzmembrán nyomáskülönbséget folyamatosan növeltem. Egy- egy mérési pont után a kapott permeátumot visszaöntöttem a tartályba.



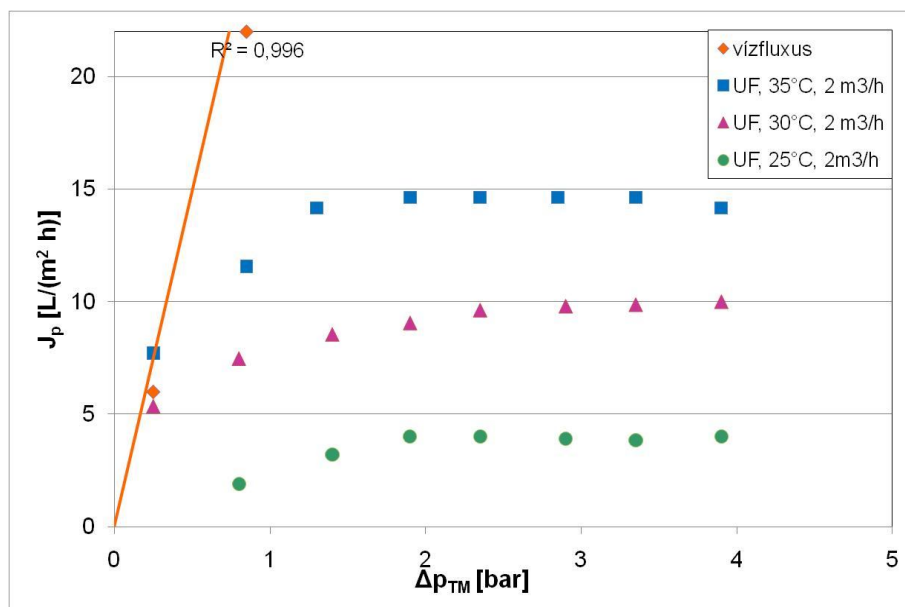
34. ábra: Kajszibaracklé fluxusának változása állandó hőmérsékleten (35°C) különböző recirkulációs térfogatáram mellett a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében ultraszűrés esetén

A 34. ábra a 35°C-on mért szűrletfluxusokat mutatja kajszibaracklé esetén. Látható, hogy a transzmembrán nyomáskülönbség növelésével a szűrletfluxus állandó recirkulációs térfogatáram mellett egy ideig növekszik, majd beáll egy állandósult állapot, ahol az anyagátadás modellezhető, ez az ún. „stady-state” állapot. A fluxus kezdeti növekedésekor a nyomás növelése növeli a membrán felé irányuló konvektív anyagtranszportot. Ennek következtében az oldott anyag koncentrációja a membrán felületén megnő, ami a konvektív árammal ellentétes diffúziót indít el. Az állandósult állapotban a konvektív anyagáramot az ellentétes irányú diffúzió kiegyenlíti, így a szűrletfluxus állandó lesz (PORTER 1990).

A recirkulációs térfogatáram növelésével nő a fluxus is. A jelenség azzal magyarázható, hogy a nagyobb térfogatáram miatt kisebb mértékben alakul ki a koncentráció polarizáció jelensége.

Megvizsgálva állandó 30°C-on és 25 °C-on a kajszibarack fluxusának változását különböző recirkulációs térfogatáramok mellett, ugyanezt a jelenséget figyeltem meg annyi különbséggel, hogy alacsonyabb hőmérsékleten a fluxusértékek is alacsonyabbak, mely csökkenés a viszkozitás növekedésével magyarázható. 35 °C-nál magasabb hőmérsékletet nem alkalmaztam a membrán anyagára és a kajszibarack beltartalmi értékeinek megőrzésére való tekintettel. A 30°C-on és 25°C-on mért fluxus értékeket a 2. sz. melléklet tartalmazza.

A másik szempont, ami alapján vizsgáltam a kajszibaracklé fluxusának változását, hogy állandó térfogatáram mellett végeztem a kísérleteket és a hőmérsékletet változtattam (35. ábra).

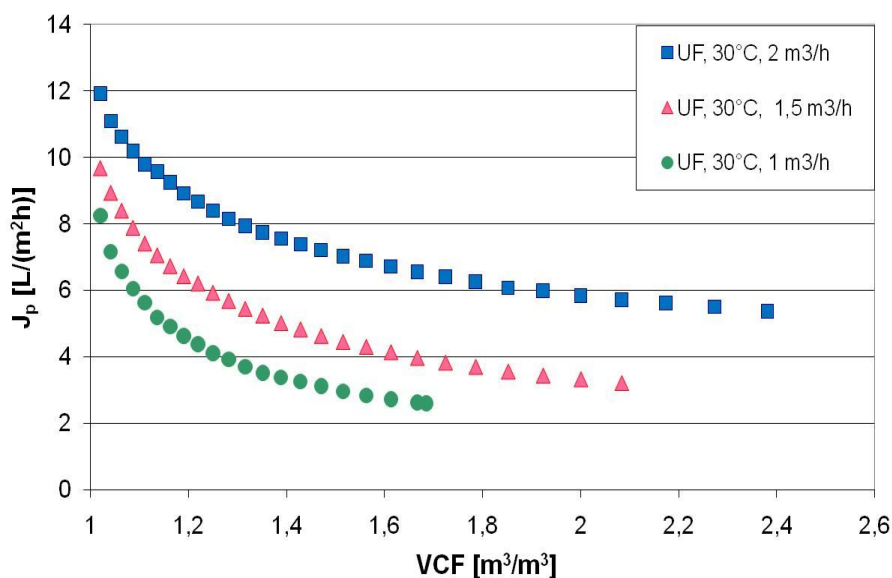


35. ábra: Kajszibaracklé fluxusának változása különböző hőmérsékleteken állandó recirkulációs térfogatáram mellett a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében ultraszűrés esetén (12°Brix)

A hőmérséklet növelése jelentősen emelte a szűrletfluxust. 5°C-os hőmérsékletemelés 25 és 30°C között több mint kétszeresére növelte a szűrletmennyiséget (250%-os növekedés), míg 30 és 35°C között az értékek 150%-kal emelkedtek. Összehasonlítva a recirkulációs térfogatáram hatásával

elmondható, hogy a hőmérséklet változása a mért tartományban sokkal nagyobb mértékben befolyásolta a fluxusváltozást, mint a recirkuláció változása.

A fluxus mérések alapján elmondható, hogy 35°C-on és 2 m³/h recirkulációs térfogatáram mellett tudom leghatékonyabban a szűrést elvégezni. A kísérletsorozatokat tükrösítéssel folytattam, szintén vizsgáltam a recirkulációs térfogatáram és a hőmérséklet hatását. A méréseket minden esetben 4 bar transzmembrán nyomáskülönbség mellett végeztem.



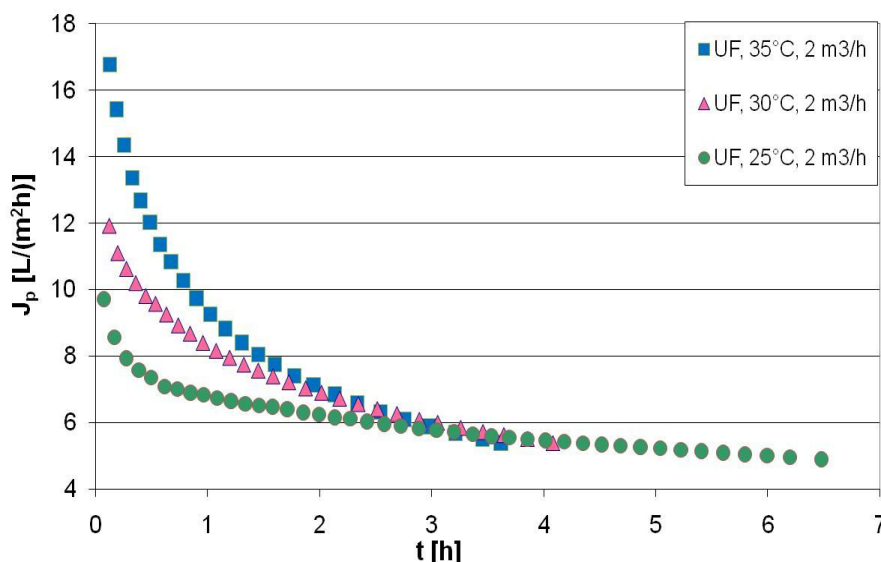
36. ábra: Tükrösítési kísérletek állandó 30°C hőmérsékleten különböző recirkulációs térfogatáram mellett UF berendezésen (12°Brix)

A tükrösítésnél is elmondható ugyanaz a tendencia, mint a fluxusmérésnél (36. ábra). Itt is a térfogatáram növelésével nőtt a fluxusérték. A tükrösítés során viszont állandó (4 bar) transzmembrán nyomáskülönbség mellett a fluxus folyamatosan csökken, kezdetben nagyobb intenzitással, később pedig lassul a csökkenés. A szűrletfluxus csökkenését a növekvő gélréteg ellenállása és a membrán pórusainak eltömődése okozza. A sűrítési aránynál nem minden esetben tudtam magas értéket elérni, ennek oka a hűtőrendszer próbaműködésében keresendő. Szükséges volt még egy-egy apróbb beállításhoz, az állandó hőmérséklet tartására (folyamatos elvétel mellett), így a berendezést le kellett idő előtt állítani. A mérés során a permeátumot külön gyűjtőedényekbe helyeztem el. A fluxusértékek közel állandósultak a mérés vége felé, aminek az ipari méretezésnél van jelentősége.

A kísérleteknél a kiindulási, sűrítmény és szűrlet oldalon mértem a kajsziabaracklé szárazanyagtartalmát kézi refratométerrel. A fluxusméréshez mindig ugyanazt a levet használtam (mivel azt a levet nem akartam tovább feldolgozni), így a szárazanyag-tartalma közel állandó volt. A kiindulási szárazanyag tartalom 12°Brix, a permeátum oldalon, 10°Brixet, a retentátum oldalon is

12°Brixet mértem. A szárazanyag-tartalom mérése alapján elmondható, hogy az ultraszűrő membrán kis mértékben visszatartotta az értékes komponenseket. Az értékes komponensek visszatartását részletesebben az analitikai rész tárgyalásakor fejtem ki.

Az ultraszűrő membránon vizsgáltam továbbá a hőmérséklet hatását is a tükrösítés során.



37. ábra: Tükrösítési kísérletek állandó recirkulációs térfogatáram és különböző hőmérséklet mellett UF berendezésen (8°Brix)

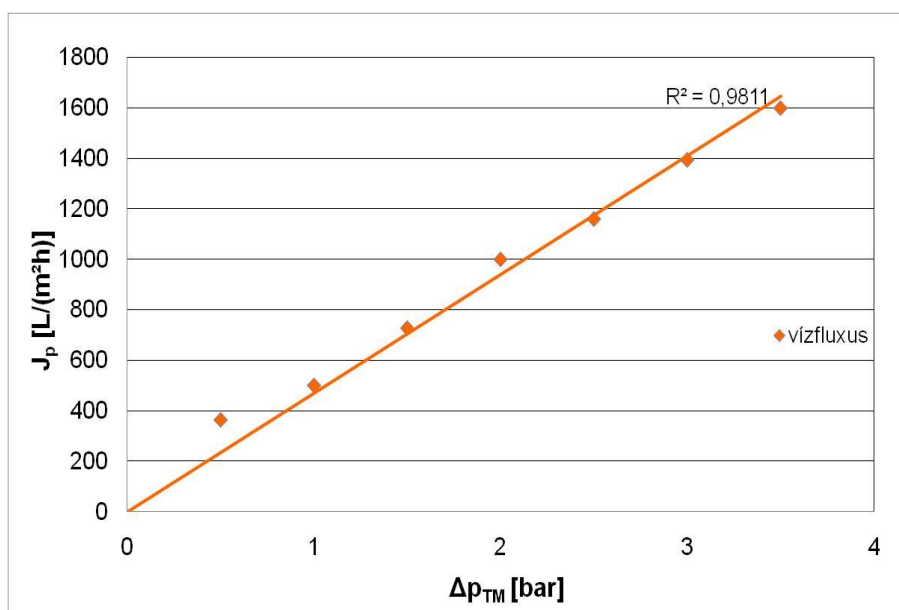
Eredményem alapján (36. ábra) látható, hogy a hőmérsékletnek volt némi hatása a szűrletfluxusra, de egy idő után beállt mindhárom hőmérséklet esetén kb. 6 L/(m²h) értékre. A fluxusmérések alapján nem erre számítottam. Ennek magyarázata abban keresendő, hogy a kiindulási levek változó szárazanyag-tartalommal rendelkeztek. Mivel a mérésekhez nagy mennyiségű levet alkalmaztam, és a feldolgozáshoz is eltérő érettségű alapanyagot kaptam a termelőtől, így a szárazanyag-tartalom is eltérő volt. A kiindulási szárazanyag-tartalom 8-12 °Brix között változott. Ennek függvényében a sűrítmény oldalon 8-13°Brix, míg a permeátum oldalon 6-10°Brix szárazanyag-tartalom volt jellemező.

A 30°C-on végzett mérésekhez is sikerült közel ugyanolyan kiindulási szárazanyag tartalmú levet alkalmaznom, így a 36. ábrán a recirkuláció hatása szépen mutatkozik. A 37. ábrán feltüntetett méréseknél viszont szembetűnő a 25°C-on végzett tükrösítési kísérletnél a magas fluxusérték (összehasonlítva az 2. sz. mellékletben szereplő 3. ábrával). Ebben az esetben a kiindulási kajszibaracklének alacsony volt a szárazanyag-tartalma (8°Brix), ami a permeátum oldalon még alacsonyabb szárazanyag-tartalmat eredményezett (6°Brix), így érthető a több mint kétszer akkora kiindulási fluxusérték. 35°C-nál is kicsit hígabb kajszibaracklével végeztem a mérést, ezért magasabb a fluxusérték.

Minden kísérleti sor között szükség volt a membrán tisztítására. A tisztítást 1%-os NaOH oldattal végeztem, amennyiben nem volt hatékony, hypos oldattal folytattam a mosást. Megfelelő öblítés és eredetire visszaállt vízfluxus mérés után folytattam a kísérletsorozatot.

5.3.2. A kajsziparacklével Schumasiv típusú mikroszűrő (MF) membránon végzett kísérletek

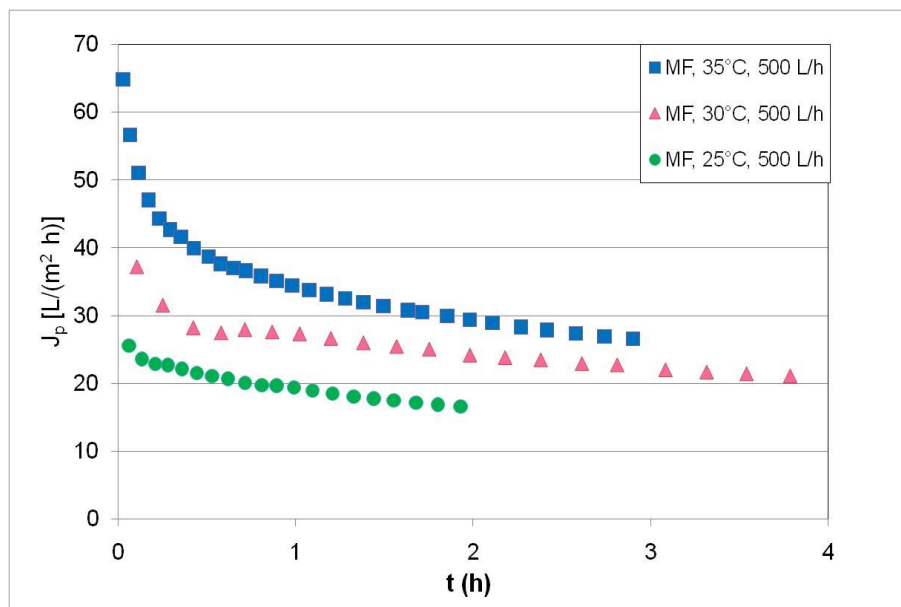
A mikroszűrővel szintén a kajsziparacklé tükrösíthetőségét vizsgáltam, egy nagyobb pórusméretű membránon. A kísérlet menete teljesen hasonló volt az ultraszűrő berendezéssel történő tükrösítéshez. Ebben az esetben is három különböző hőmérsékleten (25, 30, 35°C) és három recirkulációs térfogatáramon (100, 300, 500 L/h), állandó transzmembrán nyomáson (4 bar) vizsgáltam a lé szűrhetőségét. A vízfluxus értékei sokkal magasabb értékeket mutattak (38. ábra) a nagyobb pórusméret miatt, így feltételezhető volt, hogy a kajsziparacklé membránon áthaladó mennyisége is több lesz az idő előrehaladtával.



38. ábra: Vízfluxus alakulása a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében MF Schumasiv membránon ($Q_R=500$ L/h, 30°C)

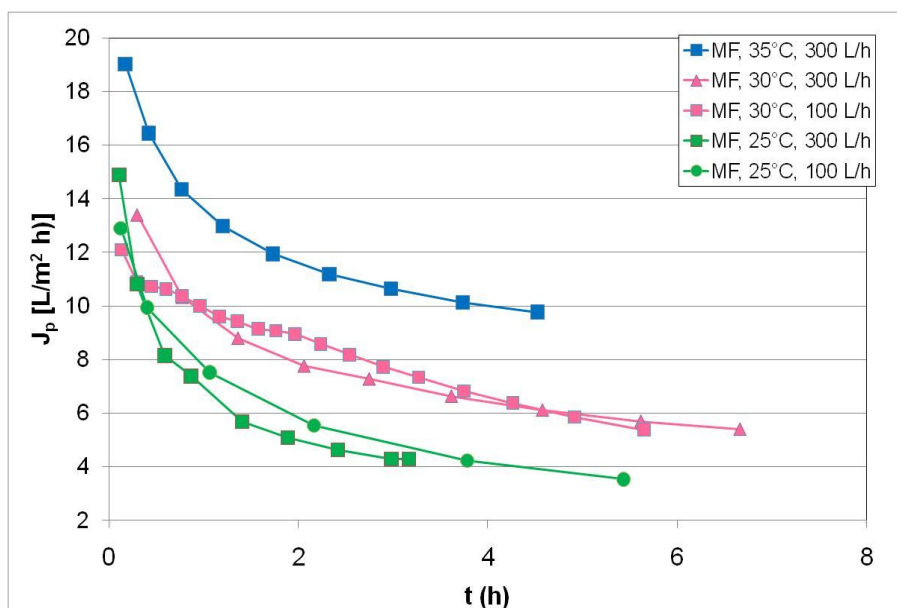
A 39. ábra mutatja a hőmérséklet hatását a legmagasabb recirkulációs térfogatáram mellett. Itt is elmondható, hogy a hőmérsékletnek jelentős szerepe van a fluxus növekedésben. A 35°C-on mért tükrösítési kísérletnél a kiindulási fluxus érték magas és sokkal intenzívebb csökkenést mutat az idő előrehaladtával, mint az 30 és 25°C-on mért értékek. Később alakul ki az állandósult állapot, tehát a membrán nem tömődik olyan nagy mértékben a magasabb hőmérséklet miatt, és a koncentráció polarizáció mértéke is kevésbé hat a folyamatra az alacsonyabb hőmérséklethez képest.

Hasonlóan mértem a kiindulási, permeátum és retentátum oldali szárazanyag-tartalmat kézi refratométerrel. A mikroszűrő membránnak a visszatartása a szárazanyag-tartalomra nézve gyakorlatilag nulla volt. Itt is sajnos jelentkezett a különböző kiindulási szárazanyag-tartalom (8-12°Brix), de mikroszűrésnél nem jelentett olyan problémát, mint ultraszűrésnél.



39. ábra: Tükrösítési kísérletek különböző hőmérsékleten állandó recirkulációs térfogatáram mellett MF berendezésen

Vizsgálva a 300 és 100 L/h közötti térfogatáram hatását (40. ábra) mindhárom hőmérsékleten, arra a következtetésre jutottam, hogy a kisebb recirkulációs értékeken ugyanakkora hajtóerő mellett (4 bar) a fluxus értékek jóval alacsonyabbak az 500 L/h-nál mért értékeknél (39. ábra), és a hőmérséklet hatása közel ugyanakkora, de a recirkulációnak kisebb a jelentősége. 100 L/h esetén nem mértem 35°C-on, de valószínű, hogy ebben az esetben sem lett volna jelentős hatása a térfogatáram változtatásának a fluxus változására. Mindenképp elmondható, hogy mikroszűrés esetén, a legmagasabb térfogatáramon érdemes működtetni a rendszert, mert alacsonyabb térfogatáramon az eltömődés mértéke számottevő.



40. ábra: 300 és 100 L/h recirkulációs térfogatáramok hatása a szűrlet fluxusra 25,30, 35°C-on MF berendezésen

5.3.3. Az ultraszűrés (UF) és mikroszűrés (MF) műveletének összehasonlítása

Az ultraszűrés és mikroszűrés eredményeként elmondható, hogy mindkét esetben tiszta áttetsző szűrletet kaptam, amelyik alkalmas a további feldolgozásra, valamint mindkét esetben a legnagyobb térfogatáram (UF= 2 m³/h, MF=500 L/h) és legmagasabb hőmérséklet (35°C) mellett érhető el a legmagasabb fluxus is. A műveleti paramétereket összehasonlítva a transzmembrán nyomáskülönbség mind ultraszűrés mind mikroszűrés esetén 4 bar állandó érték volt. A hőmérsékletet mindkét esetben 25, 30, 35°C fok között változtattam, melynek állandó értéken tartását a hűtőrendszer biztosította. A recirkulációs térfogatáram ultraszűrés esetén 1; 1,5; 2 m³/h között, mikroszűrésnél 100, 300, 500 L/h között változott.

Megállapítható, hogy eltérés csak a recirkulációs térfogatáramból fakad, így próbáltam egy közös paramétert találni, amely mindkét esetben hasonló. A membrán modulok jellemző méretei alapján (11. táblázat) meghatároztam az áramlási keresztmetszetet (44. egyenlet), az áramlási sebességet (45. egyenlet) és a Reynolds-számot, és közel hasonló eredményt mutatott a Reynold-szám értéke az 500 L/h (MF) és az 1 m³/h (UF) recirkulációs értéknél.

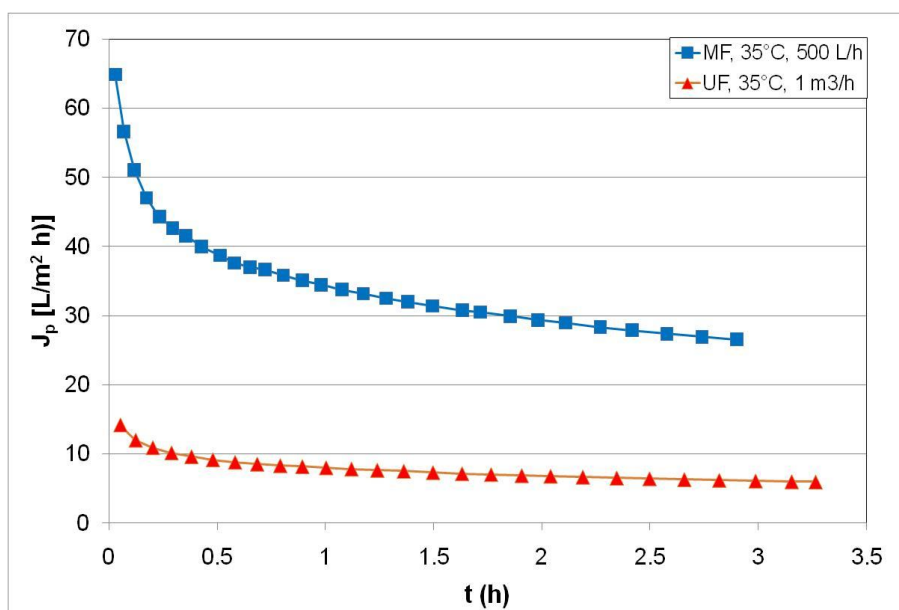
11. táblázat: MF és UF modul paraméterei és számított értékei

	d_b (mm)	n_m (db)	Q_R	A_{ker} (m ²)	v (m/s)	Re
MF	2,5	19	500 L/h	$9,33 \cdot 10^{-5}$	1,49	3700
UF	8	13	1 m ³ /h	$6,53 \cdot 10^{-4}$	0,43	3400

$$A_{ker} = n_m \cdot \frac{d_b^2 \cdot \pi}{4} \quad [\text{m}^2] \quad (44)$$

$$v = \frac{Q_R}{A_{ker}} \quad [\text{m/s}] \quad (45)$$

Így az összehasonlításhoz szolgáló két görbe ultraszűrésnél a 35°C, 1 m³/h mikroszűrésnél a 35°C hőmérsékletű 500 L/h recikrulációs térfogatáram (41. ábra). A két görbe lefutása hasonló. Az ultraszűrés esetén kezdetben csak kicsivel alacsonyabbak a fluxusértékek, és ahogyan az idő múlik, a fluxus változás nagyobb. Ekkora különbség a membránok pórusméretéből fakad. A műveleti paramétereket összehasonlítva elmondható, hogy a mikroszűrés jobbnak bizonyul. Figyelembe véve a szárazanyag-tartalom változását, ott is a mikroszűrő bizonyul hatásosabbnak.



41. ábra: MF és UF összehasonlítása ugyanolyan paraméterek mellett

5.4. A tükrösített kajsziparacklé előkoncentráálásának laboratóriumi vizsgálata

A kajsziparack előtöményítésének vizsgálata sokkal több kísérletsorozatot eredményezett, mint tükrösítésnél, mivel az ultraszűrt levet és a mikroszűrt levet is nanoszűréssel (NF) és fordított ozmózissal (RO) is előtöményítettem. Elsődleges szempontom, hogy a legjobb műveleti paramétereket megtaláljam úgy, hogy figyelembe veszem az analitikai méréseket is. A nanoszűrésre és a fordított ozmózisra is számos kutatás ismert a gyümölcslevek elősűrítése szempontjából, ezért célom megmutatni, hogy mekkora a legmagasabb szárazanyag-tartalom és a sűrítési arány (amit a mérés során el lehet érni), és ehhez a leghatékonyabb műveleti paraméterek kiválasztása és a méretnövelés megvalósítása kajsziparacklé előtöményítése esetén.

5.4.1. Előtöményítés két membrán sorbakapcsolásával

Az ultraszűrt kajszibarack lé besűrítését egy 93 %-os sóvisszatartású fordított ozmózis (ACM2) és egy 80 %-os sóvisszatartású nanoszűrő (TS80) membránon végeztem.

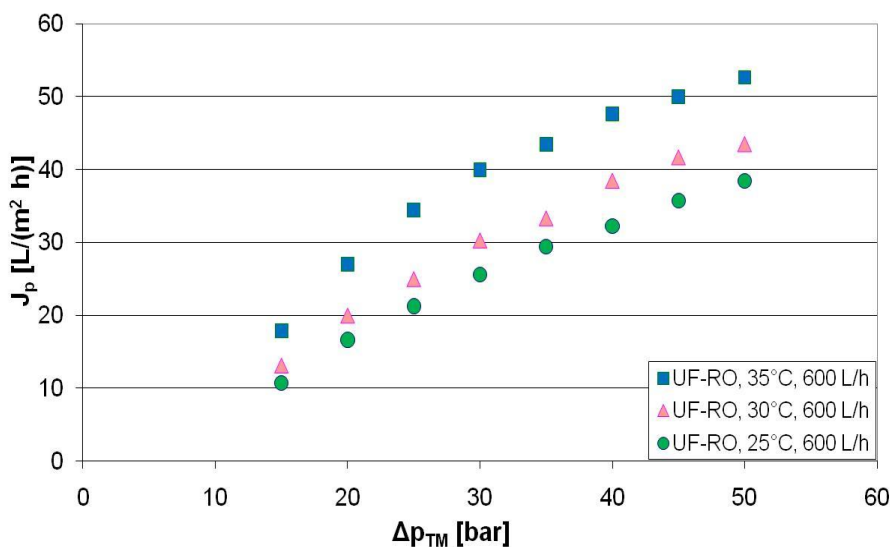
UF-RO (ACM2) történő elősűrítés

Fluxusméréseket alkalmaztam változtatott paraméterek mellett. A nyomást 15 bar-ról növeltem 5 bar-onként, egészen 50 bar-ig. 15 bar alatt nem tudtam méréseket végezni, ugyanis ekkor még nem sikerült mérhető permeátum mennyiségre szert tennem, a kajszilé ozmózis nyomásának mértéke miatt.

A 42. ábra a 600L/h térfogatáramon és különböző hőmérsékleteken mért fluxusértékeket mutatja a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében.

Az egyes hőmérsékleteken végzett mérési eredmények jól elkülönülnek egymástól.

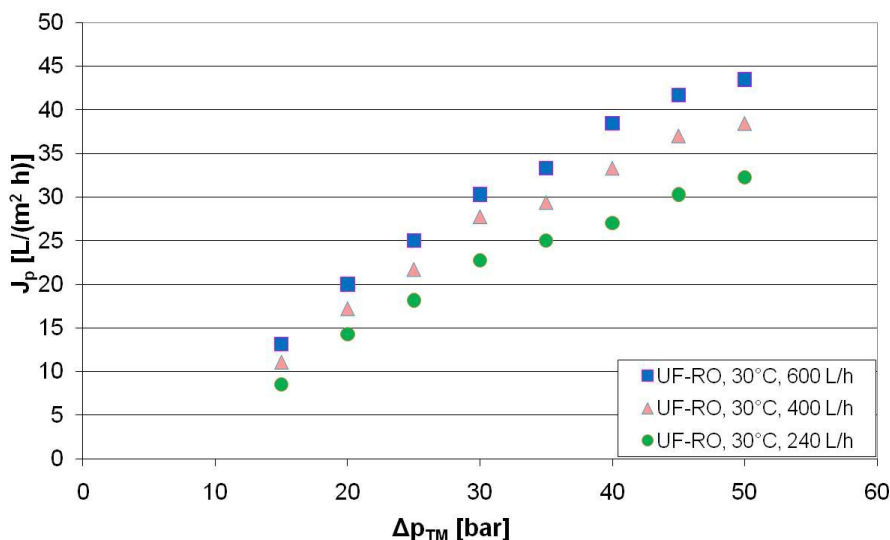
A hőmérséklet 5°C-os növelésével ~10-20%-os fluxusnövekedést tudtam elérni. Ez szintén a fizikai tulajdonságok változásának tudható be. A fluxusgörbék lefutásából látható, hogy a nyomás és a hőmérséklet növelésével a fluxus folyamatosan nő, és a mért tartományban nem állandósul. A legmagasabb fluxusértéket 35°C-on mértem. A besűrítéshez a legnagyobb, 50 bar-os nyomást alkalmaztam.



42. ábra: Ultraszűrővel tükrösített kajszibaracklé vizsgálata fordított ozmózissal, különböző hőmérsékleten, állandó recirkulációs térfogatáram esetén

A 43. ábra a különböző térfogatáramokon és azonos hőmérsékleten mért barackléfluxusokat mutatja a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében.

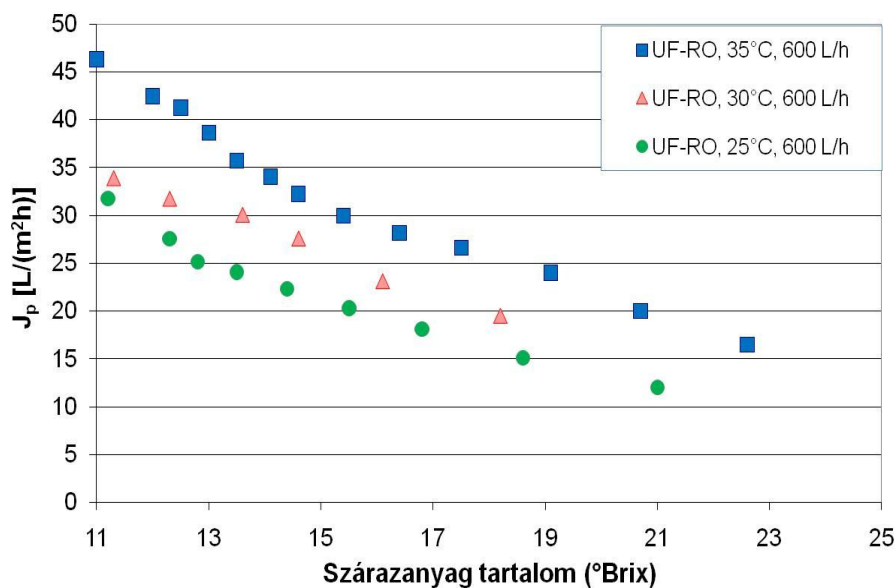
A fluxus ~15%-kal nő a térfogatáram ~200 L/h-s növelésével. Az előzőekhez képest jól látható, hogy a térfogatáram hatása a fluxusra kisebb, mint a hőmérsékleté, főleg az alacsonyabb transzmembrán nyomáskülönbségek esetében.



43. ábra: Ultraszűrővel tükrösített kajsziaracklé vizsgálata fordított ozmózissal, állandó hőmérsékleten, különböző recirkulációs térfogatáram esetén

A hőmérséklet jelentősebb hatását már a tükrösítésnél is tapasztaltam.

A kísérleteknél a permeátum szárazanyag-tartalmát is mértem. A permeátum 0-0,3°Brix-es volt, a színe teljesen átlátszó, vízszínű, így elmondható, hogy a membrán gyakorlatilag teljesen visszatartja a színezőanyagokat és az értékes komponenseket.

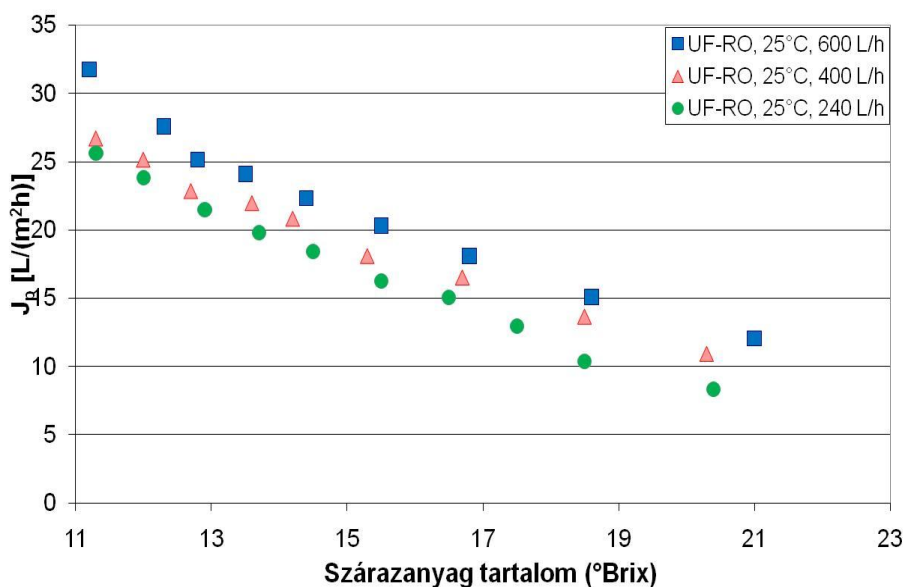


44. ábra: Az ultraszűrővel tükrösített lé előtöményítése fordított ozmózissal, állandó 600 L/h térfogatárammal, 25, 30, és 35°C-on

A 44. ábra szerint 5°C-os hőmérsékletnöveléssel ~17%-kal nőtt a permeátum fluxusa. A lenti ábra a szárazanyag-tartalom függvényében mutatja a permeátum fluxusának értékeit különböző hőmérsékleteken és azonos térfogatáramon.

Vizsgáltam a besűrítés hatékonyságát is. A fluxusértékeket a szárazanyag-tartalom függvényében ábrázoltam. A 45. ábrán a 25°C alkalmazásával kapott eredményeket szeretném bemutatni.

Észrevehető, hogy ezen a hőmérsékleten a legalacsonyabbak a fluxusértékek. Ezzel a módszerrel 21°Brix szárazanyag-tartalmat sikerült elérnem. Ebben az esetben a térfogatáram 200 L/h-s növelésével ~10%-os növekedést valósítottam meg.



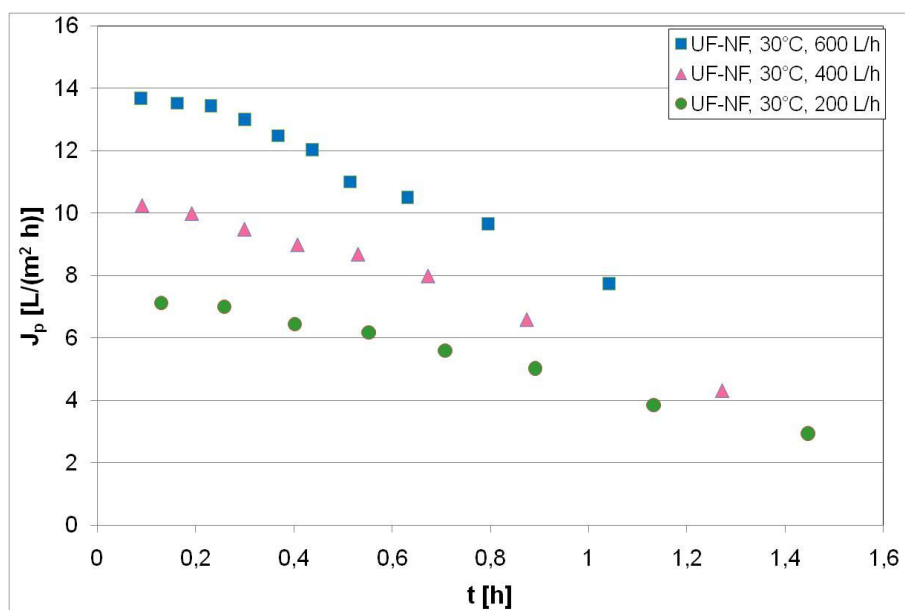
45. ábra: Az ultraszűrővel tükrösített lé előtöményítése fordított ozmózissal, állandó 25°C mellett, különböző térfogatáramokkal

UF-NF (TS80) történő elősűrítés

Az ultraszűrőssel tükrösített kajsziabaracklevet nanoszűrőssel is töményítettem. Nanoszűrést azért választottam, mivel kevesebb energiabefektetéssel és beruházással jár a folyamat a fordított ozmózishoz képest az alacsonyabb transzmembrán nyomáskülönbség miatt, viszont így a fluxusértékek is alacsonyabbak.

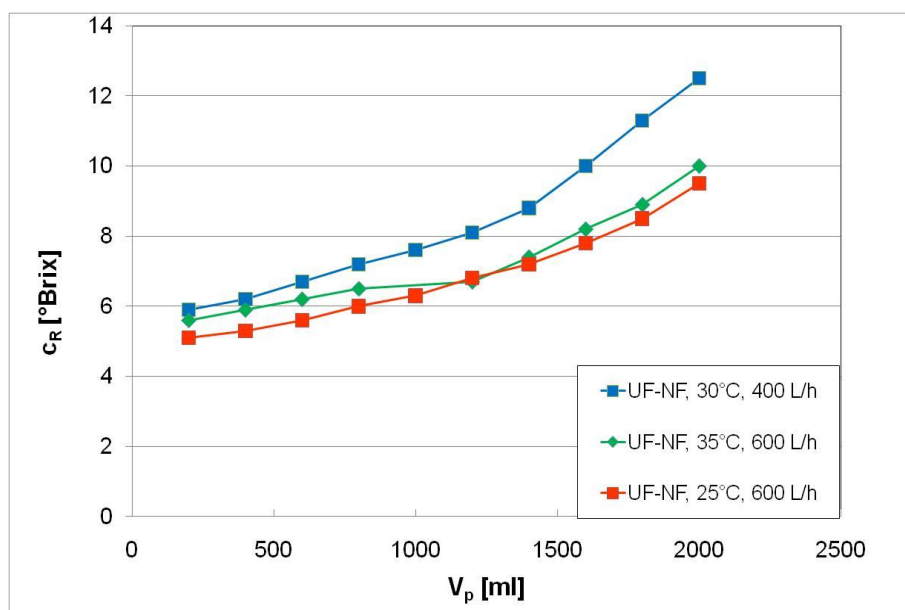
A méréseket 20 bar transzmembrán nyomáskülönbség mellett 25, 30, 35 °C-on, 200, 400, 600 L/h recirkulációs térfogatáram mellett 2,5-3 liter tükrösített lével végeztem.

46. ábrán látható ugyanaz a tendencia, ami a fordított ozmózisos méréseknél is megfigyelhető (44. ábra), viszont itt a hőmérsékletnek nagyobb a hatása. A fluxusértékek láthatóan alacsonyabbak, mint RO esetében.



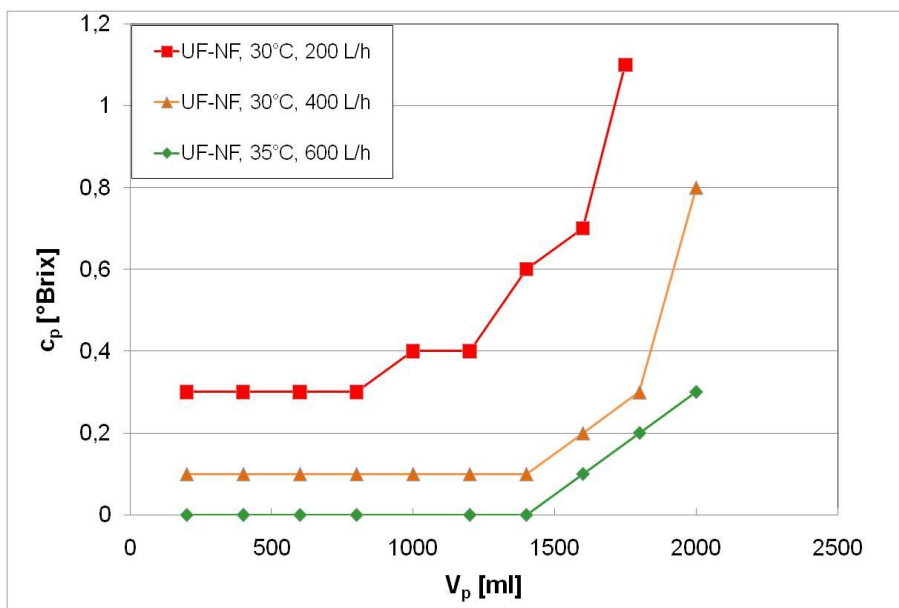
46. ábra: Az ultraszűrővel tükrösített lé előtöményítése nanoszűrőssel, állandó 30°C mellett, különböző térfogatáramokkal

Vizsgálva a retentátum szárazanyag-tartalmát, hasonló kiindulási °Brix értékek mellett megfigyelhető (47. ábra), hogy alacsony értékről indulnak, ami az ultraszűrő visszatartásából fakad, és a növekedés is kismértékű, 13°Brix feletti értéket nem értem el.



47. ábra: Nanoszűrés esetén a retentátum szárazanyag-tartalma

A szárazanyag-tartalom ilyen csekély mértékű növekedése azzal magyarázható, hogy a permeátum oldalon is megjelenik a szárazanyag (48. ábra), és szemmel látható a színanyagok átjutása is a membránon. Legmagasabb recirkulációs térfogatáramot alkalmazva egy bizonyos mennyiségig (1400 ml) a szárazanyag-tartalom a permeátum oldalon 0°Brix, majd ugrásszerűen megnövekszik.



48. ábra: Nanoszűrés esetén a permeátum szárazanyag-tartalma

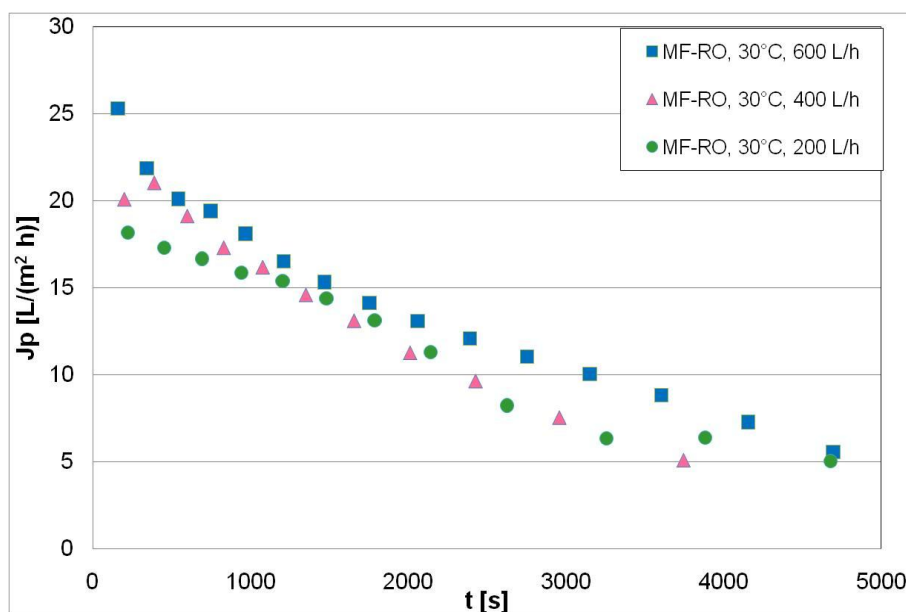
A besűrítés előrehaladtával a sűrítmény koncentrációja folyamatosan növekedett, ami az oldott anyagok visszatartásának csökkenését vonta maga után. 1500 ml permeátum elvétele után a retentátumnak a membrán felületén mérhető ozmózisnyomása annyira megközelítette a transzmembrán nyomáskülönbséget, hogy az így minimálisra csökkent hajtóerő és szűrletfluxus miatt az oldott anyagok koncentrációgradiens által irányított, membránon keresztüli diffúziós transzportja lett a meghatározó az oldószer nyomásgradiens által irányított, konvektív transzportjával szemben. Ezzel magyarázható a permeátum szárazanyag-tartalmának hirtelen növekedése.

5.4.2. A mikroszűréssel tükrösített kajszibaracklé előtöményítése

MF-RO (ACM2) történő elősűrítés

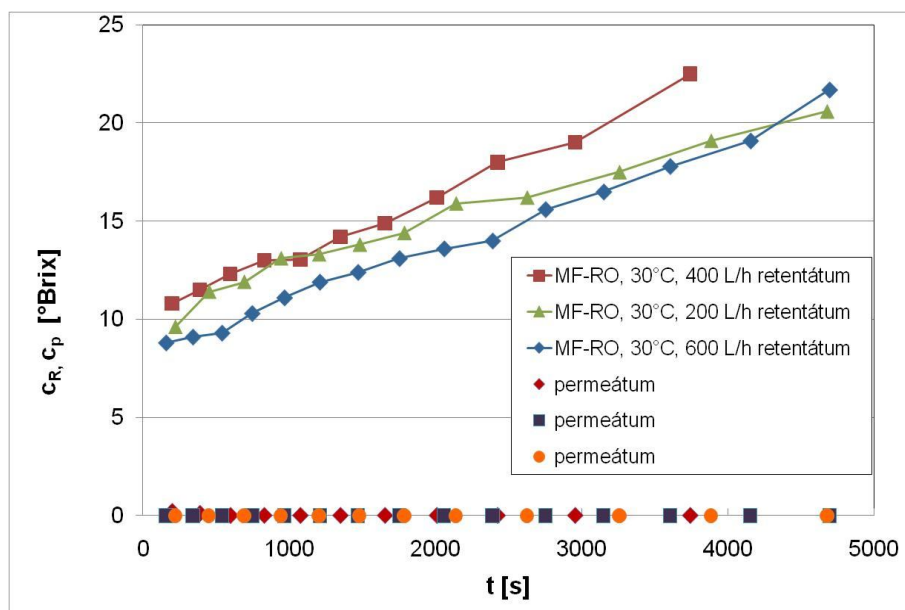
A mikroszűrt kajszibaracklé besűrítését egy 80 %-os sóvisszatartású nanoszűrő (TS80) és egy 93 %-os sóvisszatartású fordított ozmózis (ACM2) membránon végeztem, ugyanolyan membránokkal, mint az ultraszűrésnél.

Hasonló eredményeket kaptam, az előző fejezetben leírtakhoz. A 49. ábra mutatja a 30°C-on végzett kísérleteket 200, 400 és 600 L/h térfogatáram mellett. A fluxus hasonló tendenciát mutat az előző kísérletekkel, mikroszűrt kajszibaracklé betöményítésénél sincs nagy jelentősége a térfogatáramnak.



49. ábra: Mikroszűrt lé fordított ozmózissal történő besűrítése, 30°C-n különböző térfogatáram mellett

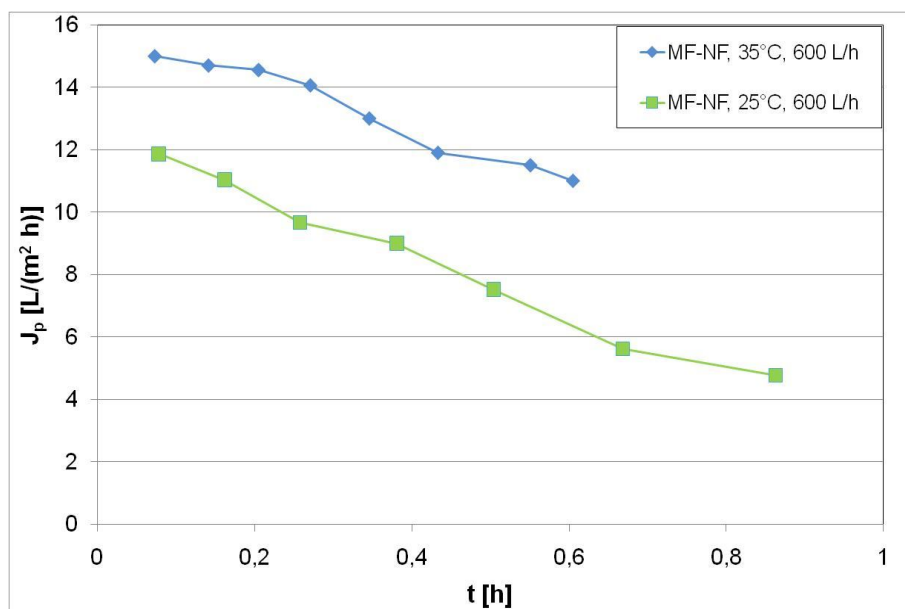
Vizsgálva a sűrítmény és a szűrlet szárazanyag-tartalmát (50. ábra), jól látható, hogy hasonló kiindulási °Brix mellett a sűrítmény oldalon az értékek az idő előrehaladtával közel lineárisan növekednek, míg a szűrlet oldalon az értékek minden esetben nullát mutatnak. Fordított ozmózis esetén itt is 50 bar transzmembrán különbséget alkalmaztam a jó összehasonlíthatóság érdekében.



50. ábra: Mikroszűrt lé fordított ozmózissal történő besűrítésekor a retentátum és permeátum szárazanyag-tartalmának változása

MF-NF (TS80) történő elősűrítés

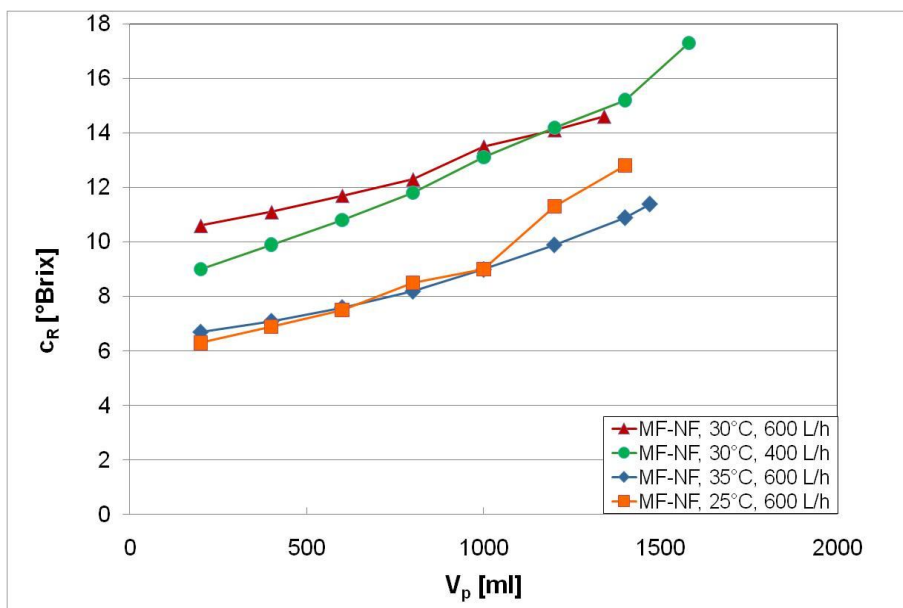
A mikroszűrt lé nanoszűrővel történő besűrítését is elvégezve (51. ábra) látható a hőmérséklet hatása a folyamatra. Magasabb hőmérsékleten (35°C) magasabb fluxusértékeket tudtam elérni, így gyorsabb is volt a folyamat, viszont a fluxusértékek az alacsonyabb nyomás (20 bar) miatt kisebbek lettek a fordított ozmózishoz képest.



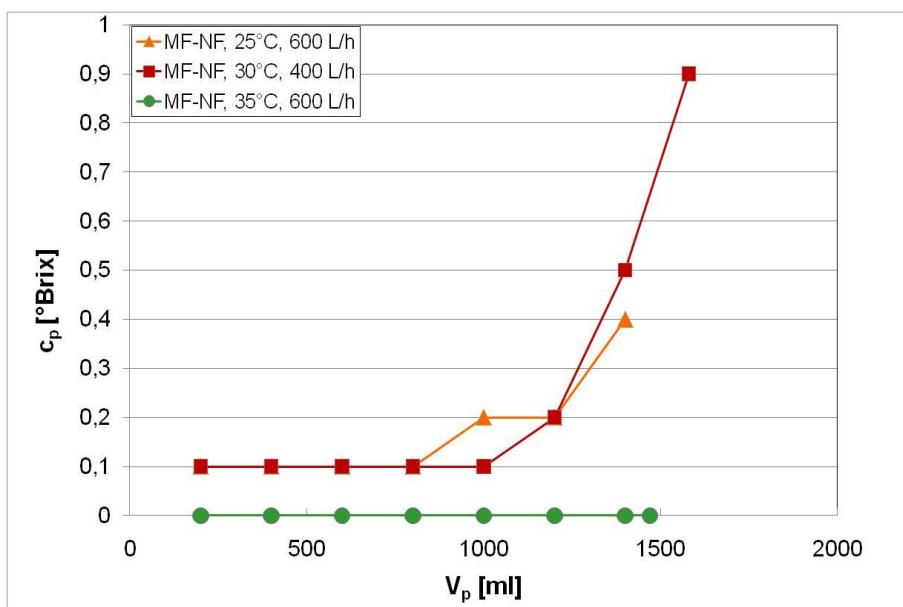
51. ábra: Mikroszűrt lé nanoszűrővel történő besűrítése 35 és 25°C-on 600 L/h térfogatáram mellett

Ebben az esetben is ábrázoltam a szárazanyag-tartalom változását (52. ábra), kicsit laposabb a görbe emelkedése a fordított ozmózishoz képest, de elmondható itt is a lineáris növekedés. A műveleti paramétereknek nincs hatása a koncentráció változására, a görbék közel párhuzamosak, a kiindulási értékek pedig a tükrösítésnél említett, különböző érettségű alapanyagok miatt, illetve az alkalmazott tükrösítési eljárások (MF, UF) visszatartásából adódnak.

Megvizsgálva a permeátum oldalon is a szárazanyag-tartalom változását (53. ábra), látható, hogy 600 L/h 35°C-on a visszatartás 100%, tehát a permeátumban nincs szárazanyag-tartalom, viszont alacsonyabb hőmérsékleten, 25,35°C-on különböző térfogatáram mellett (400, 600 L/h) ugyanaz a jelenség tapasztalható, mint az ultraszűrt kajsziabaracklé nanoszűrővel történő tükrösítésénél. Bizonyos permeátum elvételig (kiindulási mennyiség 3000 ml, elvett mennyiség kb 1000 ml) a permeátum szárazanyag-tartalma minimális 0,1 °Brix, szemmel láthatóan a szűrlet tiszta, aztán hirtelen növekszik hasonlóan a 48. ábra magyarázatában összefoglaltakhoz.



52. ábra: Mikroszűrt lé nanoszűréssel történő besűrítésekor a retentátum szárazanyag-tartalmának változása



53. ábra: Mikroszűrt lé nanoszűréssel történő besűrítésekor a permeátum szárazanyag-tartalmának változása

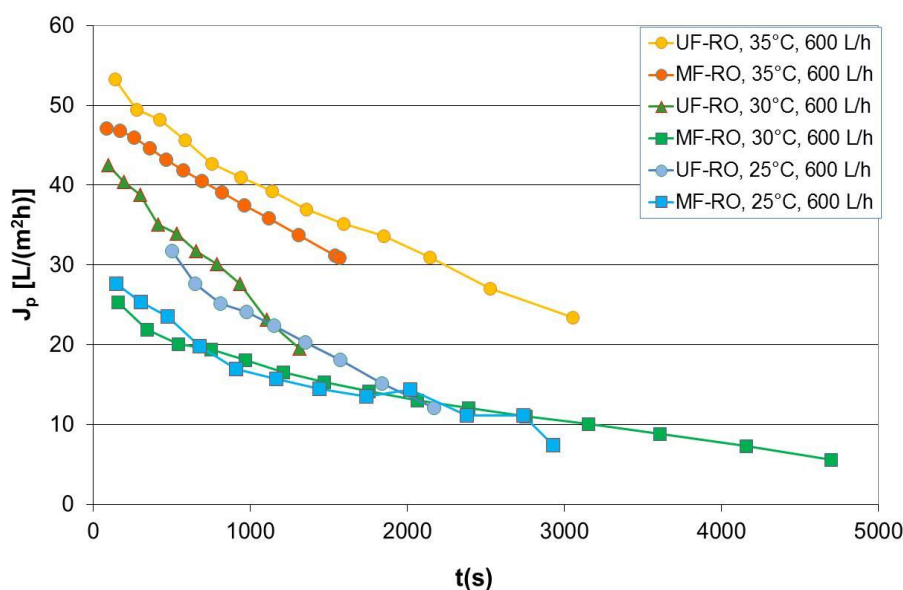
5.4.3. A tükrösített kajsziparacklé nanoszűrése és fordított ozmózisos előtöményítésének összehasonlítása

Az eddig ismertetett eredmények alapján arra a következtetésre jutottam, hogy mind az ultraszűréssel, mind a mikroszűréssel előszűrt levet fordított ozmózissal érdemes tovább töményíteni, de mindenképp vizsgálandó nanoszűrése előtöményítés is, hiszen van eset, amikor ott is a szárazanyag visszatartás tekintetében jó eredményeket kaptam. A továbbiakban az előbb

ismertett módszereket hasonlítom össze, és levonva a következtetéseket meghatározom a legjobb kapcsolást és műveleti paramétereket, melyek segítik a félüzemi berendezések méretezését.

UF-RO, MF-RO összehasonlítás

A korábban ismertetett mérési eredmények alapján elmondható, hogy a legmagasabb hőmérséklet 35°C és a legnagyobb recirkulációs térfogatáram 600 L/h mellett érhető el a legnagyobb fluxusérték, és a szárazanyag-tartalmat figyelembe véve az eredmények jó hatásfokot mutatnak. Az 54. ábrán az ultraszűrt és mikroszűrt levek fordított ozmózissal történő besűrítése látható 25, 30, 35 °C –on minden esetben 50 bar transzmembrán különbséget alkalmazva és állandó 600 L/h térfogatáram mellett. Az érdekesség a fluxusok változásában mutatkozik. A fluxusváltozás sebessége függ a kiindulási mennyiségtől, amit az előszűrés hatékonysága befolyásol, így az idő változásának nincs nagy jelentősége jelen esetben, az én vizsgálatomban. Minden hasonló színű görbe első görbéje az ultraszűréssel előtöményített levet, második görbéje a mikroszűréssel előtöményített levet mutatja.



54. ábra: Ultraszűrt és mikroszűrt levek fordított ozmózissal történő töményítése 25, 30, 35 °C-on és 600 L/h recirkulációs térfogatáramon

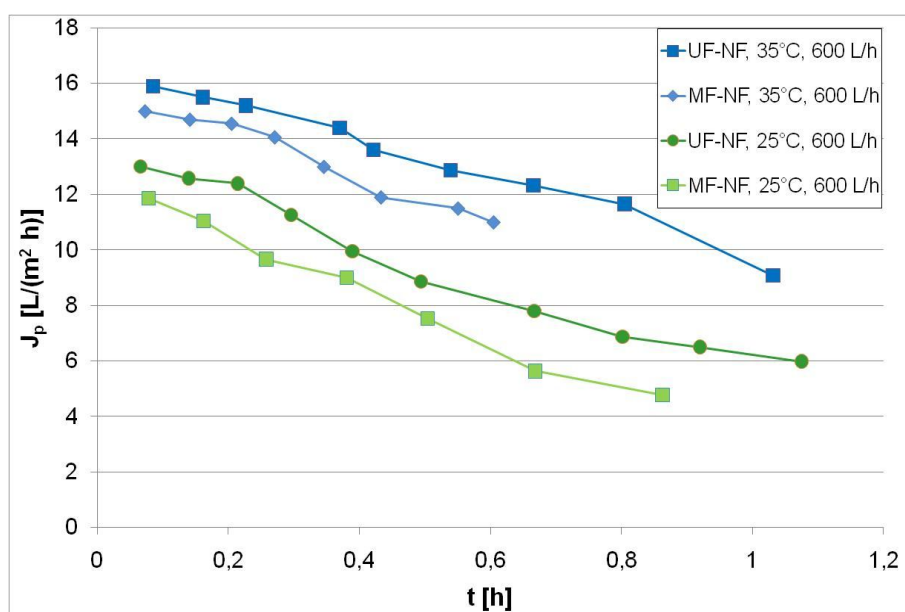
Látható, hogy az ultraszűréssel tökrösített lé fordított ozmózissal történő előtöményítése esetén a fluxusértékek minden esetben magasabbak, mint mikroszűréssel történő előtöményítés esetén. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy ultraszűrés esetén nagyobb a visszatartás, ez a szárazanyag-tartalomban mutatkozik és a mérések alapján szemmel láthatóan a színyanyagokban is van visszatartás. Ebből következtethető, hogy egyéb más értékes anyagokban is jelentkezni fog ez a jelenség. (Ezt részletesebben az analitikai mérések elemzésekor fejtem ki). Figyelembe véve ezeket a megfigyeléseket, feltételezhető, hogy az ozmózis nyomás mértéke is kisebb, illetve a gélréteg

kialakulása is lassabb ultraszűréssel tükrösített kajszibaracklé előtöményítéskor, így ez a magasabb fluxusértékben mutatkozik meg. Ezen magyarázat alapján műveleti szempontból az ultraszűrt lé töményítése javasolt, analitikai szempontból és az előszűrési kísérletek összehasonlítása (41. ábra) alapján a mikroszűrt lé töményítése javasolt fordított ozmózissal.

A félüzemi kísérletekhez ezen összehasonlítás alapján a mikroszűrés és fordított ozmózis kapcsolását javaslom.

UF-NF, MF-NF összehasonlítás

Mindenképp fontos, hogy összehasonlítást végezzek a nanoszűrt levek előtöményíthetőségét illetően is, hogy még jobban alátámasszam a megfelelő kapcsolást.

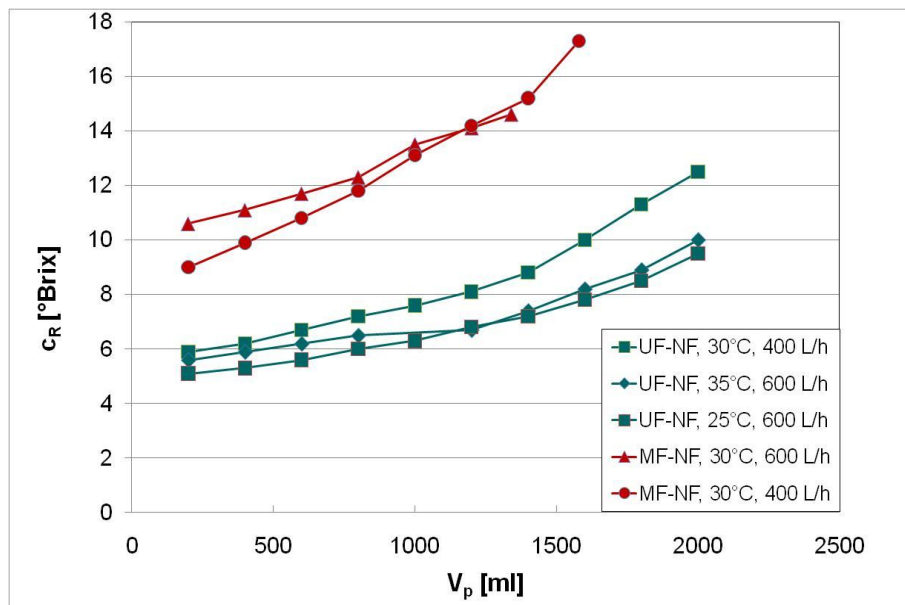


55. ábra: Ultraszűrt és mikroszűrt levek nanoszűréssel történő töményítése 25, 35 °C-on és 600 L/h recirkulációs térfogatáramon

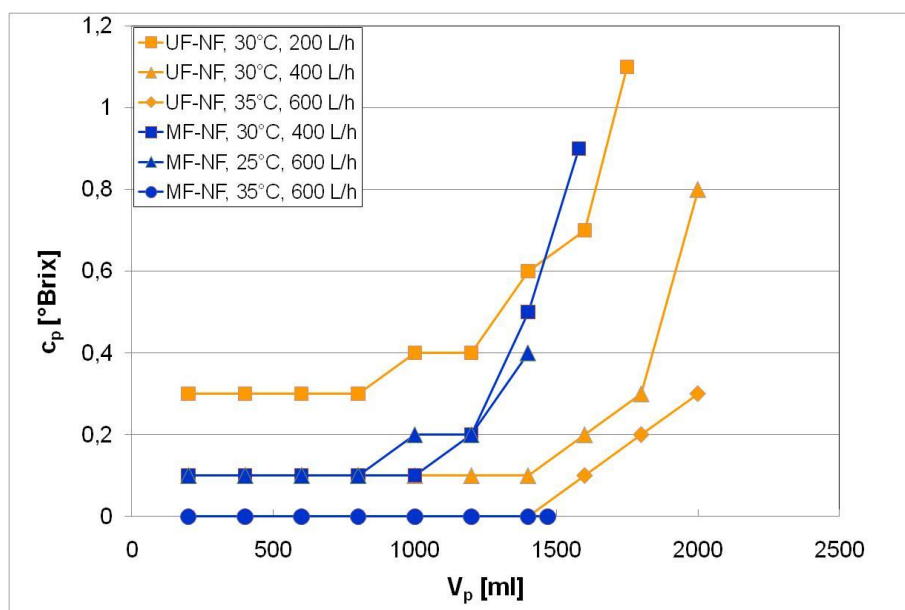
Az 55. ábra mutatja az ultraszűrt és mikroszűrt levek előtöményítését nanoszűrés esetén. Ugyanaz a jelenség figyelhető meg, mint fordított ozmózisos töményítés esetén, hogy a mikroszűrt levek előtöményítéskor a fluxusértékek magasabbak, de nem olyan nagy mértékben, mint fordított ozmózisnál. Itt is megfigyelhető a csökkenő görbe és a hőmérséklet hatása is, amit már fentebb részleteztem.

Megfigyelve a szárazanyag-tartalom változását (56. ábra), közel párhuzamosak a görbék, mikroszűrt lé töményítése esetén a magasabb kiindulási szárazanyag-tartalom miatt magasabbak a végső értékek, maximum 18°Brix szárazanyag-tartalmat sikerült elérni.

A permeátum oldalon (57. ábra) a szárazanyag-tartalom növekedését tapasztaltam, egy eset kivételével a MF-NF 35°C, 600 L/h. Így mindenképp fontos ezt a kapcsolást összehasonlítani a fentebb kiválasztott MF-RO kapcsolással.



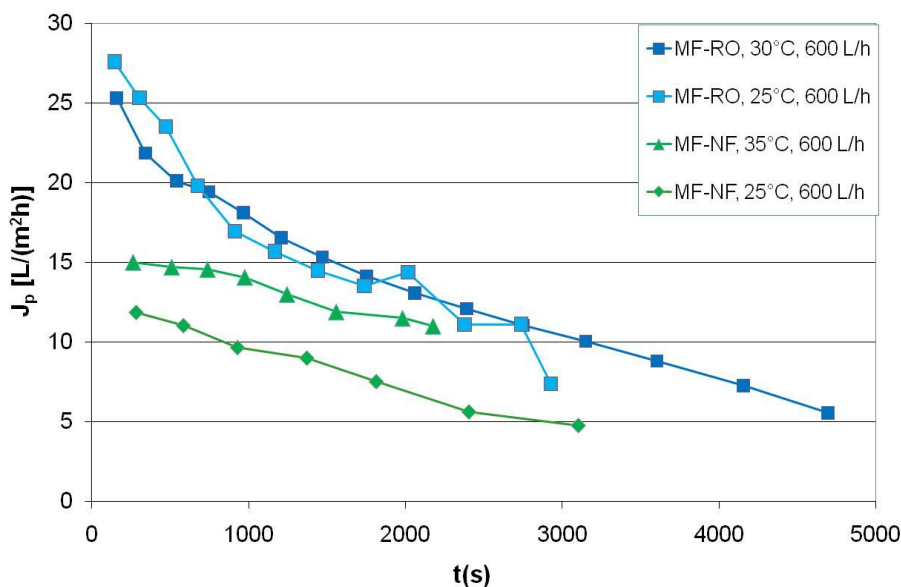
56. ábra: Ultraszűrő és mikroszűrő lé nanoszűrőssel történő besűrítésekor a retentátum szárazanyag--tartalmának változása



57. ábra: Ultraszűrő és mikroszűrő lé nanoszűrőssel történő besűrítésekor a permeátum szárazanyag--tartalmának változása

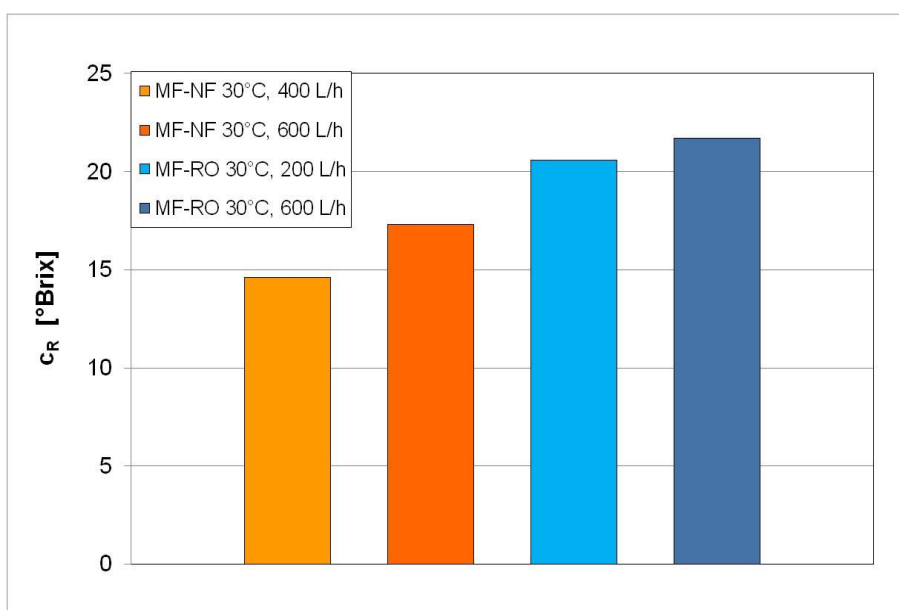
MF-NF és MF-RO összehasonlítása

A két feltételezett MF-NF és MF-RO kapcsolás fluxusgörbéit összehasonlítva (58.ábra), amin már leírtam, a fordított ozmózis értékek magasabbak, mivel az alkalmazott nyomás is magasabb (50 bar, NF esetén 20 bar). Ebből adódóan az RO-t javaslom a félüzemi mérésekhez.



58. ábra: Mikroszűrt lé nanoszűrővel és fordított ozmózissal történő besűrítésének összehasonlítása különböző hőmérsékleteken 600 L/h térfogatáramon

Összehasonlítva a végső szárazanyag-tartalmakat (59. ábra) itt is az RO-s mérések bizonyulnak jobbnak a nanoszűrővel szemben, mindamellet pedig a fordított ozmózis esetén a permeátum sima víz.



59. ábra: Mikroszűrt lé nanoszűrővel (20 bar) és fordított ozmózissal(50 bar) történő besűrítése esetén a retentátum szárazanyag-tartalmának végső értékei

A tükrösítési és előtöményítési kísérletek alapján a MF-RO kapcsolást javaslom a félüzemi tervezéshez, 50 bar transzmembrán nyomáskülönbség mellett, 600 L/h recirkulációs térfogatáramot és 35°C-os hőmérsékletet.

5.5. Végtöményítés három membrán sorbakapcsolásával

A végső töményítésre membrán desztillációs (MD) és ozmotikus desztillációs (OD) méréseket végeztem. A méréseket nem minden kombinációban, csak a kiválasztott MF-RO és MF-NF kapcsolások esetén folytattam, a többi esetben nem tartottam fontosnak a paraméterek vizsgálatát, mivel az előzetes kísérletek alapján azokat kizártam. Az ozmotikus desztillációs méréshez MD020FP2N, MD020CP2N a membrán desztillációs mérésekhez MD020FP2N típusú hidrofób membránt alkalmaztam.

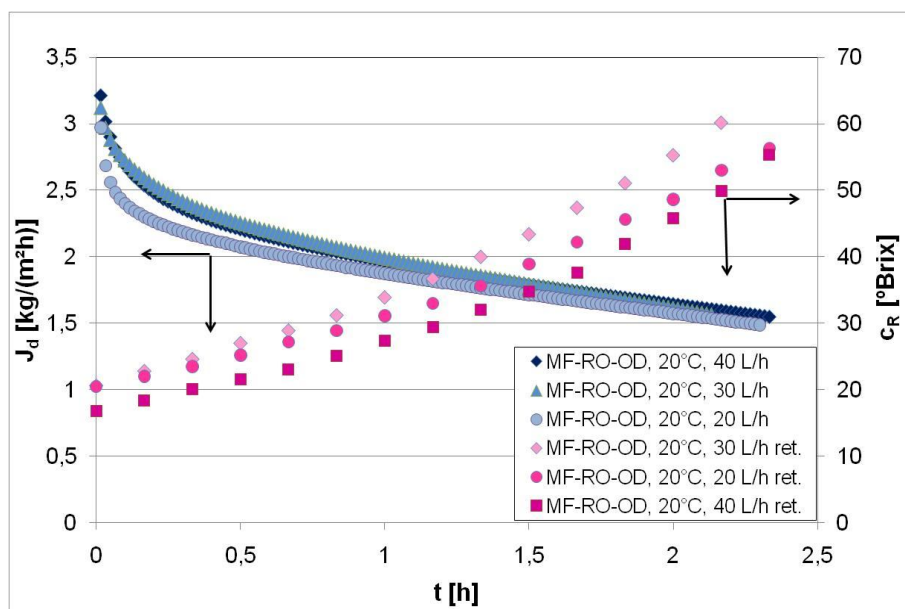
A következő fejezetben (ozmotikus desztilláció esetén) csak a MD020CP2N típusú kapillárcsöves membránnal végzett eredményeket részletezném, a másik membránra az összehasonlítás során térek ki.

5.5.1. Kajsziabaracklé végső töményítése ozmotikus desztillációval

Ozmotikus desztillációs (OD) esetén is a termék a retentátum, de a folyamat hajtóereje nem a nyomáskülönbség, mint az eddigiek során alkalmazott műveleteknél (MF, UF, RO, NF), hanem a membrán pórusainak két oldalán fellépő gőznyomáskülönbség. A membrán (MD020CP2N típus, 0,2 m² szűrőfelületű) anyaga fontos, hogy hidrofób legyen, hogy a vízgőz alakban menjen át a membrán pórusain. Ahhoz, hogy megfelelő gőznyomáskülönbséget biztosítsak ozmotikus desztilláció esetén, a membrán két oldalán különböző töménységű oldatokat kell alkalmaznom. Mivel a célom a kajsziabarack sűrítmény végsűritése, így az egyik oldalon az elő-sűrítményt helyeztem, amit fordított ozmózissal vagy nanoszűréssel állítottam elő, a másik oldalra pedig egy CaCl₂ oldatot készítettem. A CaCl₂ oldhatósága nagyon jó (www.dynalene.com/pdf/CalciumChloridHandbook.pdf) így nagy töménységben előállítható híg vizes oldatban, mivel csak 70 °Brix fölött telítődik. Méréseim során minden esetben 65°Brix töménységű oldatot használtam. A kajsziabarack elő-sűrítményt a membrán belső csövecskéibe, a CaCl₂ oldatot pedig a membrán köpenyterében áramoltattam, két perisztaltikus szivattyú segítségével. Az átdiffundáló oldószer mennyiséget, számítógéppel összekapcsolt mérlegen külön programban rögzítettem. A kajsziabarack oldalon 1 liter kiindulási mennyiséget, a CaCl₂ oldalon 4 liter oldatot keringtettem. A négyszeres oldatmennyiséget azért alkalmaztam, hogy a folyamat során a hajtóerő megfelelő mértékben biztosítva legyen, mivel így kis mértékben hígul az ozmotikus oldat.

A visszahígult ozmotikus oldatot szárítószekrényben töményítettem vissza. A membránművelet nem alkalmas ennek az oldatnak a visszatöményítésére, mivel nagyon nagy az ozmózisnyomása (~130 bar). Ez a probléma jelentősen megnöveli az ozmotikus desztilláció üzemeltetési költségeit, így nem javasolt az alap lé töményítése direkt módon ezzel a módszerrel. A többlépcsős technika csökkenti a költségeket. A folyamat előnye viszont, hogy szobahőmérsékleten végbevihető, nincs szükség se hűtésre se fűtésre egyik oldalon sem. Méréseimet a téli időszakban végeztem, így az adott hőmérséklet ~20°C volt. Három térfogatáram mellett dolgoztam 20, 30, 40 L/h.

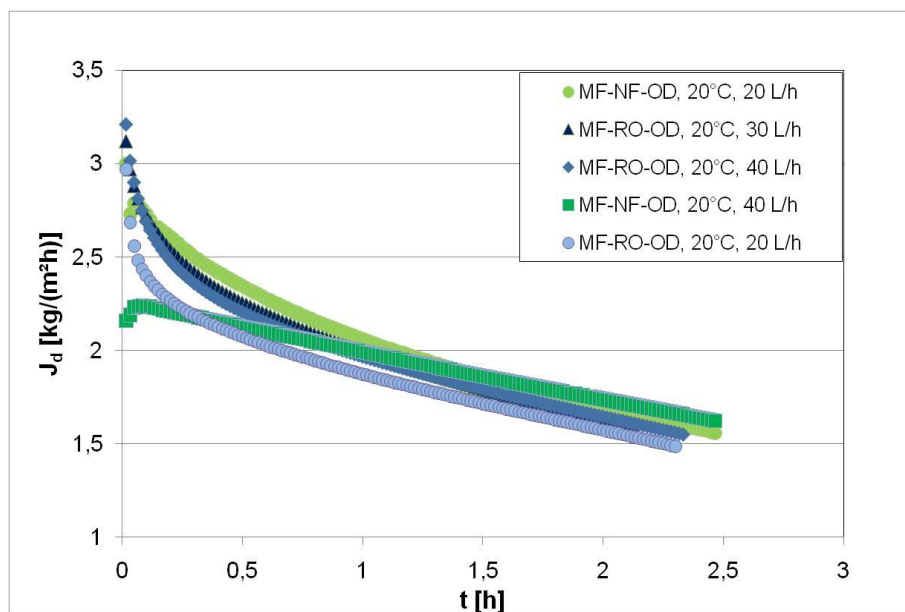
MF-RO elő-sűrítmények fluxus értékeinek és koncentrálhatóságának hatékonyságát szemlélteti az 60. ábra. Mindhárom térfogatáramon elvégezve a kísérleteket látható, hogy a fluxus értékek együtt haladnak, nincs számottevő hatása a térfogatáramnak. A besűrítés során közel 60°Brix szárazanyag tartalmat értem el, mintegy 2,5 óra alatt. A fluxus értékek kezdetben, nagyobb mértékben, később kisebb mértékben csökkennek. A mérések során nem állt be az állandósult állapot.



60. ábra: MF-RO elő-sűrítmény továbbtöményítése ozmotikus desztillációval

Ugyanezt tapasztaltam, az MF-NF elvégzett kísérletek esetén, annyi különbséggel, hogy ott nem sikerült 60°Brixet elérnem 1 liter kiindulás mennyiség mellett, mivel alacsonyabb szárazanyag tartalomról indultam.

Összehasonlítva az MF-RO és MF-NF elő-sűrítmények ozmotikus desztillációval való besűrítésének kísérleteit (61. ábra), jól látható, hogy a fluxus értékek hasonlóak, függetlenek a kiindulási szárazanyag tartalomtól és térfogatáramtól.



61. ábra: MF-RO és MF-NF elősűrítmény továbbtöményítése ozmotikus desztillációval

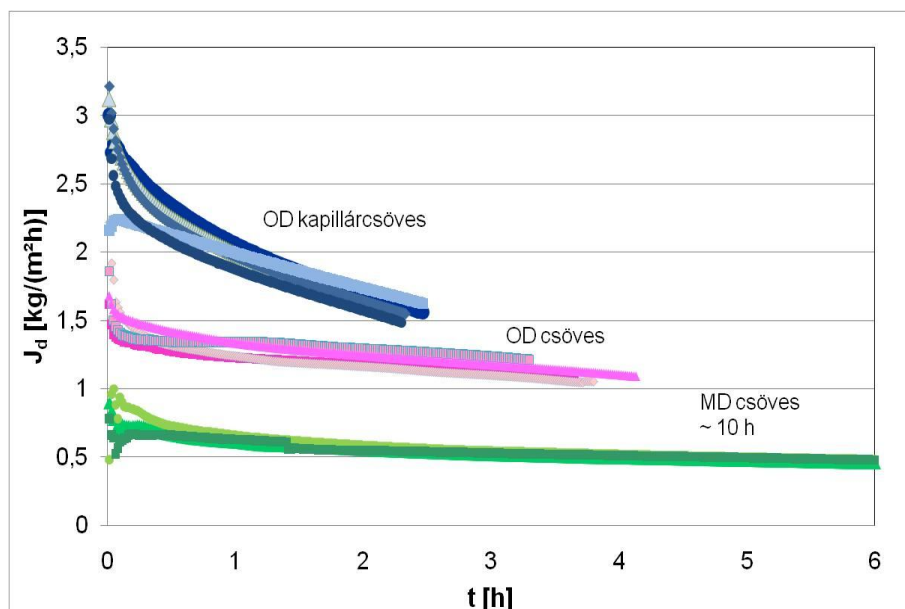
5.5.2. Kajsziabarack lé végső töményítése membrán desztillációval

Membrán desztilláció (MD) esetén ugyanúgy a folyamat hajtóereje a gőznyomáskülönbség, mint ozmotikus desztillációnál. A gőznyomáskülönbség biztosítását nem ozmotikus oldat segítségével, hanem hőmérsékletkülönbség segítségével valósítom meg. A kajsziabarack elősűrítményt melegítem (meleg oldal, maximum 40°C, áramlás a membrán csöveiben), a membrán (MD020FP2N típus, 0,1 m² szűrőfelületű) köpenyterében hűtött vizet keringtetek. A hűtés mértékét a hűtő termosztát teljesítménye és kapacitása szabja meg. A laboratóriumi kísérleteimnél a legkisebb érték 9°C volt. Problémát jelentett, hogy mivel kicsi volt a membrán köpenytere és a hűtőagregát, így a 9°C-os minimum értéket nem tudtam tartani, a mérés során folyamatosan emelkedett. Ahhoz, hogy végig tudjam biztosítani az állandó hőmérsékletkülönbséget, a meleg oldalon is alacsonyabb hőmérsékletről kellett induljak. Ahol beállt a meleg és a hideg oldal, a 32°C és 17°C volt, így az alkalmazott hőmérsékletkülönbség 15°C volt a membrán desztillációs méréseknél.

A mérések során sokkal kisebb fluxusértékeket kaptam, viszont a töményítés hatékonysága ugyanolyan volt, mint az ozmotikus desztillációs méréseknél. A membrán desztillációnak az alacsony fluxusértékek mellett hátránya még a hűtési költség, ami félüzemi illetve üzemi méretben nagyon jelentős.

5.5.3. Kajsziabaracklé végső töményítésének összehasonlítása membrán desztilláció és ozmotikus desztilláció esetén

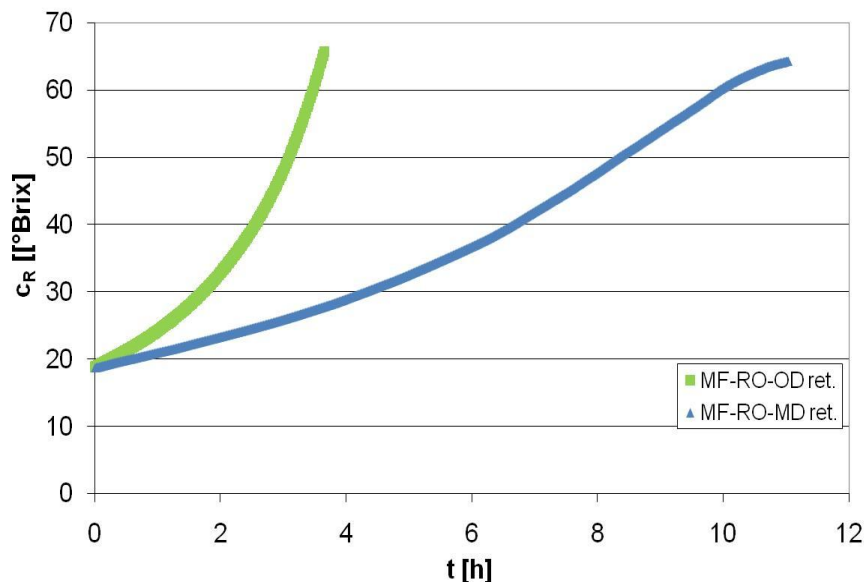
Összehasonlítva az ozmotikus desztillációs és membrán desztillációs kísérleteket, az adott laboratóriumi körülmények között az ozmotikus desztilláció hatékonyabbnak bizonyult (62. ábra). A kapillárcsöves modullal végzett kísérletek mutattak a legnagyobb fluxusértéket, így a legrövidebb idő alatt (2,5 h) sikerült elérni a közel 60°Brix szárazanyag-tartalmat, a csöves modul esetén 4 óra volt a töményítés ideje, míg membrán desztilláció esetén közel 10 órába került a 60°Brix-es szárazanyag-tartalom elérése. Az ozmotikus desztilláció és membrán desztilláció összehasonlítását kizárólag az adott körülmények között mutatom. Ha részletesebben kívánom összehasonlítani, akkor mindenképp a gőznyomáskülönbségeket kell figyelembe vennem, amelyek megfelelő hőmérsékletek mérésével számíthatók. Jelen munkám keretében ezzel nem foglalkoztam, illetve a laboratóriumi berendezés nem volt kiépítve ezen a módszer alkalmazására.



62. ábra: Membrán desztillációs és ozmotikus desztillációs kísérletek összehasonlítása

Összességében kísérleteim alapján az ozmotikus desztillációt javaslom továbbfejlesztésre a félüzemi mérésekhez. A folyamatban a hőmérséklet szabályozása nem szükséges, éppen a feldolgozás során adott hőmérsékleten célszerű végezni a besűrítést, ügyelve arra, hogy a hőmérséklet 40°C fölé ne emelkedjen a beltartalmi értékek megőrzése szempontjából. A recirkulációs térfogatáram tekintetében is javasolható alacsonyabb érték, ezzel kímélhetjük a szivattyút és csökkenteni lehet az üzemeltetési költségeket. Az ozmotikus desztilláció a membrán desztillációhoz képest gyorsabb és olcsóbb művelet. A membrándesztilláció lassabb, energiaköltségesebb a melegítés és hűtés miatt.

Mindenképp fontosnak tartom bemutatni, hogy mindkét művelettel (OD, MD) 68°Brix szárazanyag-tartalmat is sikerült elérni (63. ábra) ugyanolyan kiindulási mennyiségek mellett (fél sűrítmény 1 liter, CaCl_2 oldat 4 liter), úgy hogy fél sűrítmény kiindulási szárazanyag-tartalma 25°Brix volt és a CaCl_2 oldat pedig 70°Brix.

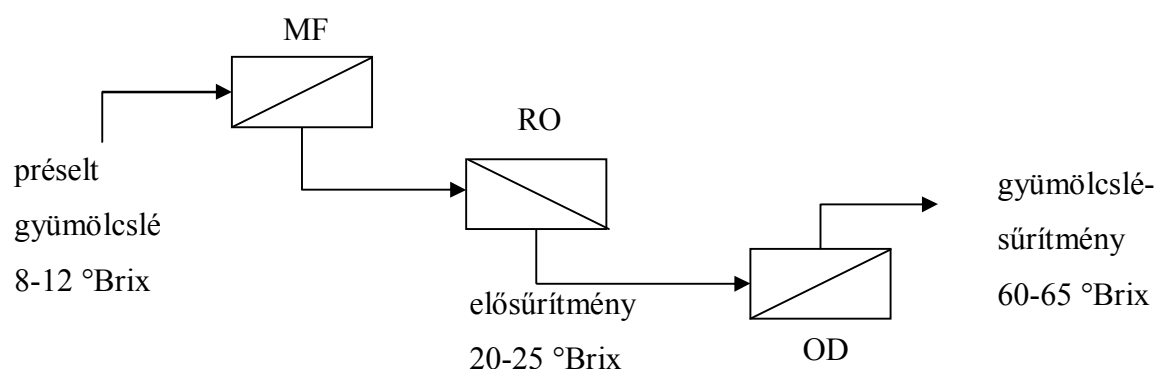


63. ábra: Legmagasabb szárazanyag-tartalom ozmotikus desztillációs és membrán desztilláció esetén az idő függvényében

Célom a műveleti paraméterek meghatározása volt, kajsziparacklé feldolgozása tekintetében vizsgálni a műveletek hatékonyságát és a legnagyobb szárazanyag-tartalmat elérni.

5.6. Laboratóriumi kísérletek összefoglalása

Az elvégzett tükrösítési elősűrítési és végsűrítési kísérletek alapján elmondható, hogy a tükrösítési kísérleteknél a mikroszűrés bizonyult a leghatékonyabbnak, előtöményítéshez a fordított ozmózist, végtöményítéshez az ozmotikus desztillációt javaslom (64. ábra). Az általam mért és kiválasztott műveleti paraméterek a 12. táblázatban találhatók. A méretnövelés elvégzése után a továbbiakban a félüzemi kísérletek eredményeit mutatom be.



64. ábra: A laboratóriumi kísérletek alapján javasolt kapcsolás a félüzemi méretezéshez

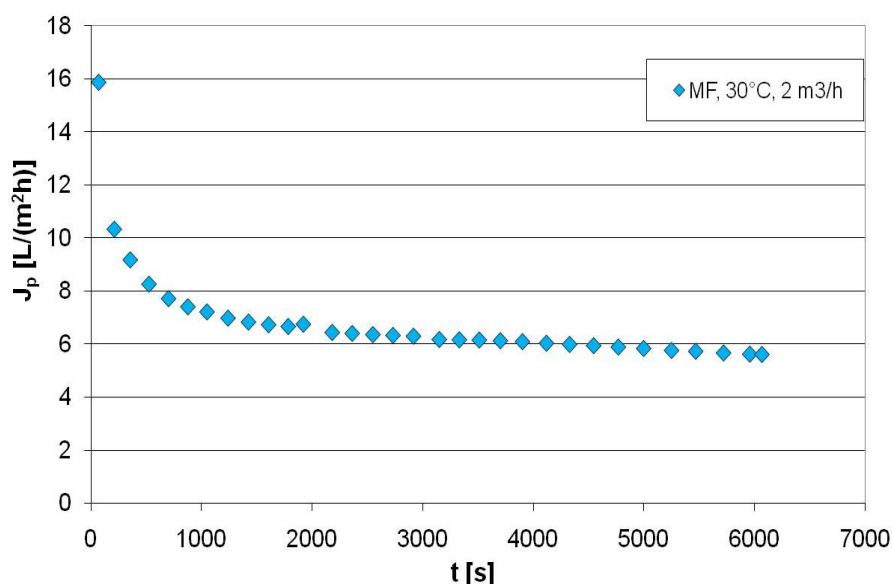
12. táblázat: A laboratóriumi kísérletek alapján javasolt műveleti paraméterek

	Δp_{TM} (bar)	Q_R (L/h)	Re	T (°C)
MF	4	500	3032	35
RO	50	600	2400 – 3000	35
OD	-	20	3 – 46	20

5.7. Félüzemi berendezések üzemi próbája

Félüzemi mikroszűrővel végzett kísérlet

A félüzemi mikroszűrési kísérletek során 1 m^2 -es csöves membránmodult alkalmaztam (kb. 25 liter alaplé). A fluxusértékek az idő előrehaladtával csökkentek és $6\text{ L}/(\text{m}^2\text{h})$ állandó értékre álltak be (65. ábra). A szűrést 30°C -on 4 bar transzmembrán nyomáskülönbség mellett $2\text{ m}^3/\text{h}$ recirkulációs térfogatáramot alkalmazva végeztem. A paraméterek kicsit alacsonyabbak a laboratóriumban meghatározott műveleti paraméterekhez képest, de a tanszéken rendelkezésemre álló félüzemi berendezés így működött hatékonyan. A kiindulási kajsziparack szárazanyagtartalma 12°Brix volt. $10\text{--}11^\circ\text{Brix}$ -es szárazanyag tartalmú permeátumot nyertem. Összehasonlítva a 30°C , 300 L/h (figyelembe véve a hasonló áramlási sebességet) laboratóriumi kísérletekkel félüzemben hasonló fluxusértékeket kaptam (39. ábra).

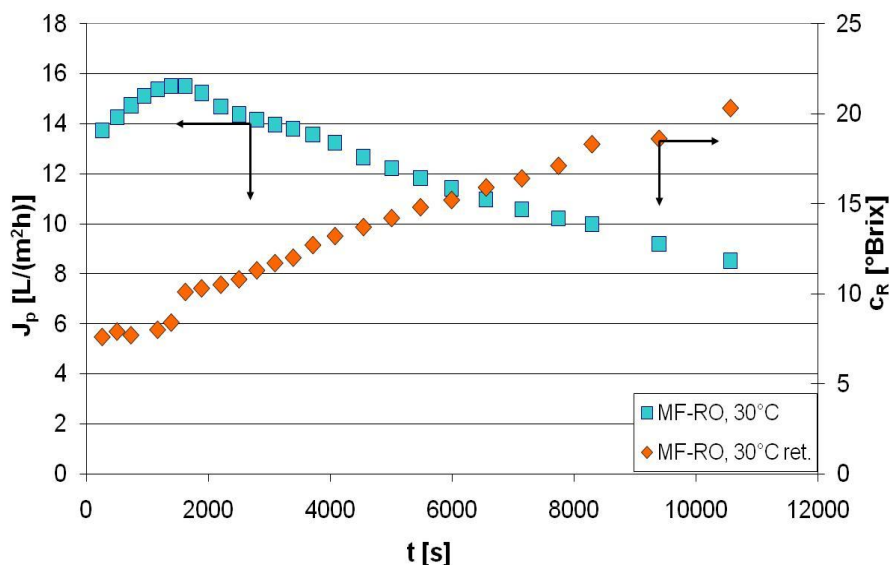


65. ábra: Félüzemi mikroszűrővel végzett kísérlet

Előtöményítés félüzemi fordított ozmózis berendezéssel

Fordított ozmózis berendezésnél egy spiráltekercs modult alkalmaztam $0,5\text{ m}^2$ -es membránfelülettel (20 liter tükrosított lé). Az előtöményítést 30°C -on 40 bar transzmembrán nyomáskülönbség és 600 L/h recirkulációs térfogatáram mellett végeztem (szintén a berendezés szabott határt a műveleti paramétereknek). A fluxusértékek $16\text{ L}/(\text{m}^2\text{h})$ -ról indultak, ez a mérés végére $8\text{ L}/(\text{m}^2\text{h})$ -ra csökkent. Félüzemi méretben is sikerült a 20°Brix fölé töményíteni a baracklevet (66. ábra). A fluxusértékek alacsonyabb értékről indultak a laboratóriumi méréshez

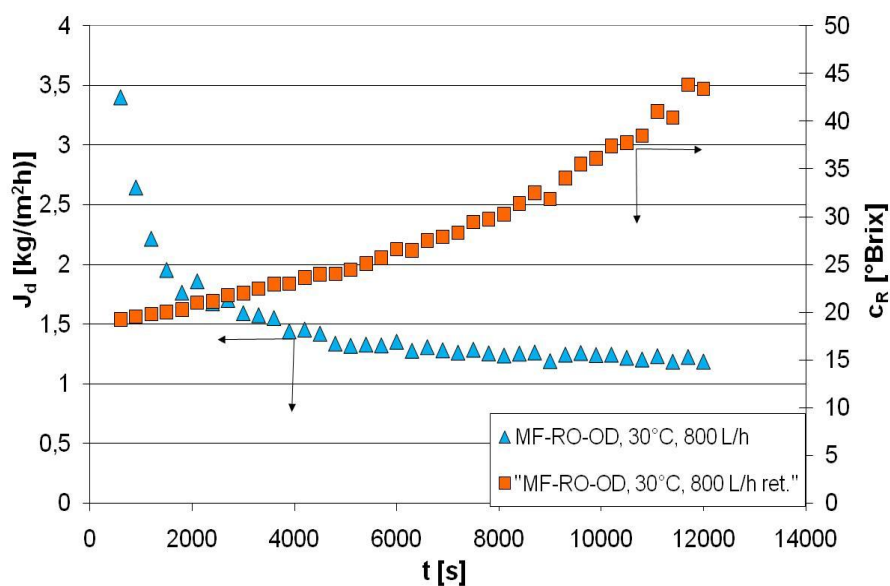
képest, de lassabban is csökkentek, így a végső fluxusérték magasabb volt, mint a laboratóriumi berendezésen (49.ábra).



66. ábra: Félüzemi fordított ozmózissal végzett kísérlet

Végtöményítés ozmotikus desztillációs berendezésen

Végül az elősűrített gyümölcslevet ozmotikus desztillációval töményítettem tovább (kb. 7 liter). A kísérleteket egy kapillárcsöves membránnal végeztem, melynek felülete $0,75 \text{ m}^2$. A kiindulási fluxusértékek (67. ábra) a laboratóriumi kapillárcsöves modulhoz hasonló értékeket mutattak, viszont az állandósult fluxusérték a félüzemi mérésnél a laboratóriumi csöves modullal mért értékre, $1,2 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$ -ra állt be (61.ábra). A töményítésnél problémát jelentett, hogy a só oldalon lévő tartály túl kicsi volt, így kevesebb CaCl_2 oldatot lehetett elkészíteni, emiatt csak 43°Brix -re sikerült a levét betöményíteni.



67. ábra: Félüzemi ozmotikus desztillációval végzett kísérlet

Kb. 7 liter kiindulási lével szemben 28 liter CaCl_2 oldatra volt szükségem (ez a mennyiség még az átdiffundált vízzel növekedett), és a tartály 25 literes volt. Ide mindenképp egy 100 literes tartály beállítását javasoltam, melynek megépítése folyamatban van. A nagy súly miatt nem a CaCl_2 oldalon mértem mérleggel a növekményt, hanem a csökkenést mértem a sűrítmény oldalon, és abból számítottam a fluxusértékeket.

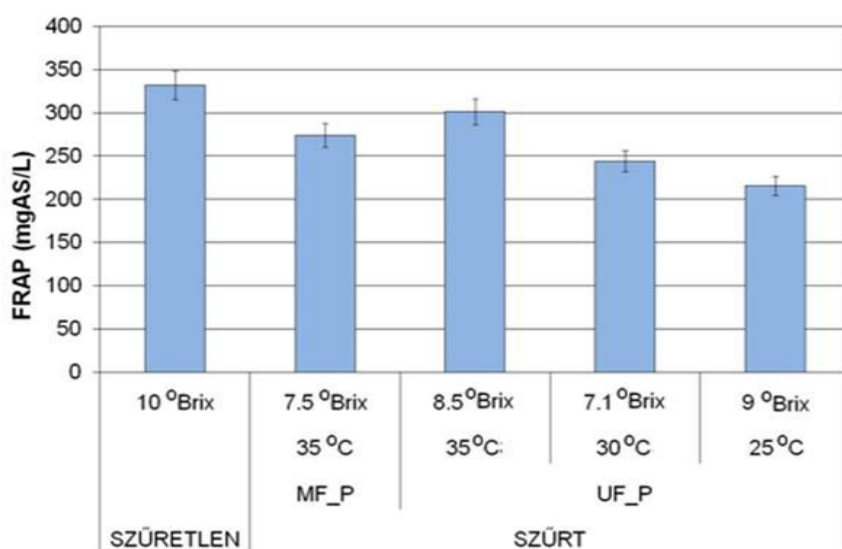
A félüzemi kísérletek alapján elmondható, hogy alacsonyabb paraméterek mellett közel azonos értékeket értem el a laborkísérletekhez képest, a félüzemi berendezéseket mindenképp fejleszteni kell, hogy a laboratóriumi mérések alapján meghatározott műveleti paramétereket alkalmazva hatékonyabb legyen a termelés.

5.8. Analitikai eredmények

Az analitikai mérésekben az Alkalmazott Kémia Tanszék és a Norvégiai Egyetem nyújtott széleskörű segítséget.

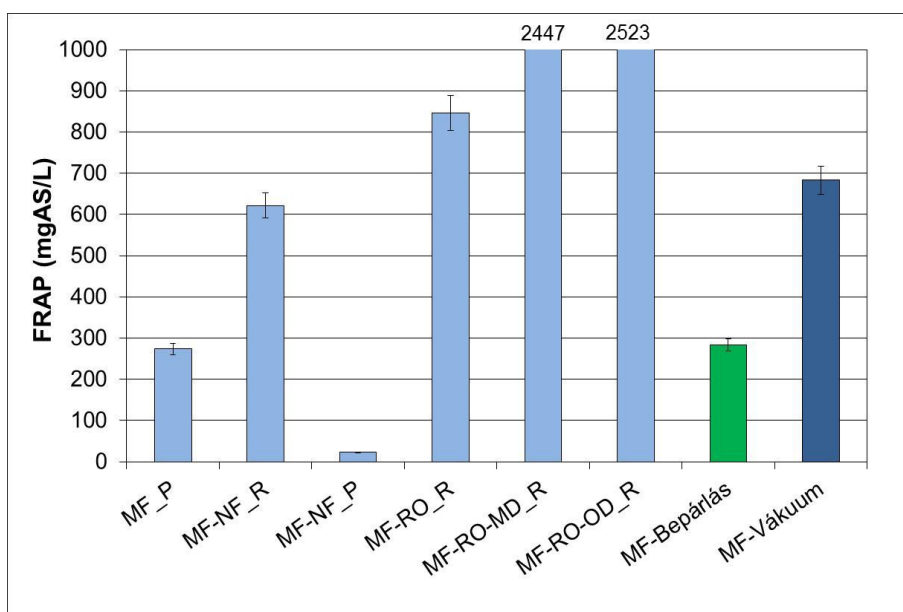
Összes antioxidáns-kapacitás meghatározása

Az összes-antioxidáns kapacitás mg aszkorbinsav/literben (mgAS/L) kifejezett értékei láthatók a 68. ábrán. A kísérletek során vizsgáltam a kiindulási kajsziparacklé antioxidáns-kapacitását, és az ultraszűréssel és mikroszűréssel történő tükrösített levek (permeátumok) antioxidáns-kapacitását különböző hőmérsékleteken. A tükrösítési eljárás esetén azt tapasztaltam, hogy az antioxidást a mikroszűrő membrán kisebb mértékben tartotta vissza, mint ultraszűrés esetén. Figyelembe véve a műveleti paraméterek hatását is analitikai szempontból is a mikroszűrést javaslom a kajsziparacklé tükrösítésére.



68. ábra: A szűretlen és szűrt kajsziparacklé összantioxidáns-kapacitásának összehasonlítása

Vizsgálatokat végeztem hagyományos technológiával történő besűrítésre is. A 69. ábra mutatja, hogy bepárlást (~100 °C), és vákuumbepárlást (~80 °C) alkalmazva az összantioxidáns-kapacitás sokkal kisebb mértékben növekszik a túkrősített (280 mg AS/L) értékhez képest, míg fordított ozmózissal történő besűrítés esetén ugyanolyan szárazanyag-tartalom mellett (25°Brix) az összantioxidáns értékei többszörösére növekednek. Elmondható, hogy a fordított ozmózissal történő besűrítés következtében az antioxidáns-tartalom teljes mértékben megmarad a sűrítményben, és a permeátumban sem jelenik meg. Nanoszűrés esetén az antioxidáns kapacitás a permeátum oldalon is mérhető volt, így a visszatartás kisebb mértékű volt a fordított ozmózishoz képest. Elvégezve a méréseket membrándeztilláció és ozmotikus desztilláció esetére szép növekedést mutat a FRAP-tartalom, tehát a végsűrítmény (60°Brix) is gazdag antioxidánsok tekintetében.

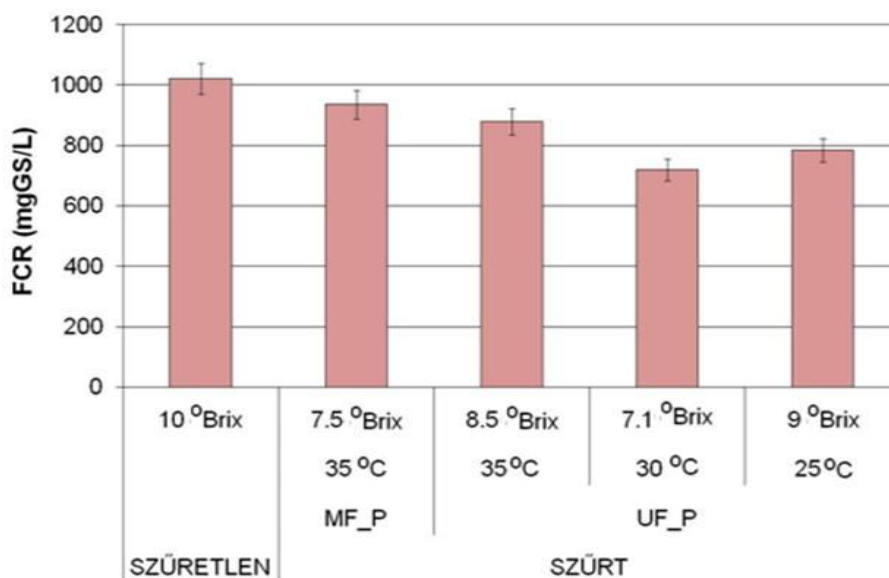


69. ábra: Előszűrés és töményítés során vizsgált kajsziparacklé összantioxidáns-kapacitásainak összehasonlítása

Összes polifenol-tartalom meghatározása

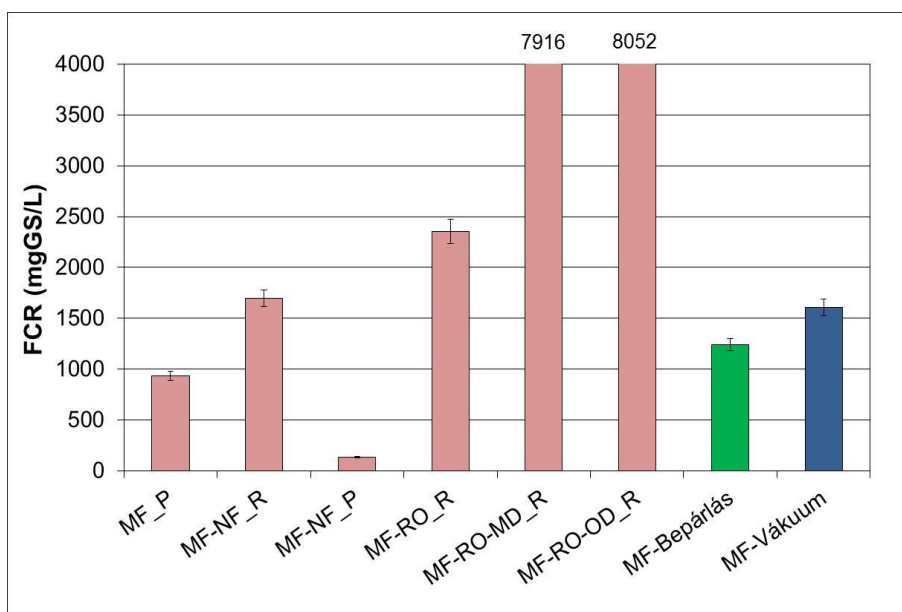
A polifenol-tartalom (FCR) meghatározásánál is vizsgáltam a kiindulási és a túkrősített kajsziparacklevet. A méréseket mg gallussav/liter (mgGS/L) dimenzióban adtam meg.

A 70. ábrán bemutatott mérési eredmények alapján elmondható, hogy a kiindulási léhez képest a polifenol tartalom kis mértékben csökkent MF 35°C és UF 25°C esetén. Ugyanazt a tendenciát mutatja, mint az összes antioxidáns vizsgálata esetén.



70. ábra: A szűretlen és szűrt kajsziaracklé összes polifenol-tartalmának összehasonlítása

Összehasonlító vizsgálatot végeztem, mint az összes antioxidáns-kapacitás esetén hagyományos technológiákkal. Azt tapasztaltam (71. ábra), hogy bepárlás és vákuumbepárlás esetén a polifenol-tartalom kis mértékben növekedett, míg membránszűrés esetén fordított ozmózissal való töményítés hatására a nyomás növelésével ugyanolyan koncentráció (25°Brix) mellett az értékek még magasabbak lettek.

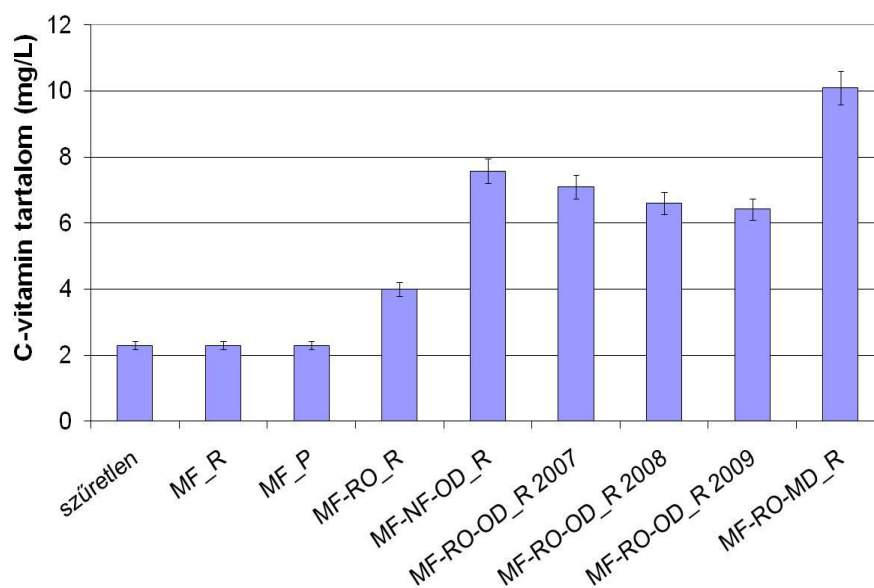


71. ábra: Előszűrés és töményítés során vizsgált kajsziaracklé összes polifenol-tartalmának összehasonlítása

Nanoszűrés esetén a sűrítményt és permeátumot vizsgálva látható, hogy a nanoszűrő membrán átengedte a polifenolokat is. Ebben az esetben is elvégeztem a szükséges méréseket a végtöményítésre is (MD, OD), és a végsűrítményben feldúsultak a polifenolok.

C- vitamin tartalom meghatározása

A C-vitamin a legérzékenyebb vitaminok egyike, ugyanakkor nagyon fontos szerepe van az immunrendszer jó működésében, így mindenképp fontosnak tartottam a vizsgálatát, abban az esetben is, hogy a kajszibaracklé csak kis mértékben tartalmazott C vitamint. Az alaplé C- vitamin tartalma 2,3 mg/L volt mikroszűrés esetén a membrán visszatartása nulla (72. ábra), tehát a tükrösített lé is ugyanannyit tartalmazott, mint a kiindulási lé. Fordított ozmózis esetén a töményítés következtében látható, hogy a sűrítmény megtartotta az értékes anyagot, és végtöményítés esetén membrándeosztilláció és ozmotikus desztillációs esetén is szépen lászik a C-vitamin tartalom növekedés, tehát a sűrítményben valóban koncentráltódott a C-vitamin. Másik érdekesség, hogy 2007-ben, 2008-ban és 2009-ben készült mintákat is összehasonlítva látható, hogy a sűrítmény fagyasztva tárolása során a sűrítmény megőrizte C- vitamin tartalmát. Mivel a kiindulási kajszibaracklének minden esetben változik a C-vitamin összetétele, így a fő hangsúly a megőrzésben van, nem pedig az értékek számszerű összehasonlításában. Ezzel magyarázható, hogy az MD-val és OD-val végzett kísérletek C- vitamin tartalmának változása 7,5 és 10 mg/L között változik.

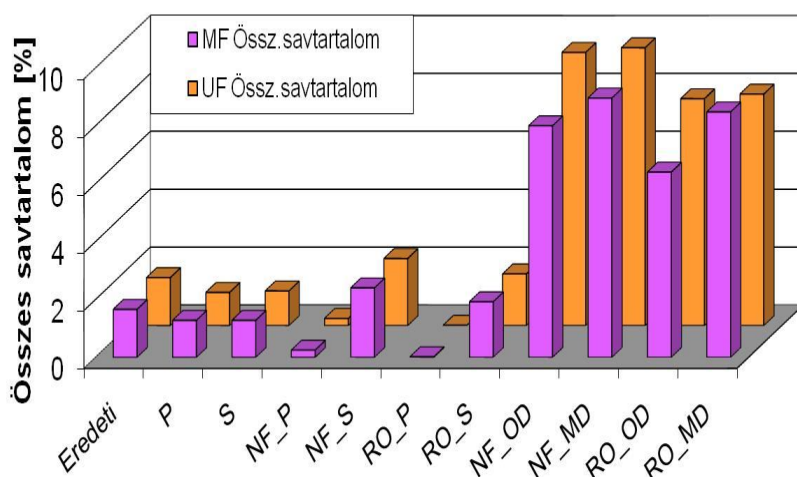


72. ábra: C- vitamin tartalom alakulása membránszűréssel történő töményítés esetén

Összes sav meghatározása

Az egyes minták citromsavban megadott savtartalom (m/m%) értékei a 73. ábráról olvashatók le. Megállapítható, hogy az ultraszűrés és a mikroszűrés is csekély savvisszatartást eredményezett, a savtartalom mennyisége csökkent a permeátumban. Mindkét előszűrt minta fordított ozmózissal történő besűrítésénél szinte nullára redukálódott a szűrletek savtartalma, míg a nanoszűrésnél ez

kisebb mértékben valósult meg, ami a nagyobb pórusmérettel magyarázható. Membrán desztillációs és ozmotikus desztillációs méréseknél a savtartalom szépen növekedett, tehát a membránok visszatartása jelentős a savtartalom tekintetében is. A magas savtartalom viszont rontja a gyümölcslevek élvezeti értékét ezért mindenképp szerepet kap a savtalanítás is, amire már több módszer is ismert (TAKATSUJI et al. 1999, CALLE et al. 2002, VERA et al. 2003.).



73. ábra: Összes savtartalom alakulása membránszűréssel történő besűrítés esetén

Analitikai eredmények összefoglalása

Az elvégzett analitikai vizsgálatok alapján elmondható, hogy tükrösítés céljára elsősorban az MF ajánlható, mivel a szűrletben lévő értékes anyagok nagyobb mértékben vannak jelen, mint UF esetén. Az előtöményítési lépcsőben analitikai szempontból a fordított ozmózis javasolt, mivel a nanoszűrés esetén a permeátumban is jelen van az értékes komponens. Membrán desztilláció és ozmotikus desztilláció esetén mindkét művelet során szépen megmaradt és koncentrált a vizsgált összetevő, itt az ozmotikus desztillációt a gyorsabb töményítés és a gazdaságosabb üzemeltetés indokolja. Így többlépcsős technika kialakításakor a műveleti paraméterek alapján javasolt kapcsolás beltartalmi értékek megőrzése szempontjából megfelelő (12. táblázat).

6. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK MODELLEZÉSE

6.1. Mikro- és ultraszűrés modellezése

Ellenállásmodell alkalmazása mikro- és ultraszűrés esetén

A matematikai modellezéshez az ellenállásmodellt használtam fel, melynek segítségével meghatározható a membrán ellenállása, illetve a szűrési folyamat során kialakuló rétegek ellenállása.

A számításokhoz a következő egyenlet alkalmazható:

$$J' = \frac{\Delta p'_{TM}}{\eta \cdot (R_G + R_F + R_M)} \quad (8)$$

Az összes ellenállás (R_T) három ellenállás – a membránellenállás (R_M), az eltömődésből származó ellenállás (R_F) és a gélréteg ellenállásának (R_G) – összegéből adódik. ($R_T = R_M + R_F + R_G$) Az ellenállásokat mikroszűrés és ultraszűrés esetén a 67. ábra mutatja.

A membrán ellenállása az alkalmazott membrán jellemzője, így nem függ a folyamat paramétereitől.

Meghatározásához arra van szükség, hogy a szűrési folyamat tiszta vízzel és tiszta membránnal történjen, ebben az esetben ugyanis a tiszta membrán alkalmazása miatt nem kell számolnunk eltömődéssel, és nem alakul ki a membránok felületén gélréteg sem, így a mért fluxusokból ($J'_{v\acute{z}}$) és az alkalmazott transzmembrán nyomáskülönbségből ($\Delta p'_{TM}$) kiszámítható.

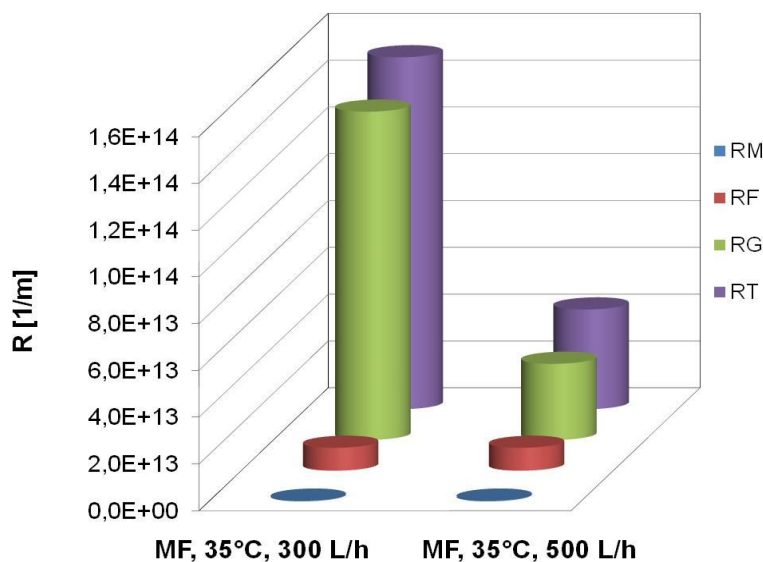
$$R_M = \frac{\Delta p'_{TM}}{\eta \cdot J'_{v\acute{z}}} \quad (9)$$

Az eltömődésből származó ellenállás meghatározása szintén tiszta víz szűrésével történik, azonban itt a szűrést a kajsziabaracklé besűrítése után a még nem megtisztított membránnal kell végezni. Az így kapott fluxus értékekből és a korábban kiszámított membránellenállás (R_M) értékből számítható:

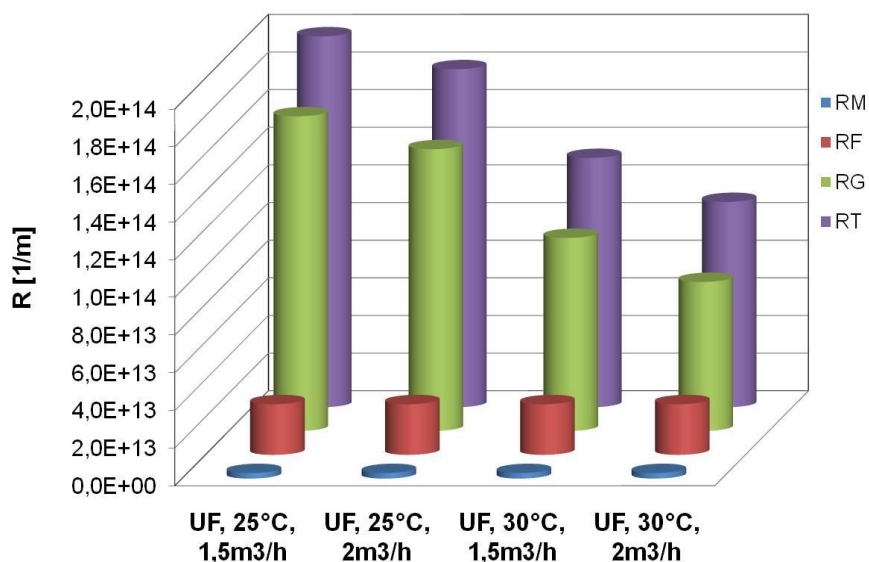
$$R_F = \frac{\Delta p'_{TM}}{J'} - R_M \quad (10)$$

A gélréteg ellenállását a kajsziélé szűrése során mért fluxus értékekből számíthatjuk, a korábban kiszámított R_M és R_F értékeket behelyettesítve.

$$R_G = \frac{\Delta p'_{TM}}{J'} - R_M - R_F \quad (12)$$



a) A mikroszűrés ellenállásai



b) Az ultraszűrés ellenállásai

74. ábra: A mikroszűrés és ultraszűrés ellenállásai különböző hőmérsékletek és térfogatáramok esetében

A 74. a) és b) diagramokról látható, hogy mind a mikro- mind az ultraszűrési folyamatban a gélréteg réteg ellenállása volt a meghatározó, amely mindkét folyamat esetében a térfogatáram növelésével csökkent. Az ultraszűrés esetében a hőmérséklet növelése esetén is csökkent a gélréteg ellenállása.

6.1.1. A mikro- és ultraszűrés szimulációja

A mikroszűrés és ultraszűrés esetén dinamikus modell segítségével az időállandókat (T_i) lehet meghatározni, ami a folyamatok időbeli lefutásában nyújt segítséget.

A dinamikus modell (46. egyenlet) legfontosabb jellemzője a T_i időállandó. Azt fejezi ki, hogy az állandósult szűrletfluxus (J_{ss}) mennyi idő alatt áll be. A kajsziparacklé szűrletfluxusainak modellezésére a következő dinamikus modellt alkalmaztam.

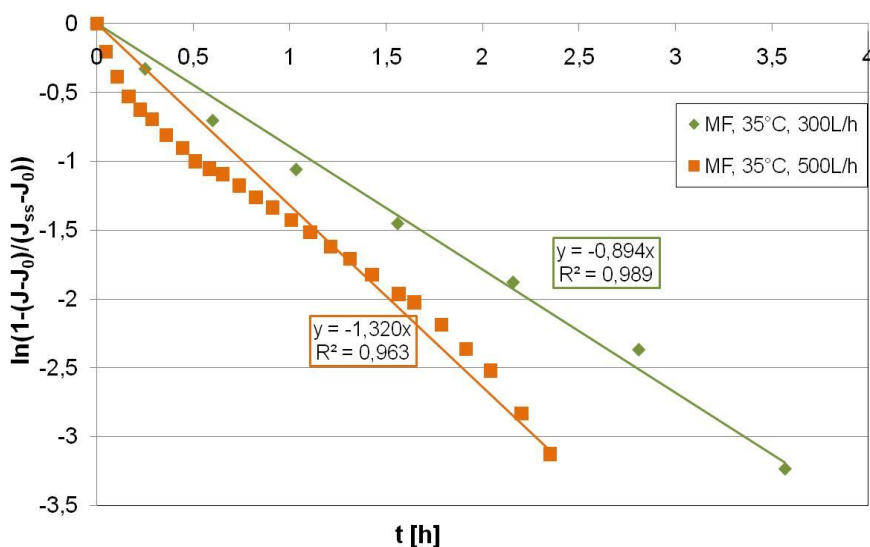
$$\frac{J - J_0}{J_{ss} - J_0} = 1 - e^{-\frac{t}{T_i}} \quad (46)$$

Az egyenletben szereplő változók, a laboratóriumi kísérletek során mért szűrletfluxusok idő függvényében történő ábrázolásakor a diagramokról leolvashatók (69. és 70. ábra). A mikroszűrés és ultraszűrés fluxus idő diagramjait 36,38. ábrák mutatják.

A 46. egyenletet átalakítva egy egyenes egyenletét kapjuk.

$$-\frac{t}{T_i} - \ln\left(1 - \frac{J - J_0}{J_{ss} - J_0}\right) = 0 \quad (47)$$

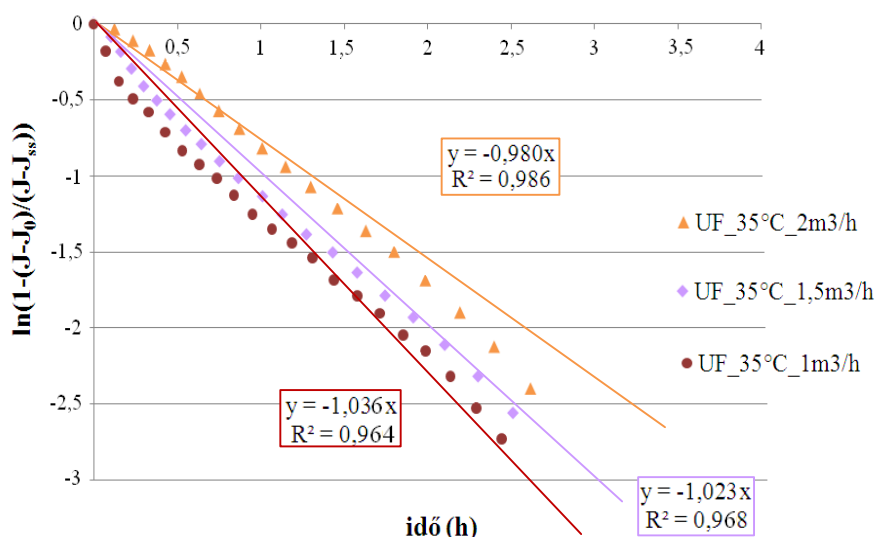
A mért fluxusértékeket a 47. egyenletnek megfelelően ábrázoltam.



75. ábra: A mikroszűrés időállandóinak meghatározása állandó hőmérsékleten

A 75. és 76. ábra alapján látható, hogy az alkalmazott dinamikus modell jól illeszkedik a mérési pontokra és a determinációs együttható (R^2) értéke szinte minden esetben eléri a 0,95 értékét. A mérések során a hőmérséklet és a térfogatáram hatása vizsgálható. A diagramokon látható, hogy nem minden esetben formáznak egyenest a pontsorok, aminek az oka, hogy a vizsgált elem csak közelítőleg elsőrendű arányos elem (BORUS 1989).

Az illesztett egyenesek meredekségéből kiszámíthatók az egyes paraméterekhez tartozó időállandók (T_i), melyek értékeit az 13. és 14. táblázat tartalmazza.



76. ábra: Az ultraszűrés időállandóinak meghatározása

A 13. és 14. táblázatban szereplő időállandók alapján elmondható, hogy az állandósult fluxus (J_{ss}) elérésének idejét mikroszűrés esetén a térfogatáram nagymértékben befolyásolja, így magasabb térfogatáram alkalmazása esetén kevesebb, mint egy óra alatt éri el az állandósult fluxusértéket, míg ultraszűrés esetén a térfogatáram változása nem okoz olyan nagy eltérést. Ultraszűrésnél megfigyelhető a hőmérséklet hatása, ami azt eredményezi, hogy magasabb hőmérséklet esetén az állandósult fluxusértéket hamarabb érjük el, ezzel maga a szűrési folyamat felgyorsítható.

13. táblázat: Mikroszűrés időállandói

T (°C)	Q_R (L/h)	T_i (h)
35	300 l/h	1,12
35	500 l/h	0,76

14. táblázat: Ultraszűrés időállandói

T (°C)	Q_R (m³/h)	T_i (h)
25	1,5	2,46
30	1,5	1,63
35	1,5	0,98
35	1	0,97
35	1,5	0,98
35	2	1,02

A dinamikus modell függ az alkalmazott műveleti paramétereiktől (hőmérséklet, térfogatáram). A laboratóriumi mérések alapján a T_i időállandó a következő összefüggéssel írható le:

$$T_i = B \cdot \text{Re}^c \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^d \quad (48)$$

A 48. egyenlet linearizálása után kaptam a következő összefüggést, melyből az állandók értékei meghatározhatók:

$$\ln T_i = \ln B + c \cdot \ln \text{Re} + d \cdot \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (49)$$

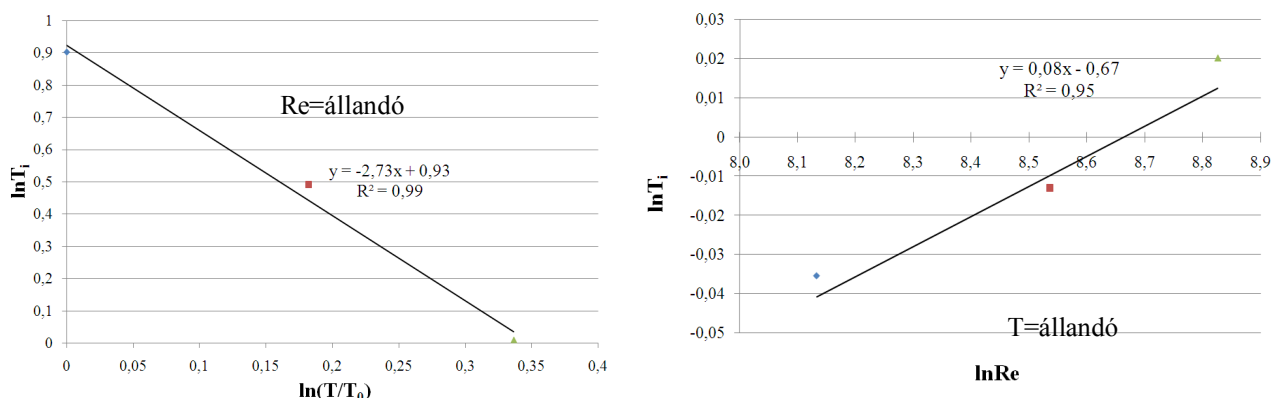
Így a kiszámított időállandókat a hőmérséklet, majd a térfogatáramból számított Reynolds-szám függvényében ábrázolva, a pontokra egyenest illesztve, az egyenes meredeksége illetve tengelymetszete adta meg c és d illetve B értékét.

A mikroszűrést egy hőmérséklet és két térfogatáram értéken végeztem, így erre a műveletre csak a térfogatáram hatását tudjuk vizsgálni. A mikroszűrésre kiszámított állandók értékei a 15. táblázatban találhatók.

15. táblázat: Mikroszűrés állandói állandó hőmérséklet esetén

T (°C)	T/T ₀	Q _R (L/h)	Re	T _i (h)	B
35	1,4	300	1819	1,12	173,97
35	1,4	500	3032	0,76	173,9

Ultraszűrésnél első lépésben a térfogatáramot vettem állandónak, így a különböző hőmérsékletek hatása vizsgálható (77. ábra). A különböző hőmérsékleteken kiszámított időállandók és a B paraméterek értékei a 16. táblázatban olvashatóak.



77. ábra: Ultraszűrés időállandói állandó térfogatáram és állandó hőmérséklet esetén

16. táblázat: Ultraszűrés állandói állandó térfogatáram esetén

Q _R (m ³ /h)	Re	T (°C)	T/T ₀	T _i (h)	B ₁
1,5	5107	25	1	2,46	4,823E-04
1,5	5107	30	1,2	1,63	5,265E-04
1,5	5107	35	1,4	0,98	4,799E-04

Második lépésben a hőmérsékletet vettem állandónak, így a térfogatáram hatása vizsgálható (77. ábra). A különböző térfogatáram-értékekhez tartozó időállandókat és B értékeket a 17. táblázat tartalmazza.

17. táblázat: Ultraszűrés állandói állandó hőmérséklet esetén

T (°C)	T/T ₀	Q _{rec} (m ³ /h)	Re	T _i (h)	B ₂
35	1,4	1	1819	0,97	0,369
35	1,4	1,5	5107	0,98	0,362
35	1,4	2	6810	1,02	0,369
				átlag:	0,367

A diagramokról leolvasható meredekségek és tengelymetszetek alapján a következő összefüggések írhatók fel a kajsziparacklé tükrösítésére alkalmazott mikro- és ultraszűrés folyamatok időállandóira:

mikroszűrés esetében:

$$T_i = \frac{173,93 \cdot T}{T_0} \cdot \text{Re}^{-0,762} \quad (50)$$

ultraszűrés esetében:

$$T_i = 0,367 \cdot \text{Re}^{0,077} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-2,732} \quad (51)$$

6.2. Fordított ozmózis modellezése

6.2.1. Ozmózisnyomás-modell

A fordított ozmózis eljárásra is alkalmazható az ellenállásmodell, azonban szükséges a membrán két oldala közti koncentrációkülönbség miatt kialakuló ozmotikus nyomáskülönbséggel kiegészíteni.

Így a szűrletfluxusra az alábbi összefüggés írható fel:

$$J' = \frac{\Delta p'_{TM} - \Delta \pi}{\eta \cdot (R_G + R_F + R_M)} \quad (13)$$

Az összes ellenállás (R_T), mint a mikro- és ultraszűrés esetében is, három ellenállás összegéből adódik ($R_T = R_M + R_F + R_G$). A membrán és az eltömődésből adódó ellenállások (R_M és R_F) a 9. és 10. egyenletek alapján számíthatók.

Az összes ellenállás meghatározásához szükség van arra, hogy ismerjük $\Delta \pi$ értékét.

$\Delta \pi$ kiszámításához a van't Hoff összefüggést használtam. Az összefüggés az ozmózisnyomás-különbséget a koncentrációkülönbségekkel írja le:

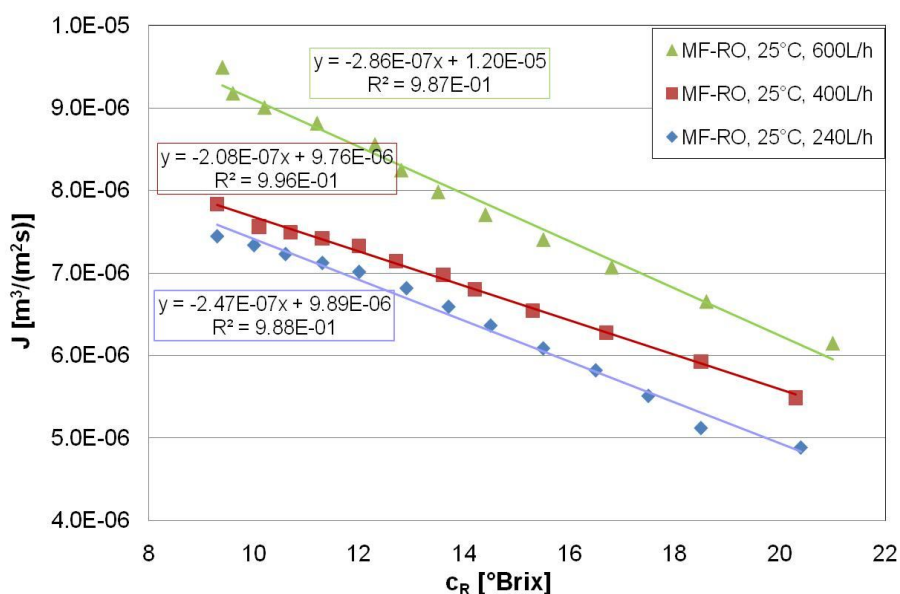
$$\Delta \pi = a(c_R - c_P) \quad (52)$$

A permeátum koncentrációja (c_P) a mérések során 0 °Brix vagy a retentátum koncentrációjához képest elhanyagolhatóan kicsi volt, ezért c_P -vel a továbbiakban nem számoltam.

Az így kapott összefüggést a 13. egyenletbe visszahelyettesítve és átalakítva a következő egyenlőséget kaptam:

$$J' = \frac{\Delta p'_{TM}}{\eta \cdot R_T} - \frac{a}{\eta \cdot R_T} \cdot c_R \quad (53)$$

A 25°C-on különböző recirkulációs térfogatáramokon mért fluxusokat a koncentráció függvényében a 78. ábra mutatja.



78. ábra: A fordított ozmózis ozmózisnyomásának meghatározása (kajszilé)

A pontokra illesztett egyenesek y tengelymetszeteiből $\Delta p'_{TM}$ és η értékeinek ismeretében számítható az eljárás során kialakuló gélréteg ellenállása (R_G), az egyenesek meredekségei pedig megadják az ozmózisnyomás koncentrációfüggésének mértékét (a).

Az ellenállások, valamint az ozmózisnyomás számított értékeit a 18. és 19. táblázatban foglaltam össze.

18. táblázat: Fordított ozmózis ellenállásai 25°C-on, különböző térfogatáramokon

Q_{rec} (L/(m²h))	R_M (m⁻¹) x10⁻¹⁴	R_F (m⁻¹) x10⁻¹⁴	R_G (m⁻¹) x10⁻¹⁴	R_T (m⁻¹) x10⁻¹⁴
240	0,703	0,398	1,465	2,566
400	0,703	0,398	1,500	2,600
600	0,703	0,398	1,014	2,115

A kiszámított értékek tükrében elmondható, hogy a kajszilé RO-val történő besűrítése során a membrán és a gélréteg ellenállása volt a meghatározó, mindhárom recirkulációs térfogatáram alkalmazásakor.

19. táblázat: Fordított ozmózis ozmózisnyomásának alakulása 25°C-on, különböző térfogatáramokon

Q_R (L/h)	$\Delta\pi_{kezdeti}$ (bar)
240	11,6
400	9,9
600	11,2

A membránszűrések során a membrán által visszatartott molekulák a membrán felületén felhalmozódnak, koncentrációjuk a szűrés folyamán folyamatosan nő. Ezt a felhalmozódást a koncentráció polarizációval (β) tudom leírni.

A van't Hoff-törvény (52. egyenlet) egy átalakított formájával az ozmózisnyomás-különbséget felírhatjuk a membrán felületén kialakult ozmózisnyomás és a permeátum oldalon kialakult ozmózisnyomás különbségeként. A membrán felületi koncentrációja és a retentátum koncentrációja közötti összefüggést az 52. egyenlet írja le, ezt behelyettesítve a van't Hoff-egyenletbe a következőt kaptam:

$$\Delta\pi = \beta \cdot (c_R - c_P)RT \quad (54)$$

Ezt behelyettesítve az ozmózisnyomás modellegyenletébe az 55. egyenlethez jutok:

$$J' = \frac{\Delta p'_{TM}}{\eta \cdot R_T} - \frac{\beta \cdot R \cdot T}{\eta \cdot R_T} \cdot c_R \quad (55)$$

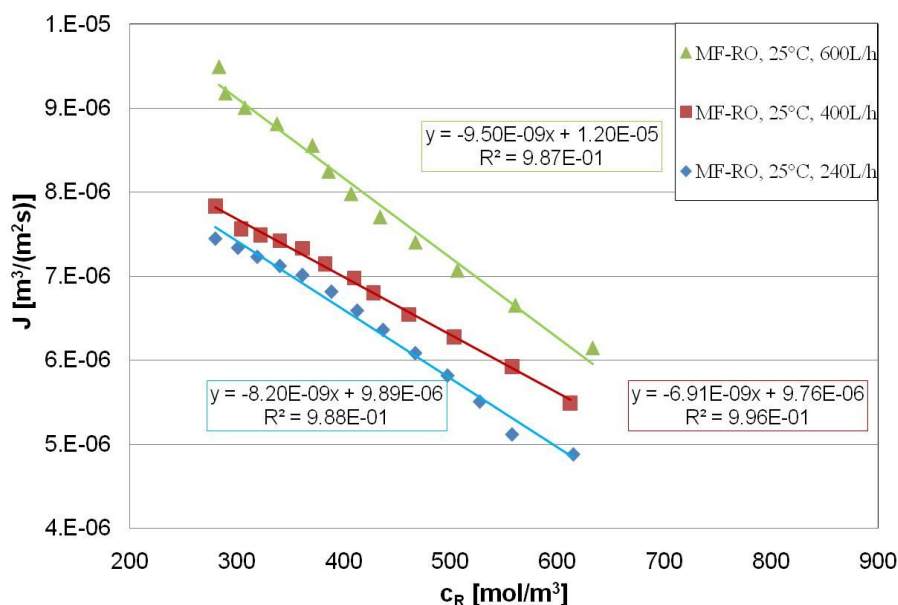
A számításhoz a kajszilé molkoncentrációjára lenne szükségem, de komplex összetétele miatt kiszámítása bonyolult lenne. Irodalmi adatok szerint a kajszilé szárazanyag-tartalmának fő összetevői a szénhidrátok (AIDER és DE HALLEUX 2008), ezen belül is a szacharóz, illetve más források szerint a glükóz (VERSARI et al. 2008), ezért a retentátum mért szárazanyag-tartalmát a szacharóz illetve a glükóz molekulatömege ($M_{\text{szacharóz}}=360,32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$, $M_{\text{glükóz}}=180,16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$) alapján számítottam át a szükséges molkoncentrációra, és így ábrázoltam a fluxus ismeretében (79. ábra).

Az 53. egyenlet alapján – analóg módon az 55. egyenlettel – ábrázoltam a mérési eredményeket (73. ábra), így meghatározhatók a koncentrációpolarizáció értékei, melyekből számítható az ozmózisnyomás. A kiszámított értékeket az 20. táblázatban foglaltam össze.

20. táblázat: Fordított ozmózis ozmózisnyomásának alakulása 25°C-on, különböző térfogatáramokon, a retentátum koncentrációját glükózra illetve szacharózra vonatkoztatva

Q_R (L/h)	$\Delta\pi_{\text{kezdeti}}$ (bar)	
	glükóz	szacharóz
240	23,2	11,6
400	19,8	9,9
600	22,4	11,2

A mérési adatok szerint a kajszilé ozmózisnyomása kb. 10 bar volt (43. ábra). Ezt összevetve a 20. táblázat adataival elmondható, hogy glükóz esetén ez az ozmózisnyomás kétszer akkora, amit a kísérleti eredmények nem igazolnak.



79. ábra: A fordított ozmózis ozmózisnyomásának meghatározása (szacharóz)

A 19. és a 20. táblázatban szereplő ozmózisnyomás-értékeket összehasonlítva elmondható, mivel a két módszerrel kiszámított ozmózisnyomás-értékek az azonos térfogatáramokon azonosak, hogy a kajsziparacklé szárazanyag-tartalmának fő alkotórésze a számítás alapján a szacharóz.

6.2.2. Anyagátadási modell

Az anyagátadás modellezése azért fontos, mert a modellből számítható az anyagátadási együttható (k), amelynek a művelet méretnövelésénél fontos szerepe van.

Az anyagátadási tényező kiszámítását két módon végeztem el: laboratóriumi kísérletek, valamint kritériális egyenletek alapján.

6.2.2.1. Anyagátadási tényező meghatározása kísérleti oldalról

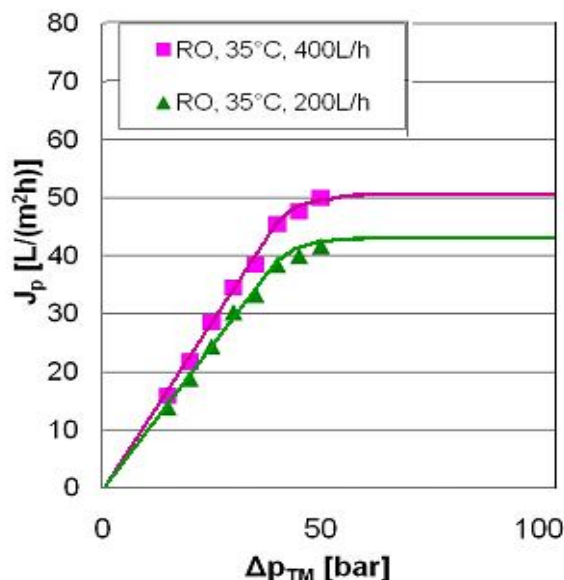
A számításokhoz kajsziparacklé fordított ozmózissal végzett besűrítésének, 35°C-on történő kísérleteinek adatait használtam fel.

Az irodalmi áttekintésben ismertett anyagátadási modell alapján a 25. egyenletet átalakítva és a permeátum koncentrációját elhanyagolva kapom az 56. egyenletet, melyből számítható az anyagátadási tényező (k).

$$J' = k \cdot \ln \frac{c_G}{c_B} \quad (56)$$

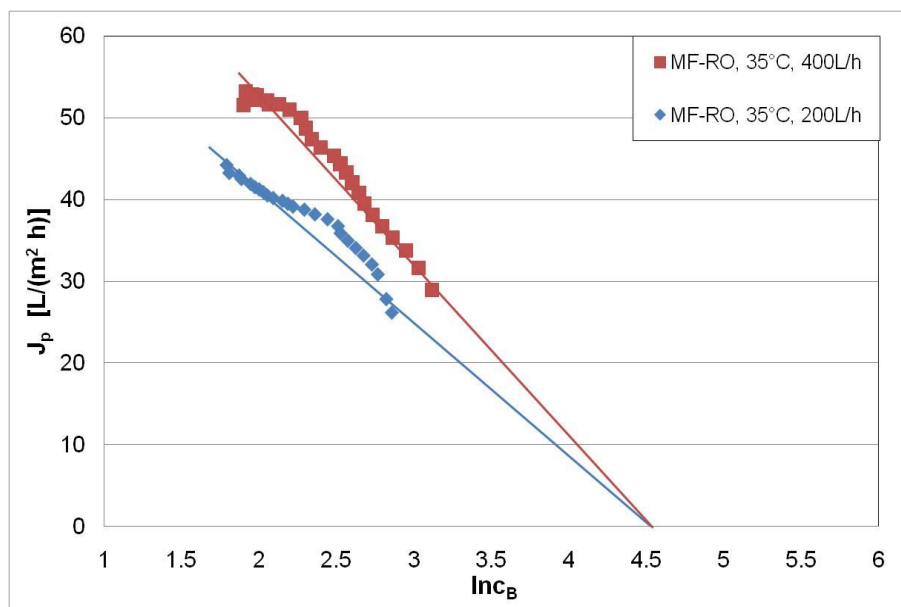
A transzmembránnnyomás (Δp_{TM}) növelésével a fluxus csak egy bizonyos értékig növelhető, mivel a gélréteg (c_G) és az oldat főtömegének (c_B) koncentrációkülönbsége miatt kialakuló ellenáramú diffúzió kontrollálja azt. A mért fluxusadatokra telítési görbét illesztve leolvashatók az állandósult fluxusértékek ($J'=J^*$). A 35°C-on mért fluxusértékekre a Microsoft Excel program Solver

bővítményével illeszttem a telítési görbét (80.ábra), az állandósult fluxusértékeket a 21. táblázat tartalmazza.



80. ábra: Fordított ozmózis fluxusai különböző térfogatáramokon

Az 56. egyenletből látható, hogy amennyiben a besűrítési kísérlet során a fluxus értéke zérusra csökkenne, akkor a főtömeg koncentrációja (c_B) megegyezne a gélréteg koncentrációjával (c_G). A fluxusokat logaritmikus skálán, a főtömeg koncentrációjának függvényében ábrázolva az egyenesek a vízszintes tengelyen kimetszik az $\ln c_G$ értéket (81.ábra).



81. ábra: A gélkonzentráció (c_G) meghatározása

Az anyagátadási tényező meghatározásához szükség van még a főtömeg koncentrációjára (c_B), amelyet szűrés előtti mérési adatokból ismernek.

Az állandósult fluxus és a számított anyagátadási tényező értékeit a 21. táblázat tartalmazza.

21. táblázat: A laboratóriumi kísérletek alapján meghatározott anyagátadási tényezők

Q_{rec} (L/h)	J^* (L/(m ² h))	c_B (°Brix)	c_G (°Brix)	$k_{\text{mért}}$ (m/s)
200	42	21	90	$8,02 \cdot 10^{-6}$
400	50	25	90	$10,84 \cdot 10^{-6}$

6.2.2.2. Diffúziós és anyagátadási tényező meghatározása elméleti úton

Az anyagátadási tényezőt elméleti úton a Sherwood-szám segítségével tudom meghatározni a következő egyenletekből (MULDER 1997):

Lamináris:
$$Sh = \frac{k \cdot d_e}{D} = 1,62 \cdot (Re \cdot Sc \cdot d / L)^{0,33} \quad (26)$$

Turbulens:
$$Sh = 0,04 \cdot Re^{0,75} \cdot Sc^{0,33} \quad (27)$$

Ehhez szükségünk van a Schmidt-(Sc) és Reynolds- (Re) számok ismeretére:

$$Re = \frac{d_e \cdot v \cdot \rho}{\eta}, \quad Sc = \frac{v}{D} = \frac{\eta}{\rho \cdot D} \quad (28) \quad (29)$$

A kajszilé áramlási sebessége a 45. egyenletből határozható meg.

$$v = \frac{Q_R}{A_{k\text{ér}}} \text{ [m/s]} \quad (45)$$

A Schmidt-szám képletében szereplő diffúziós tényező (D [m²/h]) meghatározásához a Wilke-Chang-egyenletet alkalmaztam (PERRY 1968; TREYBAL 1961), ami a következő:

$$D = 2,66 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(x_0 \cdot M)^{0,5}}{V_0^{0,6}} \cdot \frac{T}{\eta} \quad (57)$$

ahol: x_0 az oldószer asszociációs állandója (víz esetén $x = 2,6$), M az oldószer (víz) moláris tömege (kg/kmol), V_0 a diffundáló anyag moláris térfogata normál forrásponton (m³/kmol), T az oldat hőmérséklete (K), η az oldószer dinamikai viszkozitása (mPas).

A kajszilé moláris térfogatának meghatározását glükózra és szacharózra viszonyítva határoztam meg, és a diffúziós tényezőt és az anyagátadási tényezőt is erre a két cukorra számítottam ki.

A recirkulációs térfogatáramból számított Reynolds-számok ($Re_{200\text{L/h}}=1000$, $Re_{400\text{L/h}}=2000$) a lamináris tartományba estek, ezért a Sherwood-számok meghatározásához a 26. egyenletet használtam. Az eredményeket a 22. táblázat tartalmazza.

22. táblázat: A Reynolds-, a Schmidt-, a Sherwood-szám és az anyagátadási tényező (k) számított értékei

Q_R (L/h)	Re	Sc		Sh		$k_{\text{számított}}$ (m/s)	
		glükóz	szacharóz	glükóz	szacharóz	glükóz	szacharóz
200	1000	1436,78	2177,87	67,82	77,80	$2,58 \cdot 10^{-5}$	$1,95 \cdot 10^{-5}$
400	2000	1436,78	2177,87	85,25	97,79	$3,24 \cdot 10^{-5}$	$2,45 \cdot 10^{-5}$

A kétféle módszerrel kiszámolt anyagátadási tényező értékeit a 21. és 22. táblázat tartalmazza. Ezekből a táblázatokból látható, hogy ha a recirkulációs térfogatáramot növeljük, akkor a kialakuló polarizációs réteg vastagsága (δ) kisebb, ezáltal az anyagátadási tényező (k) növekszik.

6.2.2.3. A kísérleti adatokból és kritériális egyenletekből meghatározott anyagátadási tényezők összehasonlítása

A mérések alapján és a kritériális egyenletek alapján számolt anyagátadási tényezőket a 23. táblázatban foglaltam össze.

23. táblázat: Kísérleti és elméleti úton meghatározott anyagátadási tényezők

Q_{rec} (L/h)	$k_{\text{mért}}$ (m/s)	$k_{\text{számított}}$ (m/s)	
		glükóz	szacharóz
200	$0,80 \cdot 10^{-5}$	$2,58 \cdot 10^{-5}$	$1,95 \cdot 10^{-5}$
400	$1,08 \cdot 10^{-5}$	$3,24 \cdot 10^{-5}$	$2,45 \cdot 10^{-5}$

A két módszerrel számolt k értékek közelítőleg azonosak voltak, tehát megállapítható, hogy az irodalomban megtalálható 26. egyenlet a kajszilé fordított ozmózissal történő besűrítésére lamináris áramlási tartományban jól alkalmazható.

A glükózra és szacharózra számított értékek közül a szacharózzal számított anyagátadási tényezők voltak közelebb a mért adatokból számított anyagátadási tényezőkhöz, így feltételezhető, hogy a kajszilé nagyobb mértékben tartalmazott szacharózt, mint glükózt.

7. FELDOLGOZÓ ÜZEM KÖLTSÉGEINEK BECSLÉSE SUPERPRO DESIGNER PROGRAMMAL

Gazdaságossági elemzést végeztem a kajsziparack-lé sűrítmény előállítására. Az általam kidolgozott sűrítési technológia költségeit SuperPro Designer program segítségével határoztam meg.

A SuperPro Designer hasznos eszköz a mérnökök és tudósok számára az eljárások fejlesztéséhez és a gyártási folyamatok megtervezéséhez. Azon szakértők számára is jól használható, akik a környezetvédelemmel foglalkoznak (pl. szennyvízkezelés, légszennyezés, hulladékkezelés, stb.). A programban szakaszos és folyamatos művelet sorokat is meg lehet tervezni a művelettanból (áramlástan, hőtan, anyagátadás) ismert anyag- és energiamérlegek és egyéb tervezési összefüggések felhasználásával. Mivel elsősorban vegyészek számára fejlesztették ki, ezért nemcsak az egyes berendezések, de a használt anyagok paraméterei is megadhatóak.

Kiterjedt kémiai összetevő adatbázis, és több mint 140 berendezés és művelet található a programban. Alkalmas költségelemzésre és környezetvédelmi hatástanulmány elkészítésére is.

A kiválasztott eljárás adatain kívül még meghatározhatók a berendezés tulajdonságai is, mint például a jellemző méretei, vagy a felülete, az üzemidő, vagy akár a költségei is minden járulékos költséggel együtt.

A mérési eredmények alapján vizsgáltam a töményítést több kombinációs membrántechnikával, összehasonlítva a hagyományos bepárlással.

A 24. táblázat mutatja az általam vizsgált kapcsolások megnevezését és rövidítéseit.

24. táblázat: Super Pro Designer Programban alkalmazott kapcsolások

Jelölés	Sorbakapcsolt műveletek
MF-RO-OD	Mikroszűrés, fordított ozmózis, ozmotikus desztilláció
MF-RO-MD	Mikroszűrés, fordított ozmózis, membrándesztilláció
MF-Bepárlás	Mikroszűrés, bepárlás

A bepárláshoz mérési eredményeim nem voltak, de a program segítségével az alkalmazni kívánt paramétereket irodalmi adatok alapján (FONYÓ ÉS FÁBRY 2004) meghatároztam és reálisan beállítottam.

A gazdaságossági számításokat 1000 tonna barack feldolgozására számoltam. Az üzemidő 5 óra naponta, és az idényszerűsége való tekintettel 60 napig tart a feldolgozás. A modulok cseréjével és a műveleti paraméterek átállításával a tervezett rendszer alkalmas lehet más gyümölcsök besűritésére is.

A mag nélküli barackhús, a teljes mennyiség 93%-át teszi ki. Ehhez a 930.000 kg-hoz adok pektinbontó enzimet, mely után a lékihozatal 70%-os. Így 651.000 liter nyerslé áll rendelkezésemre. A számolásokat szakaszos üzemmódban végeztem. Első lépésként meghatároztam a membránfelületeket az 58. képlet alapján, azért hogy összehasonlíthassam a program által számolt értékekkel:

$$A = \frac{W_{\text{permeátum}}}{J_{\text{üzemi}}} \quad (58)$$

Ahol:

$A \text{ [m}^2\text{]}$ – a membrán felülete,

$W_{\text{permeátum}} \text{ [L/h]}$ – az átszűrt permeátum térfogatárama,

$J_{\text{üzemi}} \text{ [L/(m}^2\text{h)]}$ – a membrán üzemi átlagfluxusa

A különböző membránműveletek eredményeit a 25. táblázat mutatja be.

25. táblázat: A számított szükséges membránfelületek

Membrán típusa	W (L/h)	J (L/(m ² h))	A (m ²)
MF	1750	10	175
RO	1250	15	83
MD	300	0,4	750
OD	300	1,5	200

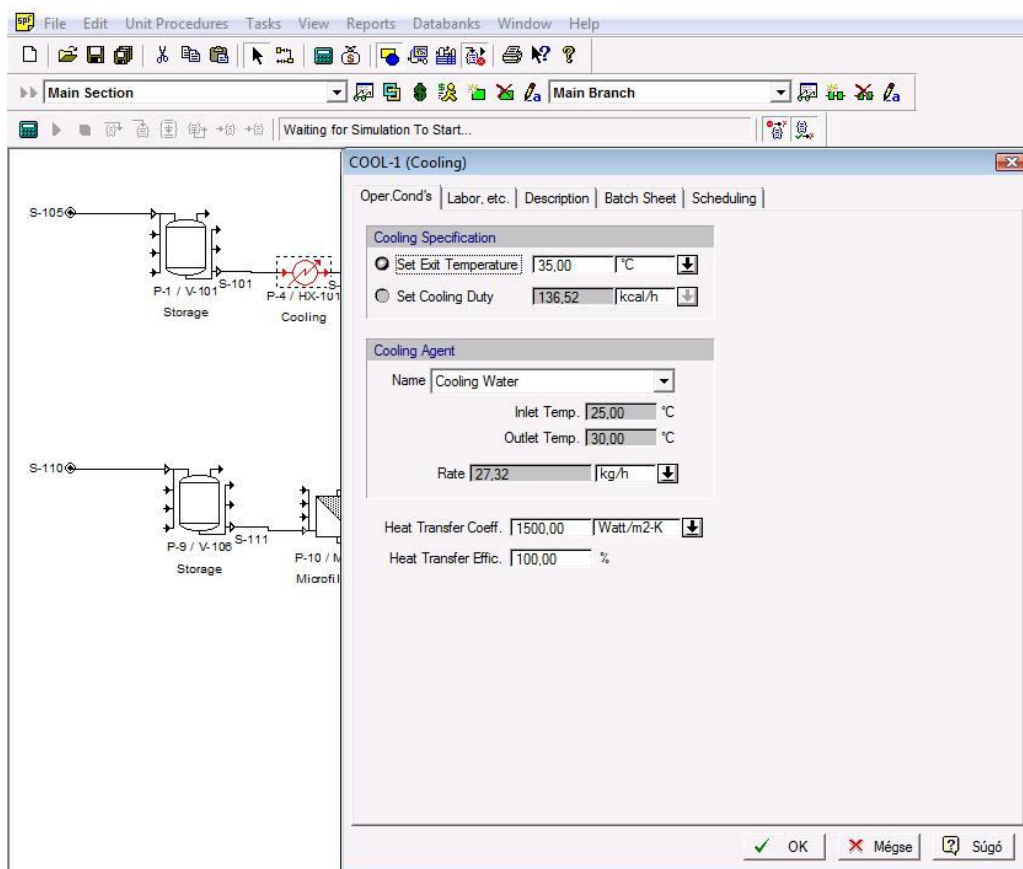
A költségek növekedésével a kapacitás arányosan növekszik. Feltételezhető, hogy mind az ultraszűrés, fordított ozmózis, membrándeztilláció és ozmotikus desztilláció esetén az üzemi membránmodulokra igaz, hogy azonos hidrodinamikai és anyagátadási feltételeket biztosítva az átlagfluxusok gyakorlatilag egyenlők:

$$J_{\text{üzemi}} \approx J_{\text{labor}} \quad (59)$$

A 58. egyenletből számolt membránfelületek azonosak a program alapján meghatározott membránfelületekkel.

A program alkalmazása során a részfolyamatok teljes egészében modellezhetők.

A 82. ábra példaként egy hőcserélő műveleti paramétereinek beállításakor megjelenő ablakot mutatja.



82. ábra: A SuperPro Designer kezelői felülete

A folyamatsorok egyes elemei a Unit Procedures menüben találhatók. Miután beillesztettem ezeket és összekötöttem anyagáramokkal, beállítottam a betáplálásra vonatkozó adatokat.

Az általam vizsgált folyamatsorok esetében a következő beállításokat végeztem:

- A kiindulási pontra beállítottam, hogy a betáplált anyag az alapanyag mennyibe kerül, hogy mekkora haszonnal szeretném majd a folyamat során a végterméket eladni. Az egyes berendezésekből kijövő melléktermékekről (tükrösítésből visszamaradt retentátum, valamint a töményítésnél kiszűrt víz és CaCl_2 oldat tárolásáról, eladásáról, hulladékként való kezeléséről vagy a rendszerbe való visszaforgatásáról) is gondoskodni kellett ahhoz, hogy a program megfelelően lefutatható legyen.
- A berendezések (membránszűrő, tartály, hőcserélő) paramétereit adtam meg az Operations data és az Equipment data menükben. A tartályok beállításánál szükség volt a kívánt kapacitásra, a darabszám, a maximális töltöttség valamint az ár megadására.
- A membránszűrő berendezéseknél (MF, RO, MD, OD) az állandósult fluxusértékeket, a visszatartást a szárazanyag-tartalomra nézve, az üzemi hőmérsékletet, a recirkulációs

térfogatáramot és a membránmodul árát volt szükséges beállítani. A berendezések adatait az általam elvégzett laboratóriumi és félüzemi mérések alapján adtam meg. Ezek alapján a program kiszámolta a termék tényleges koncentrációját és mennyiségét valamint a membrán felületét.

- A bepárlásos technológia esetén a bepárló üzemidejét, a bepárlás mértékét és a fűtőközeg paramétereit és az árakat. Ez alapján számolta a program a bepárló felületét, a kilépő anyagáramok koncentrációját, hőmérsékletét és mennyiségét. A kondenzátor felületét, a hűtővíz hőmérsékletét, mennyiségét és árát.
- Az egyéb berendezések szükséges paramétereit.

A beállítások alapján a program lefuttatta a műveletre jellemző matematikai modelleket, és kiszámolta a fent említett műveleti paraméterek értékeit. Az általam előzetesen kiszámolt értékeket összehasonlítottam a program által számoltakkal, és közel azonos eredményeket kaptam.

Ezek után gazdaságossági elemzést készítettem a SuperPro Designer segítségével, melynek eredményét részletesen a 3., 5., 7. és mellékletek mutatják. Az elemzést a Reports menün belül az Economic Evaluation Report-tal készítettem el.

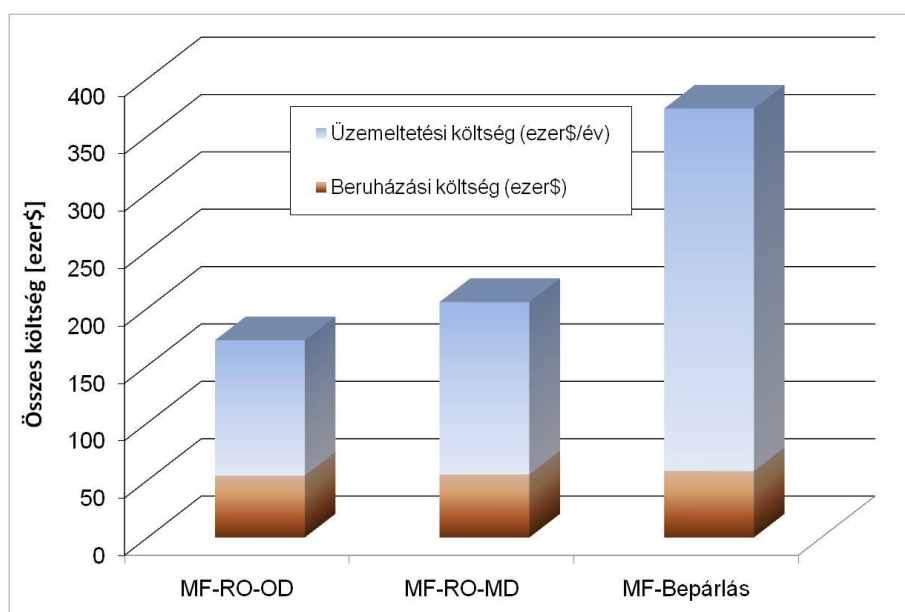
A költségbecslésnél használt membránmodul árakat a Hidrofilt Kft. és a Hyflux Ceparation Kft. által rendelkezésemre bocsátott árlistából, a hőcserélő és tartályok árát a Vinartis Kft. és az Agro-depo Kft. árai alapján választottam. Az üzemeltetési paramétereket (gőz, elektromos áram, hűtővíz, glikolos oldat) szakemberek becslései alapján adtam meg. A 83. ábra a teljes feldolgozás folyamatábráját mutatja az MF-RO-OD kapcsolással.

A 4. és 6. sz. mellékleten látható a feldolgozás másik két általam vizsgált fajtájának a folyamatábrája.

A program által számolt költségkalkulációk alapján összehasonlítottam a háromféle kapcsolás (MF-RO-OD, MF-RO-MD és MF-Bepárlás) teljes költségeit.

A teljes költségeknél csak a beruházási és üzemeltetési költségeket mutatom be.

A programmal végzett teljeskörű gazdasági elemzés magában foglalja a közvetett és közvetlen költségeket, továbbá a vállalkozó díját plusz a nem betervezett esetlegesen felmerülő költségekre elkülönített összeget valamint a közüzemi költségeket.



84. ábra: A kapcsolások költségeinek összehasonlítása

Közvetlen költségek: berendezések beszerzési ára, üzembe helyezési ár, csővezetékek, műszerezés, szigetelés, elektromos vezetékek, épületek, fejlesztés és kiegészítő épületek költségei.

Közvetett és egyéb költségek: tervezés és kivitelezés költségei, vállalkozó díja és az előre nem látható esetlegesen felmerülő költségekre elkülönített összeg valamint a közüzemi költségek.

A 84. ábrán csak a beruházási költségeket és az üzemeltetési költségek éves árait mutatom be a háromféle kapcsolás esetben. A beruházási költségek közel azonosnak tekinthetők mindhárom technológia alkalmazásakor. Az üzemeltetési költségek MF-RO-OD esetén a legkisebbek, MF-RO-MD esetén a költségek magasabbak, mivel a membrándeztilláció (MD) esetén a fluxusértékek alacsonyabbak (kisebb hőmérsékletkülönbséget kell alkalmaznunk, hogy az értékes anyagokat

megőrizzük a termékben), így nagyobb membránmodul szükséges, valamint a membrán előtt és után a hűtés és melegítés költsége számottevő.

Bepárlás alkalmazása esetén az üzemeltési költségeket jelentősen növeli a gőz alkalmazása és a kondenzáltatás, és a magas hőmérséklet alkalmazása jelentős mértékben csökkenti az értékes anyagokat a késztermékben.

Az általam alkalmazni kívánt MF-RO-OD kapcsolás üzemeltetési költsége kb. fele a hagyományos bepárlásénak, mindemellett a kajsziparacklé beltartalmi jellemzőinek szempontjából is előnyösebb. Saját erőmű esetén a beruházás rövidebb idő alatt megtérülhet. 30-40%-kal csökkenthet a megtérülési idő.

8. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A kajsziarack és a belőle készült gyümölcsle sok értékes komponenst tartalmaz, melyeknek számos kedvező élettani hatása ismert. A hagyományos bepárlásos besűrités hőhatása károsítja a kajsziaracklében 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 kajsziaracklé 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 kezelésre** van szükség, ahol kutatásaim szerint kajsziaré 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. Tűkrűsítés: A kajsziaré tűkrűsítésére, mikroszűrű (MF) membránt (0,45 µm pórusméret, Pall gyártmány), és ultraszűrű (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/(m²h)-ról, 30°C esetén 38 L/(m²h)-ról, és 35°C esetén 65 L/(m²h)-ról indult. A térfogatáram növelésével a kezdeti fluxus 300 és 500 L/h recirkulációs térfogatáram között 35°C-on 19 L/(m²h)-ról 65 L/(m²h)-ra, 300 és 500 L/h között

30°C-on 13,5 L/(m²h)-ról 38 L/(m²h)-ra, míg 300 és 500 L/h között 25°C-on 15 L/(m²h)-ról 25 L/(m²h)-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/(m²h)-ról 12 L/(m²h)-ra, 30-35°C között 12 L/(m²h)-ról 16,5 L/(m²h)-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 (sóviasszatartás 93%, Trisep gyártmány) 20-25 °Brix szárazanyag-tartalmat értem el, NF membránnal 14-18 °Brix-et (sóviasszatartás 80%, Trisep gyártmány). Fordított ozmózisnál és nanoszűrésnél a műveleti paramétereknek nem volt jelentős hatása a szűrletfluxusra.

3.3. Végsűrés: A végsűrésnél az ozmotikus desztillációt (OD) és a membrándesztillációt (MD) hasonlítottam össze.

Ozmotikus desztilláció esetén a műveleti paramétereknek nem volt jelentős hatása. Membrán desztillációs csöves modul fluxusértékeit összehasonlítva az ozmotikus desztillációs csöves modullal a kezdeti fluxus 0,7 kg/(m²h)-ról 1,5 kg/(m²h)-ra növekedett.

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

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

4. A félüzemi kísérletekhez mikroszűrést (0,45 µm pórusméret, Microdyn gyártmány), fordított ozmózist (sóviasszatartás 97%, MFT Köln gyártmány), ozmotikus desztillációt (hidrofób, 0,2 µm pórusméret, Microdyn gyártmány) alkalmaztam. A félüzemi kísérletek is igazolták az általam kidolgozott technológia hitelességét, azonos mérési körülmények mellett azonos fluxusokat és nagyon közeli viasszatartásokat mértem.

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

5.1. A kajsziabaracklé 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°C-on a mikroszűrés szűrési időállandója $T_i=0,76$ h, ultraszűrés esetén $T_i=0,97$ h lett.

5.2. Az ultraszűrés és mikroszűrés modellezését az **ellenállásmodell** segítségével végeztem. Ultraszűrés esetén konstans membránellenállás mellett ($2,94 \cdot 10^{12}$ 1/m) a térfogatáram növelése

(1 m³/h-ról – 2 m³/h-ra) a gélréteg ellenállását 15 %-kal csökkentette. Az 5°C-os hőmérséklet emelkedés hatására a gélréteg ellenállása 55%-kal csökkent.

Mikroszűrés esetén állandó membránellenállás mellett ($3,18 \cdot 10^{11}$ 1/m) a térfogatáram növelésével (300 L/h-ról 500 L/h-ra) 35°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 **kajsziparacklé ozmózisnyomásának** számolására. A modellek alapján 25°C-on szacharóz esetén 240 L/h-nál 11,6 bar, 400 L/h-nál 9,9 bar, 600 L/h –nál 11,2 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 megegyeznek az irodalomban fellelhető kritériális egyenletek alkalmazásával számolható anyagátadási tényező tartományával ($2,08 \cdot 10^{-6}$ – $4,39 \cdot 10^{-5}$ m/s).

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

9. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

9.1. Következtetések

Kutatásaim során komplex eljárás alapjait dolgoztam ki kajszibaracklé besűrítésére.

1. A kajszibaracklé tükrösítésére kétféle módszert alkalmaztam: ultra- és mikroszűrést. Az analitikai vizsgálatok szerint mindkét membrán kis mértékben visszatartotta az értékes komponenseket, viszont a szárazanyag-tartalom a mikroszűrt permeátumban magasabb volt, és a műveleti paraméterek hatását figyelembe véve a 0,45 µm pórusméretű mikroszűrő membrán megfelelő módszer a kajszibaracklé előszűrésére.

2. A besűrítés első lépéseként nanoszűrést és fordított ozmózist alkalmaztam. A nanoszűréssel ~20 °Brix szárazanyag-tartalmat sikerült elérni, ám az értékes anyagokra nézve a visszatartások értéke kisebb volt, mint fordított ozmózis alkalmazásával. A nanoszűrés során keletkező permeátum sárgás színéből is arra következtettem, hogy a permeátumba átkerül az értékes anyagok kis része, amelyet az analitikai vizsgálatok alátámasztottak. Fordított ozmózisnál a permeátum színtelen volt, 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 gyümölccsel 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) más fluxusértékek, műveleti paraméterek, membrántechnikai kapcsolások szükségesek, mint az általam vizsgált kajszibarack esetén.

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

9.2. Javaslatok

1. További kísérletek elvégzése a félüzemi méretezési problémák megszüntetésére. Értékes anyagok visszatartásának vizsgálata félüzemi méretben. Ozmotikus desztillációnál olyan ozmotikus oldat kialakítása, 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. Az irodalomban megtalálható gyümölcsök hasonló feldolgozással történő besűrítése összehasonlító vizsgálatának részletes elemzése.

10. ÖSSZEFOGLALÁS

A gyorsan romló, hűtve nehezen és rövid ideig tárolható, közkedvelt kajszibarackból készült sűrítmények előállítása során nagy szerepet kaphat a membránműveletek alkalmazása. Kutatómunkámban célom az értékes anyagokban gazdag gyümölcsle és sűrítmény előállítása volt különböző membránszűrési eljárásokkal, vizsgálva azok laboratóriumi és félüzemi megvalósíthatóságát.

Kajszibarack-sűrítmény előállításához olyan műveletsort alkalmaztam, amely különböző membránokat tartalmaz. Az első lépcsőben mikroszűrő membrán (MF) alkalmazásával kiszűrtem a lebegő anyagokat, majd az így kapott tükrös gyümölcslevet fordított ozmózissal (RO) betöményítettem 20-25°Brix szárazanyag tartalomra (második lépcső). Harmadik lépcsőben az előtöményített kajszibarack-sűrítményt tovább sűrítettem ozmotikus desztilláció (OD) alkalmazásával 60-65°Brix szárazanyag-tartalomra. A műveleti paraméterek hatását vizsgálva megállapítottam, hogy a térfogatáram és hőmérséklet növelésével növelhető a szűrletfluxus, miközben az értékes anyagok visszatartása nem változik jelentősen, de csak abban az esetben, ha a hőmérséklet 40°C alatt marad.

A laboratóriumi mérések során vizsgáltam az ultraszűrés (UF) tükrösítési hatékonyságát is, de a szárazanyag-tartalom visszatartást és a műveleti paramétereket összehasonlítva a mikroszűréssel (MF) az mikroszűrést javasoltam a félüzemi mérésekhez. Az ultraszűréssel (UF) és mikroszűréssel (MF) előállított leveket fordított ozmózissal (RO) és nanoszűréssel (NF) is töményítettem. A töményítés során a műveleti paraméterek, ill. az analitikai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a fordított ozmózis hatékonyabb a nagyobb szűrletfluxus, magasabb szárazanyag tartalom, magasabb értékes anyag tartalom szempontjából is, és a permeátum fordított ozmózis esetén a nanoszűréssel szemben nem tartalmaz értékes anyagokat. A végtöményítésnél a membrán desztillációt (MD) és az ozmotikus desztillációt (OD) összehasonlítva elmondható, hogy energiamegtakarítás és a nagyobb fluxusérték miatt az ozmotikus desztilláció javasolt.

Az analitikai vizsgálatok szerint a sűrítményekben feldúsultak az értékes komponensek (összes antioxidáns-kapacitás (FRAP), összes polifenol-tartalom (FCR), C- vitamin, savtartalom).

Matematikai modellezés elvégzésével meghatároztam a tükrösítés és besűrítés során fellépő ellenállásokat (R). Tükrösítésnél kiszámoltam az időállandókat (T_i) a műveleti paraméterek figyelembevételével. Fordított ozmózis (RO) besűrítéseknél vizsgáltam az ozmózisnyomás-különbségeket ($\Delta\pi$), és az irodalomban található összefüggés illeszkedését a mérési eredményeimre. Az anyagátadási tényező (k) értékét is kiszámítottam fordított ozmózisnál (RO), mely az ipari méretezéshez fontos paraméter. A félüzemi mérések után a három lépcsős technológiára (MF+RO+OD) SuperPro Designer program segítségével költségelemzést készítettem, összehasonlítva azt a hagyományos bepárlás költségeivel. A klasszikus töményítéshez képest a membrántechnika üzemeltetése fele akkora, és a termék értékes anyagokban gazdagabb, melyet az analitikai eredmények is alátámasztanak.

Conclusion

Membrane separation processes operations can have an important role during producing concentrate from the popular fruit: apricot. It decomposes quickly its, the cooling storage is difficult and only possible for a short time. The aim of my research was to produce juice and concentrate rich in valuable substances with the help of different membrane processes, measuring their feasibility in laboratory and pilot plant environment.

To produce apricot concentrate I used a series of operations which includes different membranes. In the first step I filtered out suspended solids with microfiltration, and then concentrated the received clarified juice with reverse osmosis to 20-25°Brix dry matter content (second step). In the third step I concentrated the reverse osmosis retentate further with osmotic distillation to 60-65°Brix dry matter content. In examining the effect of the operational parameters I found that by increasing the recirculation flow rate and the temperature, the permeate flux can be increased, while the retention of valuable components does not change significantly but only if the temperature stays below 40°C.

During the laboratory measurements I examined the efficiency of ultrafiltration in producing clarified juices, but comparing the retention of dry matter content and the operational parameters of microfiltration, I recommended microfiltration for pilot plant measurements. The permeates of the microfiltration and ultrafiltration were concentrated by reverse osmosis and nanofiltration. Comparing the operational parameters and the results of the analytical measurements it can be concluded, that reverse osmosis is more efficient in regard to higher permeate flux, higher dry matter content, higher valuable substance content and the permeates do not contain valuable substances in the case of reverse osmosis. In the final step of the process, membrane distillation and osmotic distillation were examined. On the bases of these results osmotic distillation can be suggested, because of energy consumption and higher degree of flux.

Regarding the complex treatment of apricot juice the valuable components (vitamin C, acid and antioxidant capacity) have been concentrated in the retentates based on the analytical studies.

With mathematical modelling I calculated the resistances (membrane, gel layer and fouling resistance) during clarification and concentration. In clarification, I calculated the time constants, taking the operational parameters into consideration. During reverse osmosis I examined the osmotic pressure differences and how do the relation found in literature fits my measurement results. In case of reverse osmosis, I calculated the mass transfer coefficient, which is an important parameter for plant scale. After the pilot plant measurements, I made a cost analysis for the three-step technology (MF+RO+OD) with the help of SuperPro Designer software, comparing it with the costs of traditional evaporation. The operation of the three-step membrane technology is half

cheaper in comparison with classical evaporation and the product is richer in valuable substances, which the analytical results support as well.

Az értekezés témakörében megjelent közlemények

Impact faktoros folyóiratcikk

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.

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

Lektorált folyóiratcikk

Jesus Mora Molina, Gyula Vatai, **Eszter Fogarassy**, Erika Bekassy-Molnar (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.

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

Folyóiratcikk

Csiszár E., Galambos I. (2005): Kútvezek huminsav-mentesítése ultraszűrőssel félüzemi méretben, anyagátadási modell alkalmazása, Membrántechnika, IX. évfolyam 4.szám, p:62-72. 76.206/1997

Könyvrészlet

Vatai Gy., Békássyné Molnár E., **Fogarassy E.**, Kozák Á., Román A., Gáspár I., Balla Cs., Polyákné Fehér K., Dalmadi I., Jónás G., Csukáné Nemes M., Apali J., Árvás J. (2008): Új feldolgozási eljárások fejlesztése – Fél-sűrítmény és sűrítmény előállítása kombinált szeparálási eljárásokkal. Alma és kajszi project 45-54. old. Szerkesztő: Tóth M. Kiadó: Magyar Mezőgazdaság Kft. (NKFP06A2-BCETKA06, 1-2. munkaszakasz). ISBN: 978-963-06-6487-5

Vatai Gyula, Balla Csaba, Békássyné Molnár Erika, Polyákné Fehér Katalin, **Fogarassy Eszter**, Dalmadi István, Kozák Áron, Jónás Gábor, Román András, Csukáné Nemes Márta, Gáspár Igor, Apali Józsefné, Árva Jánosné Alma és kajszi projekt, Az alma és a kajszi környezetkímélő

termesztésének, szüret utáni kezelésének és feldolgozásának fejlesztése a hevesi térségben NKFP06A2-BCETKA06 1-2. munkaszakasz (2007-2008) 45-57. o. ISBN 978-963-06-6487-5

Konferencia kiadványban megjelent teljes terjedelmű anyagok

Fogarassy E. (2008): Kajsziparack 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

Fogarassy E., Békássyné Molnár E., Vatai Gy. (2007): Biological vinegar concentration by membrane technology, 5th International Congress on Food Technology, Thessaloniki, (poszter) Proceedings volume 2. p.: 89-93. ISBN 978-960-88557-3-1

Konferencia kiadványban megjelent összefoglalók

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

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

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.

Fogarassy E., Kőszegi N., Békássy S., Békássy-Molnár E., Vatai Gy. (2009): Optimization of grape juice concentration by using multistep membrane technique, Nanostructured materials and membranes for Energy. Lillestrom, Norway.

Nagy Á., **Fogarassy E.**, Békássyné Molnár E., Hegedüs A., Stefanovits-Bányai É., Vatai Gy. (2009): Különböző technológiai eljárások hatása kajszi sűrítmények értékes anyagaikra. Lippay-Ormos-Vas Tudományos Ülésszak, Budapest. Konferencia kiadvány: p.: 192-193. ISBN 978-963-503-397-3.

Nagy Á., **Fogarassy E.**, Stefanovits-Bányai É., Hegedűs A.(2009): Miként befolyásolja a kajsziabarack sűrítmények antioxidáns kapacitását a membrántechnika.16th Symposium on Analytical and Environmental Problems, SZAB, Szeged,

Bánvölgyi Sz., **Fogarassy E.**, Kozák Á., Vas-Vincze I., Stefanovicsné Bányai É., Vatai Gy. (2009): Gyümölcsök táplálkozási értékének megőrzése komplex membrántechnikával. Élelmiszerlánc – Innováció az Egészségért Tudományos nap, Budapest

Fogarassy E. (2008): The processing of apricot juice by using multistep membrane technique Summer School, Leuven szeptember 4-11. Poster. Abstract kiadvány

Fogarassy E., Galambos I., Bekassy-Molnar E., Vatai Gy. (2007): Treatment of high arsenic content wastewater by membrane filtration, Permea 2007 Membrane science and technology conference of Visegrad countries. Siófok (poszter), szeptember 2-6. Konferencia összefoglaló p.: 153. ISBN 978-963-9319-69-1

Fogarassy E., Galambos I., Békássyné Molnár E., Vatai Gy. (2007): Complex arsenic and humic acid removal from well water and waste handling by membranes, The 6th International Membrane Science and Technology Conference, Sydney, (poszter), november 5-9. konferencia összefoglaló p.:163.

Fogarassy E., Kozák Á., Bánvölgyi Sz., Román A., Békássyné Molnár E., Vatai Gy. (2007): Kajsziabarack-lé készítése többlépcsős Membrántechnika alkalmazásával Lippay-Ormos-Vas tudományos ülészak, Budapest, (poszter) november 7-8. Konferencia összefoglaló 212.o. ISBN 978-963-06-3350-5

Fogarassy E., Békássyné Molnár E. (2007): Membrándesztilláció gazdaságossági elemzése biológiai ecet töményítésére, Lippay-Ormos-Vas tudományos ülészak, Budapest, (poszter) november 7-8. Konferencia összefoglaló 214.o. ISBN 978-963-06-3350-5

Fogarassy E., Békássyné Molnár E., Vatai Gy. (2007): Feketeribizli ecet gyártás, Műszaki Kémiai Napok '07 Veszprém (poszter), Konferencia összefoglaló 286.o. ISBN 978-963-9696-15-0

Fogarassy E., Békássyné Molnár E., Vatai Gy. (2007): Biológiai ecet töményíthetőségének vizsgálata fordított ozmózis és membrándeztilláció alkalmazásával, Műszaki Kémiai Napok '07 Veszprém, (előadás) Konferencia összefoglaló 207.o. ISBN 978-963-9696-15-0

Csiszár E., Gáspár I., Békássy-Molnár E., Vatai Gy. (2006): Ecetsav-baktérium eltávolítása félüzemi mikroszűrő berendezésen, VII. Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia, Szeged, (előadás), Konferencia összefoglaló 48-49. p. ISBN 963 482 676 8

Gáspár I., **Csiszár E.,** Békássy-Molnár E, Vatai Gy. (2006): Ecetsav-baktérium eltávolítása nyers ecetből laboratóriumi mikroszűrő berendezésen Műszaki Kémiai Napok'06., Veszprém, (poszter), Konferencia összefoglaló 177. p. ISBN 963 9495 86 7

Csiszár E., Galambos I., Békássy-Molnár E. (2005): Az anyagátadási modell alkalmazása huminsavat tartalmazó kútvíz ultraszűrése esetén, Műszaki Kémiai Napok'05., Veszprém, (előadás), Konferencia összefoglaló 112. p. ISBN 963 9495 71 9

Csiszár E., Galambos I., Békássy-Molnár E., Vatai Gy. (2005): Huminsavas kútvizek ultraszűrése laboratóriumi és félüzemi berendezésen: anyagátadási modell alkalmazása, Lippay-Ormos-Vas tudományos ülésszak, Budapest, (poszter), Konferencia összefoglaló 248-249.p.
ISBN 963 503 342 7

MELLÉKLETEK

1. sz. Melléklet

Irodalomjegyzék

ABATE, N., CHANDALIA, M. (2003): The impact of ethnicity on type 2 diabetes. *Journal of Diabetes and its Complications*, 17 39-58. p.

AIDER, M., DE HALLEUX, D. (2008): Production of concentrated cherry and apricot juices by cryoconcentration technology. *LWT-Food Science and Technology*, 41 1768-1775. p.

AKIN, E. B., KARABULUT, I., TOPCU, A. (2008): Some compositional properties of main Malatya apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties. *Food Chemistry*, 107 939-948. p.

ÁLVAREZ, S., RIERA, F. A., ÁLVAREZ, R., COCA, J., CUPERUS, F. P., BOUWER, S., ALVAREZ, V., ALVAREZ, RIERA, S. EA., ALVAREZ, R. (1997): Permeate flux prediction in apple juice concentration by reverse osmosis. *Journal of Membrane Science* 127 25-34. p.

ALVES, V. D., COELHO, I. M. (2006): Orange juice concentration by osmotic evaporation and membrane distillation. *Journal of Food Engineering*, 74 125-133. p.

ALVES, V.D., COELHO, I.M. (2002): Mass transfer in osmotic evaporation: effect of process parameters. *Journal of Membrane Science*, 208 171-179. p.

ASHURST, P.R. (2005): *Chemistry and Technology of Soft Drinks and Fruit Juices*, Blackwell Publishing

ATRA, R., VATAI, GY., BEKASSY-MOLNAR, E., BALINT, A. (2005): Investigation of ultra- and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. *Journal of Food Engineering*, 67 325-332. p.

BAGGER-JORGENSEN, R., MEYER, A. S., VARMING, C., JONSSON, G. (2004): Recovery of volatile aroma compounds from black currant juice by vacuum membrane distillation. *Journal of Food Engineering*, 64 23-31. p.

BÁNVÖLGYI, SZ., HORVÁTH, SZ., BÉKÁSSY-MOLNÁR, E., VATAI, GY. (2006): Concentration of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) juice with nanofiltration. *Desalination* 200 535-536. p.

BÁNVÖLGYI, SZ., HORVÁTH, SZ., STEFANOVITS-BÁNYAI, E., BÉKÁSSY-MOLNÁR, E., VATAI, GY. (2009): Integrated membrane process for blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) juice concentration. *Desalination*, 241 281-287. p.

BÁNVÖLGYI, SZ., KISS I., BÉKÁSSY-MOLNÁR E., VATAI, GY. (2006): Concentration of red wine by nanofiltration. *Desalination* 198 8-15. p.

BARBE, A.M., BARTLEY, J.P., JACOBS, A.L., JOHNSON, R.A. (1998): Retention of volatile organic flavour/fragrance components in the concentration of liquid foods by osmotic distillation. *Journal of Membrane Science*, 145 67-75. p.

BARTA, J. (2007): A gyümölcsfeldolgozás technológiái Budapest: Mezőgazda kiadó

BEKASSY-MOLNAR, E., VATAI, GY. (2006): Complex membrane processes. Corvinus University press, 5-128. p.

BÉLAFI-BAKÓ, K., GUBICZA, L., MULDER, M. (2000): Integration of membrane processes into bioconversion. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers

BÉLAFINÉ BAKÓ K. (2002): Membrános műveletek. Veszprém: Veszprémi Egyetemi Kiadó

BENZIE, IIF, STRAIN, JJ. (1966): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measuring of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analitical Biochemistry*, 239 70-76. p.

BÍRÓ, GY., LINDNER, K. (1999): Tápanyagtáblázat, Táplálkozástan és tápanyag-összetétel. Budapest: Medicina Könyvkiadó

BORUS, A. (1989): Vegyipari szabályozástechnika. Budapest: Tankönyvkiadó

BOSWINKEL, G., VAN GEMERT, R. W., VELDSINK, J. W., GIORNO, L., DONATO, L., BRANDHUBER, J.P. (1999): The application of pressure driven membrane filtration as a means of arsenic removal for public drinking water supply systems. Doctor of Philosophy degree. Colorado University, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, USA

BRÓZIK, S., KÁLLAY, T. (2000): Csonthéjas gyümölcsfajták – cseresznye, meggy, őszibarack, kajszi, szilva. Budapest: Mezőgazda Kiadó

BUREAU, S., RUIZ, D., REICH, M., GOUBLE, B., BERTRAND, D., AUDERGON, J-M., RENARD, C.M.G. (2009): Application of ATR-FTIR for a rapid and simultaneous determination of sugars and organic acids in apricot fruit. *Food Chemistry*, 115 1133-1140. p.

CALLE, E. V., RUALES, J., DORNIERB, M., SANDEAUX, J., SANDEAUX, R., POURCELLY, G. (2002): Deacidification of the clarified passion fruit juice (*P. edulis* f. *jbvicarpa*). *Desalination*, 149 357-361. p.

CAMPOS, D.C.P., SANTOS, A.S., WOLKOFF, D.B., MATTA, V.M., CABRALD, L.M.C., COURID, S. (2002): Cashew apple juice stabilization by microfiltration. *Desalination* 148 61-65. p.

CASSANO, A., DONATO, L. DRIOLI, E. (2007): Ultrafiltration of kiwifruit juice: Operating parameters, juice quality and membrane fouling. *Journal of Food Engineering*, 79 613-621.p.

CASSANO, A., DRIOLI, E. (2007): Concentration of clarified kiwifruit juice by osmotic distillation. *Journal of Food Engineering*, 79 1397-1404. p.

CASSANO, A., FIGOLI A., TAGARELLI, A., SINDONA, G. DRIOLI, E. (2006): Integrated membrane process for the production of highly nutritional kiwifruit juice. *Desalination*, 189 21-30. p.

CASSANO, A., MARCHIO, M., DRIOLI, E. (2006): Clarification of blood orange juice by ultrafiltration: analyses of operating parameters, membrane fouling and juice quality. *Desalination*, 212 15-27. p.

CELERE, M., GOSTOLI, C. (2004): Osmotic distillation with propylene glycol, glycerol and glycerol-salt mixtures. *Journal of Membrane Science*, 229 159-170. p.

CHAUHAN, S.K., TYAGI, S.M., SINGH, D. (2001): Pectinolytic liquefaction of apricot, plum and mango pulps for juice extraction. *International Journal of Food Properties*, 4 103-109. p.

CHERYAN, M. (1998): Ultrafiltration and Microfiltration. USA: Technomic Publishing Company

CHIAMPO, F., CONTI, R. (1999): Hydrodynamics of fruit pulp ultrafiltration. *Journal of Food Engineering*, 40 173-180. p.

CSAPÓ, J., CSAPÓ, K. ZS. (2003): Élelmiszer-kémia. Budapest, Mezőgazda Kiadó

CSISZÁR, J. E. (1991): Laboratóriumi vizsgálatok almasűrítvény és aroma gyártásnál. Szamosmenti Állami tangazdaság, Tanulmány

DANISH FOOD COMPOSITION DATABANK (2009)

DRAGOVIC-UZELAC, V., POSPISIL, J., LEVAJ, B., DELONGA, K. (2005): The study of phenolic profiles of raw apricots and apples and their purees by HPLC for the evaluation of apricot nectars and jams authenticity. *Food Chemistry*, 91 373-383. p.

DRÉN, G., RACSKÓ, J., THURZÓ, S. (2005): A tárolás hatása a kajszli (*Prunus Armeniaca*) gyümölcsminőségére. *Agrártudományi Közlemények*, 16

DRIOLI, E., JIAO, B., CALABRO, V. (1992): The preliminary study on the concentration of orange juice by membrane distillation. In Proceedings of VII international citrus congress, Acireale, Italy.

EL-BOURAWI, M.S., DING, Z., MA, R., KHAYET, M. (2006): A framework for better understanding membrane distillation separation process. *Journal of Membrane science*, 285 4-29. p.

FÁBRY, GY. (1995): Élelmiszeripari eljárások és berendezések. Budapest: Mezőgazda Kiadó

FONYÓ, ZS., FÁBRY GY. (2004): Vegyipari művelettani alapismeretek. Budapest: Nemzeti Könyvkiadó

FVM Értesítő (2007): Gyümölcsitalok és üdítőitalok jelölési útmutatója. *FVM*, 22.

GALAMBOS, I., CSISZÁR, E., BÉKÁSSY-MOLNÁR, E., VATAI, GY. (2005): Mass-transfer model for humic acid removal by ultrafiltration. *Environment Protection Engineering*, 31 145-152. p.

GALAMBOS, I., VATAI, GY., BÉKÁSSY-MOLNÁR, E. (2004): Membrane screening for humic substances removal. *Desalination* 162 111-116.p.

GONZÁLEZ-AGÜERO, M., TRONCOSO, S., GUDENSCHWAGER, O., CAMPOS-VARGAS, R., a,b, MOYA-LEÓN, M. A., DEFILIPPI B. G. (2009): Differential expression levels of aroma-related genes during ripening of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 47 435-440. p.

G. TÓTH, M (2001): Gyümölcsészet. Nyíregyháza: PRIMOM Sz-SZ-B Megyei Vállalkozásélénkítő Alapítvány Vállalkozói Központ

GÜNTHER, R., PERSCHALL, B. REESE, D. HAPKE J. (1996): Engineering for high pressure reverse osmosis. *Journal of Membrane Science*, 121 95-107. p.

HALLABO, SAS., EL-WAKEIL, FA., MORSI, MKS. (1975): Chemical and physical properties of apricot kernel, apricot kernel oil and almond kernel oil. *Egyptian Journal of Food Science*, 3 1-6. p.

HE, Y., JI, Z., LI, S. (2007): Effective clarification of apple juice using membrane filtration without enzyme and pasteurization pretreatment. *Separation and Purification Technology* 57 366-373. p.

HERCBERG, S., PREZIOSI, P., GALAN, P., FAIRE, H., ARNAUD, J., DUPORT, N., MALVY, D., ROUSSEL, A. M., BRIANCON, S., FAVIER, A. (1999): The SU-VI-MAX study: a primary prevention trial using nutritional doses of antioxidant vitamins and minerals in cardiovascular diseases and cancer. *Food Chemical Toxicology*, 37 925-930. p.

HUI, Y. H., BARTA, J., CANO, P. M., GUSEK, W. T., SIDHU, S. J., SINHA, N. (2006): *Handbook of Fruits and Fruit Processing*. Blackwell Publishing

INGVAR, B. (2004): Fibre effects on intestinal functions (diarrhoea, constipation and irritable bowel syndrome). *Clinical Nutrition Supplements*, 1 33-38. p.

JAEGER DE CARVALHO, L. M., MIRANDA DE CASTRO, I., BENTO DA SILVA, C. A. (2008): A study of retention of sugars in the process of clarification of pineapple juice (*Ananas comosus*, L. Merrill) by micro- and ultra-filtration. *Journal of Food Engineering*, 87 447-454. p.

JESUS, D.F., LEITE, M.F., SILVA, L.F.M., MODESTA, R.D., MATTA, V. M., CABRAL, L.M.C. (2007): Orange (*Citrus sinensis*) juice concentration by reverse osmosis. *Journal of Food Engineering*, 81 287-291.p.

JIAO, B., CASSANO, A., DRIOLI, E. (2004): Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: review. *Journal of Food Engineering*, 63 303-324. p.

KISS, G. (2007): Alkoholmentes italok. *Magyarországi Üdítőital-, Gyümölcsle-, és Ásványvízgyártók szövetsége tanulmánya* (www.asvanyvizek.hu)

KORIS, A., KRSTIC, D., HU, X., VATAI, Gy. (2005): Ultrafiltration of oil-in-water emulsion: flux enhancement with static mixer. *Environment Protection Engineering*, 31 163-167. p.

KOZÁK, Á., BÁNVÖLGYI, SZ., VINCZE, I., KISS, I., BÉKÁSSY-MOLNÁR, E., VATAI, GY. (2007): Comparison of integrated large scale and laboratory scale membrane processes for the production of black currant juice concentrate. *Chemical Engineering and Processing*, 47 1171-1177. p.

KOZÁK, A., BÉKÁSSY-MOLNÁR, E., VATAI, GY. (2009): Production of black-currant juice concentrate by using membrane distillation. *Desalination*, 241 309-314. p.

KOZÁK, Á., REKTOR, A., VATAI, GY. (2006): Integrated large-scale membrane process for producing concentrated fruit juices. *Desalination*, 200 540-542. p.

KURZ, C., CARLE, R., SCHIEBER, A. (2008): Characterisation of cell wall polysaccharide profiles of apricots (*Prunus armeniaca* L.), peaches (*Prunus persica* L.), and pumpkins (*Cucurbita* sp.) for the evaluation of fruit product authenticity. *Food Chemistry*, 106 421-430. p.

KURZ, C., CARLE, R., SCHIEBER, A. (2008): HPLC-DAD-MSⁿ characterisation of carotenoids from apricots and pumpkins for the evaluation of fruit product authenticity. *Food Chemistry*, 110 522-530. p.

LAESON, K.W., LLOYD, D. R. (1997): Membrane distillation. *Journal of membrane science*, 124 1-25. p.

LAGANA, F., BARBIERI, G., DRIOLI, E. (2000): Direct contact membrane distillation: Modeling and concentration experiments. *Journal of Membrane Science*, 166 1-11. p.

MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV 1-2-94/35

MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV 1-3-2001/112 számú 1. számú melléklete

MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV 1-3-2001/112 számú 2. számú melléklete

MATTA, V.M., MORETTI, R. H. , CABRAL, L.M.C. (2004): Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. *Journal of Food Engineering*, 61 477-482

MI, B., ELIMELECH, M. (2010): Organic fouling of forward osmosis membranes: Fouling reversibility and cleaning without chemical reagents. *Journal of Membrane Science*, 348 337-345. p.

MIKKELSEN, B.B., POLL, L. (2002): Decomposition and transformation of aroma compounds and anthocyanins during black currant (*Ribes nigrum* L.) juice processing. *Journal of Food Science*, 67 3447-3455. p.

MSZ 3619-1983. Tartósított termékek összes savtartalmának meghatározása.

MULDER, M. (1997): Basic Principles of Membrane Technonogy. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers

MUNZUROGLU, O., KARATAS, F, GECKILC, H. (2003): The vitamin and selenium contents of apricot fruit of different varieties cultivated in different geographical regions. *Food Chemistry*, 83 205-212. p.

NAGEL B. (1992): Continuous production of high quality cloudy apple juice. *Fruit Processing*, 2 3-5. p.

NAGY, G., TÓTH, I., KÖRBER, L. (2003): Nagyító alatt. A rostok szerepe a táplálkozásban. *Patika Tükör* (www.patikatukor.hu)

ODES, HS., LAZOVSKI, H., STERN, I., MADAR, Z. (1993): Double-blind trial of a high dietary fiber, mixed grain cereal in patients with chronic constipation and hyperlipidemia. *Nutrition Research*, 13 979-985. p.

OTT, J. (1990): Aszeptikus technológia. Budapest: Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem

PAPP, J., PORPÁCZY, A. (1999): Szeder, ribiszke, köszméte, különleges gyümölcsök. Budapest: Mezőgazda Kiadó

PENNINGTON, J. A. T., FISHER, R. A. (2008): Classification of fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22S S23–S31. p.

PÉNZES, B., SZALAY, L. (2003): *Kajsi*. Mezőgazda Kft

PERRY, J. H. (1968): *Vegyésmérnökök Kézikönyve*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó

PORTER, M. (1990): *Handbook of industrial membrane technology*. Noyes Publications. Westwood, New Jersey, U.S.A.

RAHMA, EH., EL-ADAWY, TA., LASZTITY, R., GOMAA, MA., EL-BADAWAY, AA., GAUGENCZ, J. (1994): Biochemical studies of some non-conventional sources of proteins. VI. Physicochemical properties of apricot kernel proteins and their changes during detoxification. *Nahrung*, 38. 3-11. p.

RAUTENBACH, R. (1997): *Membranverfahren*. Berlin: Springer-Verlag

RAVENTÓS, M. HERNÁNDEZ, E., AULEDA, J., IBARZ, A. (2007): Concentration of aqueous sugar solutions in a multi-plate cryoconcentrator. *Journal of Food Engineering*, 79 577-585. p.

REKTOR, A., KOZAK, A., VATAI, GY., BEKASSY-MOLNAR, E. (2007): Pilot plant RO-filtration of grape juice. *Separation and Purification Technology*, 57 473-475. p.

REKTOR, A., PAP, N., KÓKAI, Z., SZABÓ, R., VATAI, GY., BÉKÁSSY-MOLNÁR, E. (2004): Application of membrane filtration methods for must processing and preservation. *Desalination*, 162 271-277. p.

REKTOR, A., VATAI GY. (2004): Membrane filtration of Mozzarella whey. *Desalination*, 162 279-286. p.

REKTOR, A., VATAI, GY., BÉKÁSSY-MOLNÁR, E. (2006): Multi-step membrane processes for the concentration of grape juice. *Desalination*, 191 446-453. p.

RODRIGUES, R.B., MENEZES, H.C., CABRAL, L.M.C., DORNIER, M. RIOS, G.M. REYNES, M. (2004): Evaluation of reverse osmosis and osmotic evaporation to concentrate camu-camu juice (*Myrciaria dubia*). *Journal of Food Engineering*, 63 97-102. p.

ROMÁN, A., WANG, J., CSANÁDI, J., HODÚR, C., VATAI, GY. (2009): Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration. *Desalination*, 241 288-295. p.

SARACOGLU, S., TUZEN, M., SOYLAK, M., (2009): Evaluation of trace element contents of dried apricot samples from Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 167 647-652. p.

SCHOBINGER, U., (1978): Frucht-und Gemüsesäfte. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer

SERES, Z., GYURA, J., ESZTERLE, M., VATAI, GY. (2004): Coloured matter removal from sugar-beet industry syrup by ultra- and nanofiltration. *Acta Alimentaria*, 33 119-127. p.

SHARMA, A., GUPTA, MN. (2004): Oil extraction from almond, apricot and rice bran by three-phase partitioning after ultrasonication. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106 183-186. p.

SINGLETON, V.L., ROSSI, J.A. (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16 144-158. p.

SULTANA, B., ANWAR, F. (2008): Flavonols (kaempferol, quercetin, myricetin) contents of selected fruits and vegetables and medicinal plants. *Food Chemistry*, 108 879-884. p.

TAKATSUJI W., NAKAUCHI, M., YOSHIDA, H. (1999): Removal of Salt and Organic Acids from Solution Used to Season Salted Japanese Apricots (Ume) by Electrodialysis, Precipitation and Adsorption. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 88 348-351. p.

Tankönyvkiadó

TASSELLI, F., CASSANO, A., DRIOLI, E. (2007): Ultrafiltration of kiwifruit juice using modified poly(ether ether ketone) hollow fibre membranes. *Separation and Purification Technology*, 57 94-102. p.

THANEDGUNBAWORN, R., JIRARATANANON, R., NGUYEN, M. H. (2007): Mass and heat transfer analysis in fructose concentration by osmotic distillation process using hollow fibre module. *Journal of Food Engineering*, 78 126-135. p.

TODISCO, S., DRIOLI, E., OLSSON, J., TRÄGÅRDH, G., GAETA, S. N., PANYOR, L. (2000): A new integrated membrane process for producing clarified apple juice and apple juice aroma concentrate. *Journal of Food Engineering*, 46 109-125. p.

TREYBAL, R. (1961): Diffúziós Vegyipari Műveletek. Budapest: Műszaki könyvkiadó

USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 21 (2008)

USHIKUBO, F. Y., WATANABE, A. P., VIOTTO, L. A. (2007): Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice. *Journal of Membrane Science*, 288 61-66. p.

VAILLANT, F., JEANTON, E., DORNIER, M., O'BRIEN, G. M., REYNES, DECLOUX, M. (2001): Concentration of passion fruit juice on an industrial pilot scale using osmotic evaporation. *Journal of Food Engineering*, 47 195-202. p.

VARMING, C., ANDERSEN, M.L., POLL, L. (2004): Influence of thermal treatment on black currant (*Ribes nigrum* L.) juice aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 7628-7636. p.

VATAI, Gy., KRSTIĆ, D. M., KORIS, A., GÁSPÁR, I., TEKIC M. N. (2009): Ultrafiltration of oil-in-water emulsion: Comparison of ceramic and polymeric membranes. *Desalination and Water Treatment* 3 162-168. p.

VERA, E. DORNIER, M., RUALES, J., VAILLANT, F., REYNES, M. (2003): Comparison between different ion exchange resins for the deacidification of passion fruit juice. *Journal of Food Engineering*, 57 199-207. p.

VERSARI, A., PARPINELLO, G. P., MATTIOLI, A. U., GALASSI, S. (2007): Characterisation of Italian commercial apricot juices by high-performance liquid chromatography analysis and multivariate analysis. *Food Chemistry*, 108 334-340. p.

VINCZE, I., BÁNYAI-STEFANOVITS, É., VATAI, GY. (2007): Concentration of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice with membrane separation. *Separation and Purification Technology*, 57 455-460. p.

VINCZE, I., STEFANOVITS-BÁNYAI, É., VATAI, Gy. (2006): Using nanofiltration and reverse osmosis for the concentration of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice. *Desalination*, 200 528-530. p.

VINCZE, I., VATAI, GY. (2004): Application of nanofiltration for coffee extract concentration. *Desalination*, 162 287-294. p.

VOLDEN, J., BORGE, G. I.A., BENGTSSON, G. B., HANSEN, M. THYGESEN, I. E., WICKLUND, T. (2008): Effect of thermal treatment on glucosinolates and antioxidant-related parameters in red cabbage (*Brassica oleracea* L. ssp. capitata f. rubra) *Food Chemistry* 109 595-605. p.

WAGNER, J. (2001): Membrane Filtration Handbook Practical Tips and Hints. USA: Osmonics, Inc.

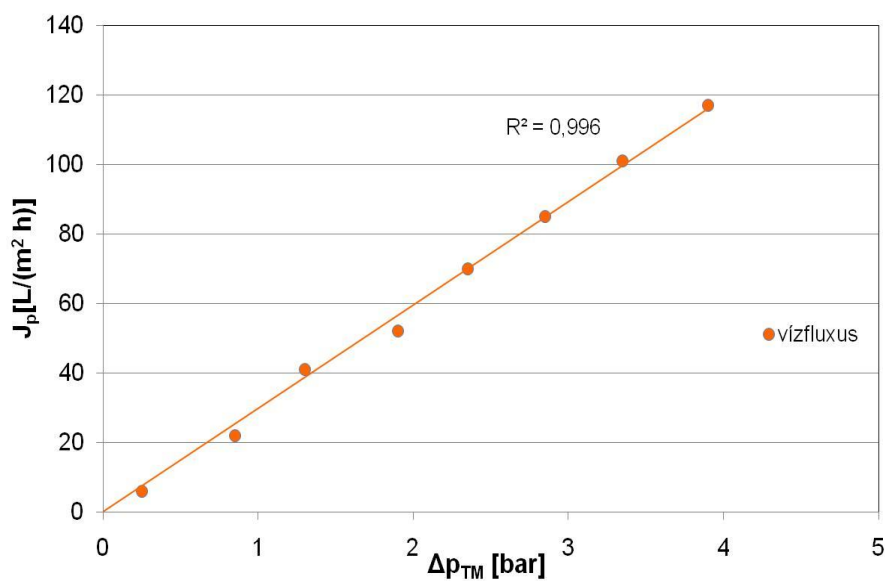
WARCZOK, J., FERRANDO, LÓPEZ, M. F. GÜELL, C. (2004): Concentration of apple and pear juices by nanofiltration at low pressures. *Journal of Food Engineering* 63 63-70. p.

WILLIAMS, R. C., BAKER, D. R., SCHMIT, J. A. (1973): Analysis of watersoluble vitamins by high-speed ion-exchange chromatography. *Journal of Chromatographic Science*, 11 618-624. p.

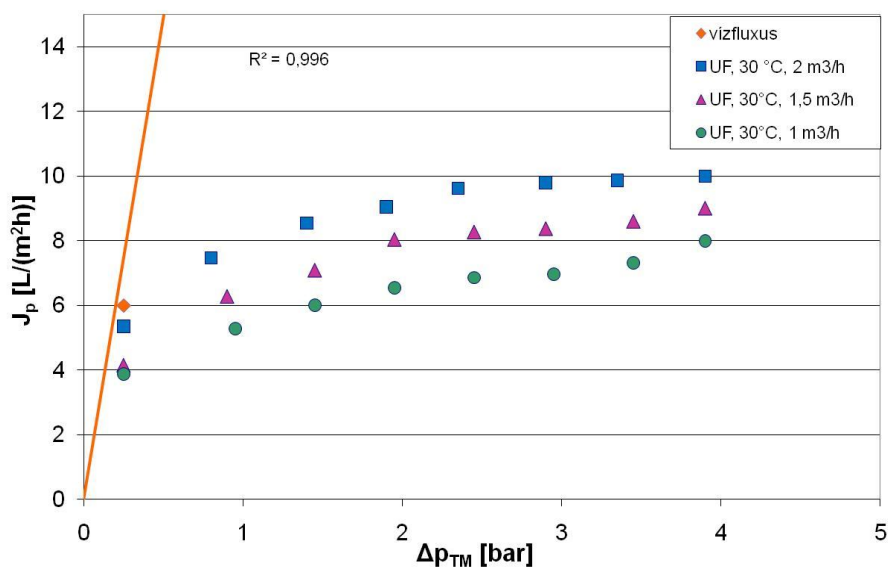
WOLD, A. B., ROSENFELD, H. J., HOLTE, K., BAUGERŘD, H., BLOMHOF, R., HAFNER, K. (2004): Colour of post-harvest ripened and vine ripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition. *International Journal of Food Science and Technology*, 39 295-302. p.

<http://www.dynalene.com/pdf/CalciumChloridHandbook.pdf>

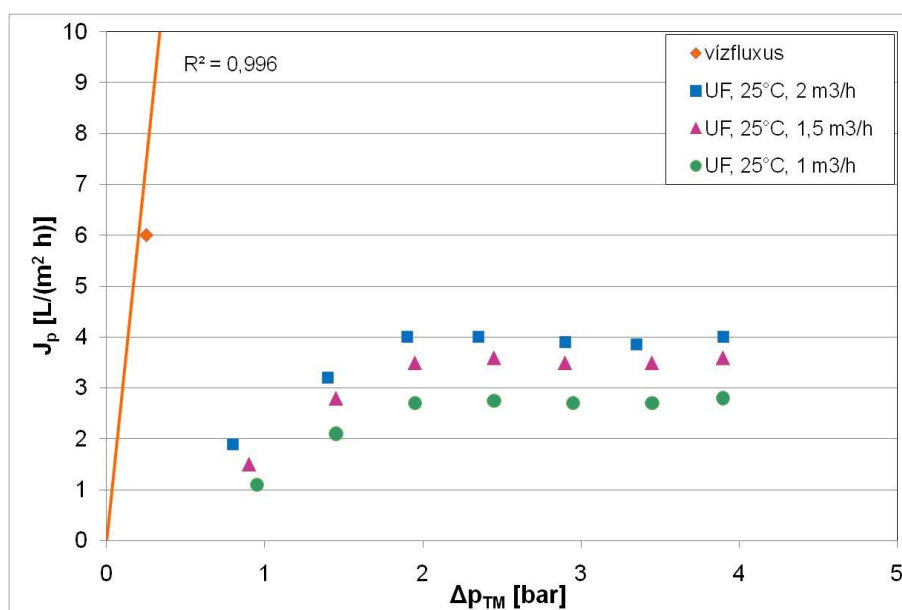
2. sz. Melléklet



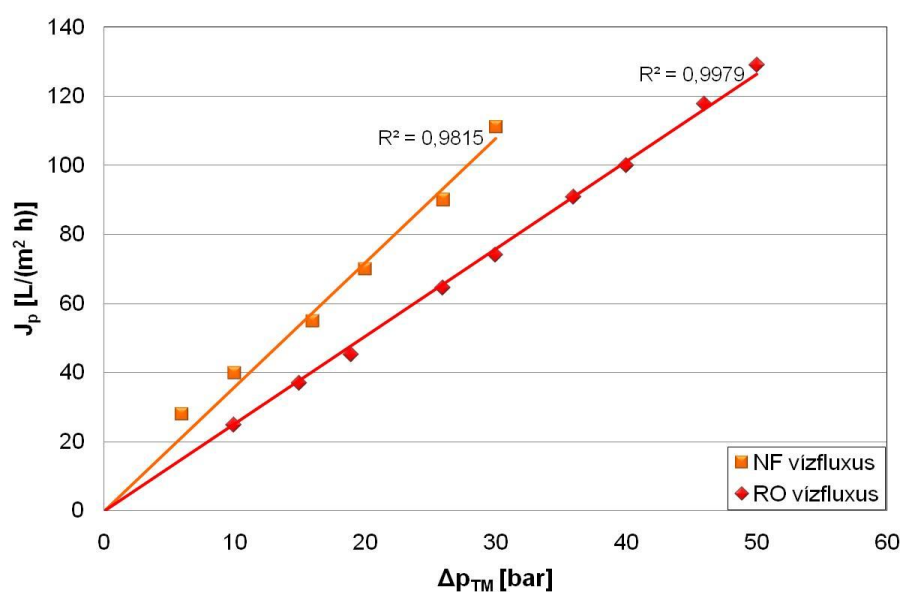
1. ábra: Vízfluxus alakulása a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében UF 37 03 I8 membránon ($Q_R=2\text{ m}^3/\text{h}$, 30°C)



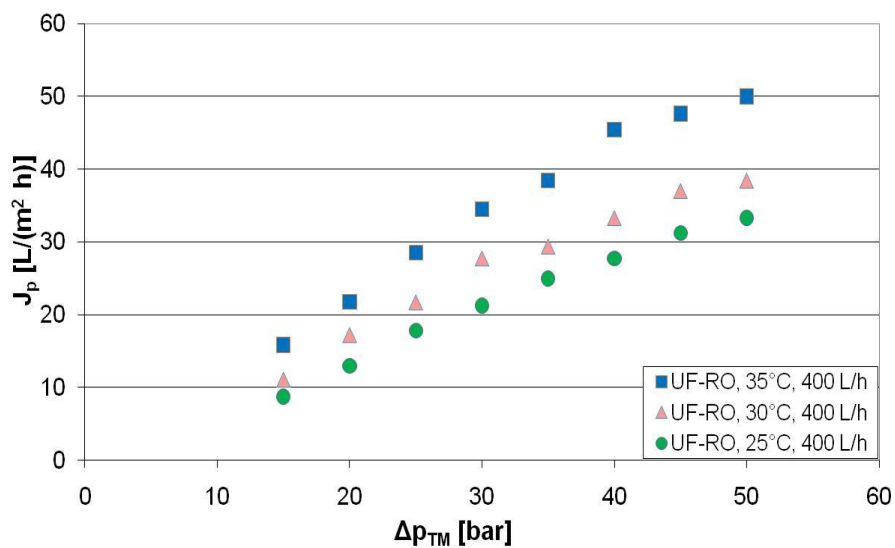
2. ábra: Kajsziabarack lé fluxusának változása állandó hőmérsékleten (30°C) különböző recirkulációs térfogatáram mellett a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében ultraszűrő membránon



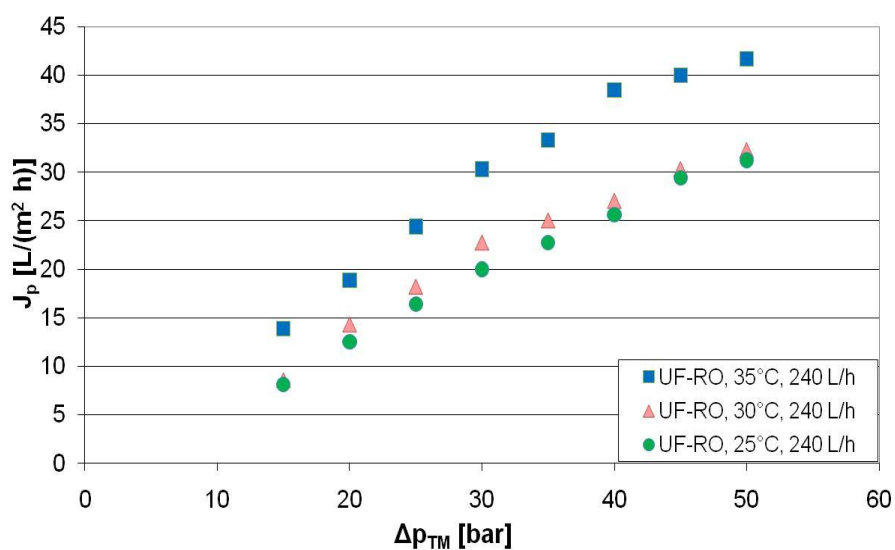
3. ábra: Kajsziarack lé fluxusának változása állandó 25°C hőmérsékleten különböző recirkulációs térfogatáram mellett a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében ultraszűrő membránon



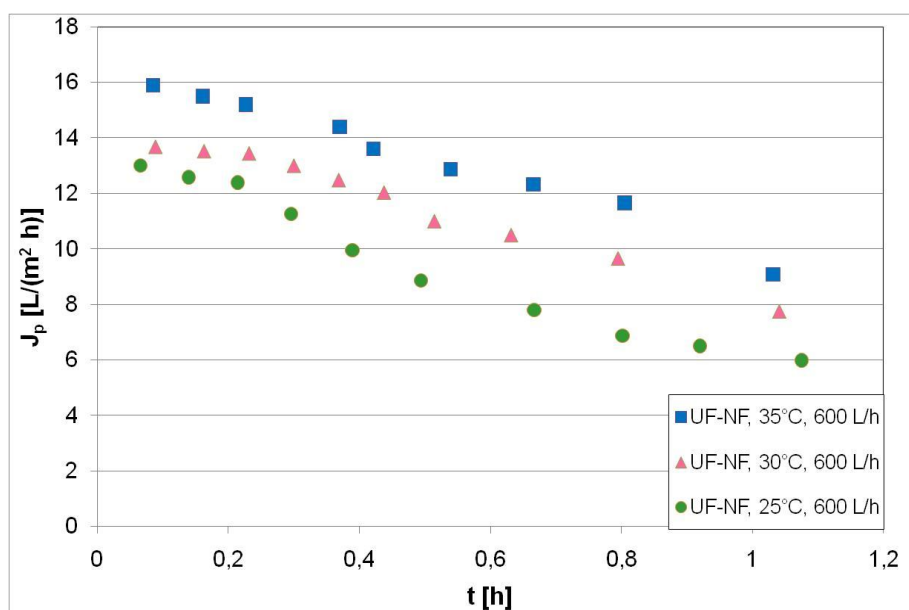
4. ábra: Nanoszűrés és fordított ozmózis vízfluxus értékei a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében ($Q_R=600 \text{ L/h}$, $T= 30^\circ\text{C}$)



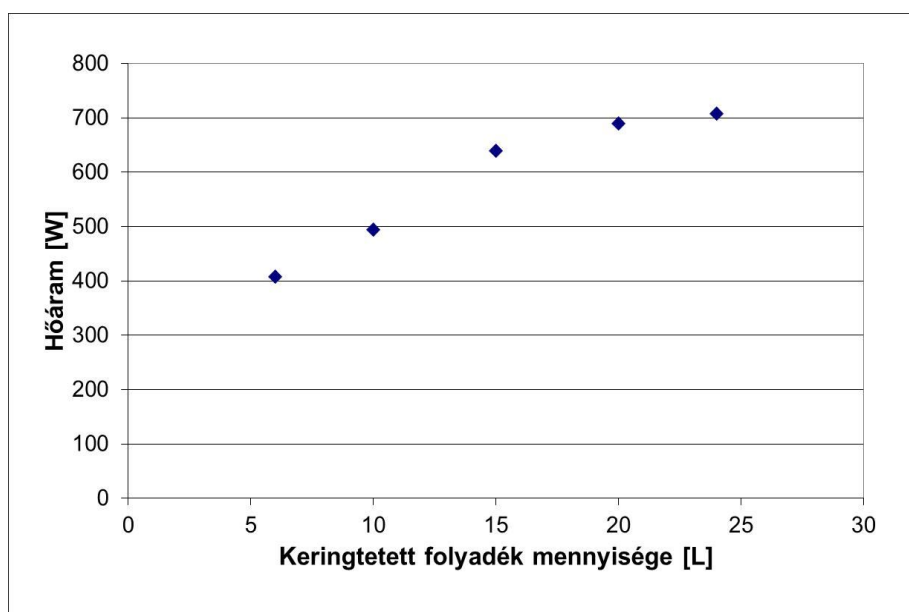
5. ábra: Az ultraszűrővel tükrösített lé előtöményítése fordított ozmózissal, állandó 400 L/h térfogatárammal, 25, 30, és 35°C-on



6. ábra: Az ultraszűrővel tükrösített lé előtöményítése fordított ozmózissal, állandó 240 L/h térfogatárammal, 25, 30, és 35°C-on



7. ábra: Az ultraszűrővel tükrösített lé előtöményítése nanoszűrőssel, állandó 600 L/h térfogatárammal, 25, 30, és 35°C-on



8. ábra: Az ultraszűrővel mért előkísérleteknél a tartályban keringtetett folyadék mennyiségi változásának hatása a hőáramra

3. sz. Melléklet

Az MF-RO-OD kapcsolás költségei

1. EXECUTIVE SUMMARY (2010 prices)

Total Capital Investment	1,389,000 \$
Production Rate	1,316,792.32 kg MP/yr
Unit Production Cost	3.02 \$/kg MP
Return On Investment	20.89 %
Payback Time	4.79 years
IRR (After Taxes)	11.80 %

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2010 prices)

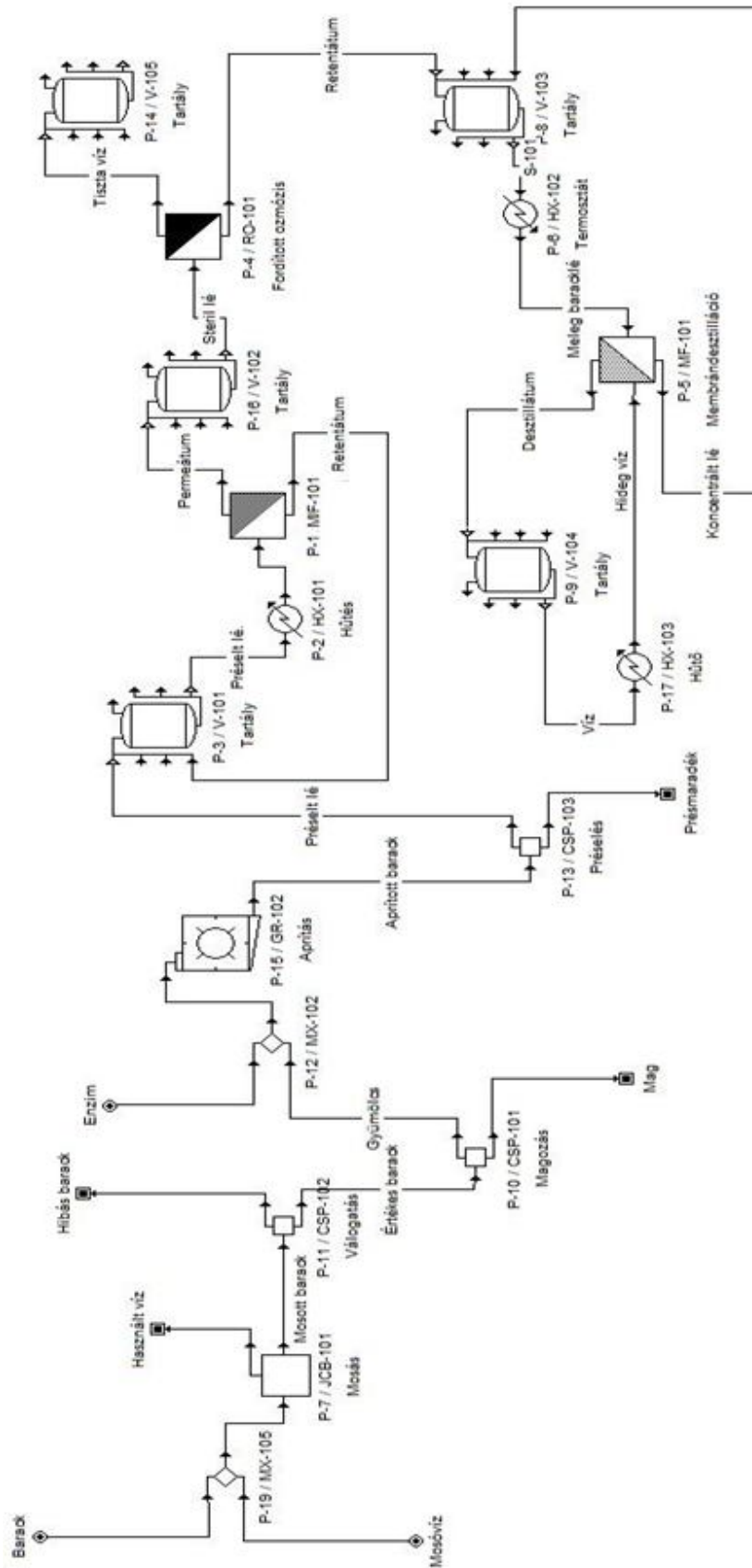
Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
9/0	V-101	Receiver Tank Vessel Volume = 1419.74 L	2,000	18,000
8/0	V-102	Receiver Tank Vessel Volume = 1435.47 L	2,000	16,000
3/0	V-103	Receiver Tank Vessel Volume = 425.33 L	1,000	3,000
1/0	HX-101	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 10.00 m2	1,000	1,000
1/0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 175.00 m2	1,000	1,000
1/0	RO-101	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 83.00 m2	2,000	2,000
6/0	V-106	Receiver Tank Vessel Volume = 462.96 L	1,000	6,000
1/0	MF-101	Microfilter (hydrophobic) Membrane Area = 200.00 m2	2,000	2,000
1/0	V-107	Receiver Tank Vessel Volume = 836.68 L	2,000	2,000
		Unlisted Equipment		11,000
			TOTAL	54,000

5. UTILITIES COST (2010 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Annual Amount	Reference Units	Annual Cost (\$)	%
Electricity	515,050	kWh	116,000	98.35
Steam	0	kg	0	0.00
Cooling Water	39,000	kg	1,950	1.65
Chilled Water	0	kg	0	0.00
TOTAL			117,950	100.00

4. sz. Melléklet

Az MF-RO-MD kapcsolás folyamatábrája SuperPro Designerrel



5. sz. Melléklet

Az MF-RO-MD kapcsolás költségei

1. EXECUTIVE SUMMARY (2010 prices)

Total Capital Investment	1,489,000 \$
Operating Cost	14,715,000 \$/yr
Processing Rate	1,315,454.51 kg MP/yr
Unit Processing Cost	5.06 \$/kg MP
Return On Investment	10.11 %
Payback Time	9.89 years
IRR (After Taxes)	1.48 %

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2010 prices)

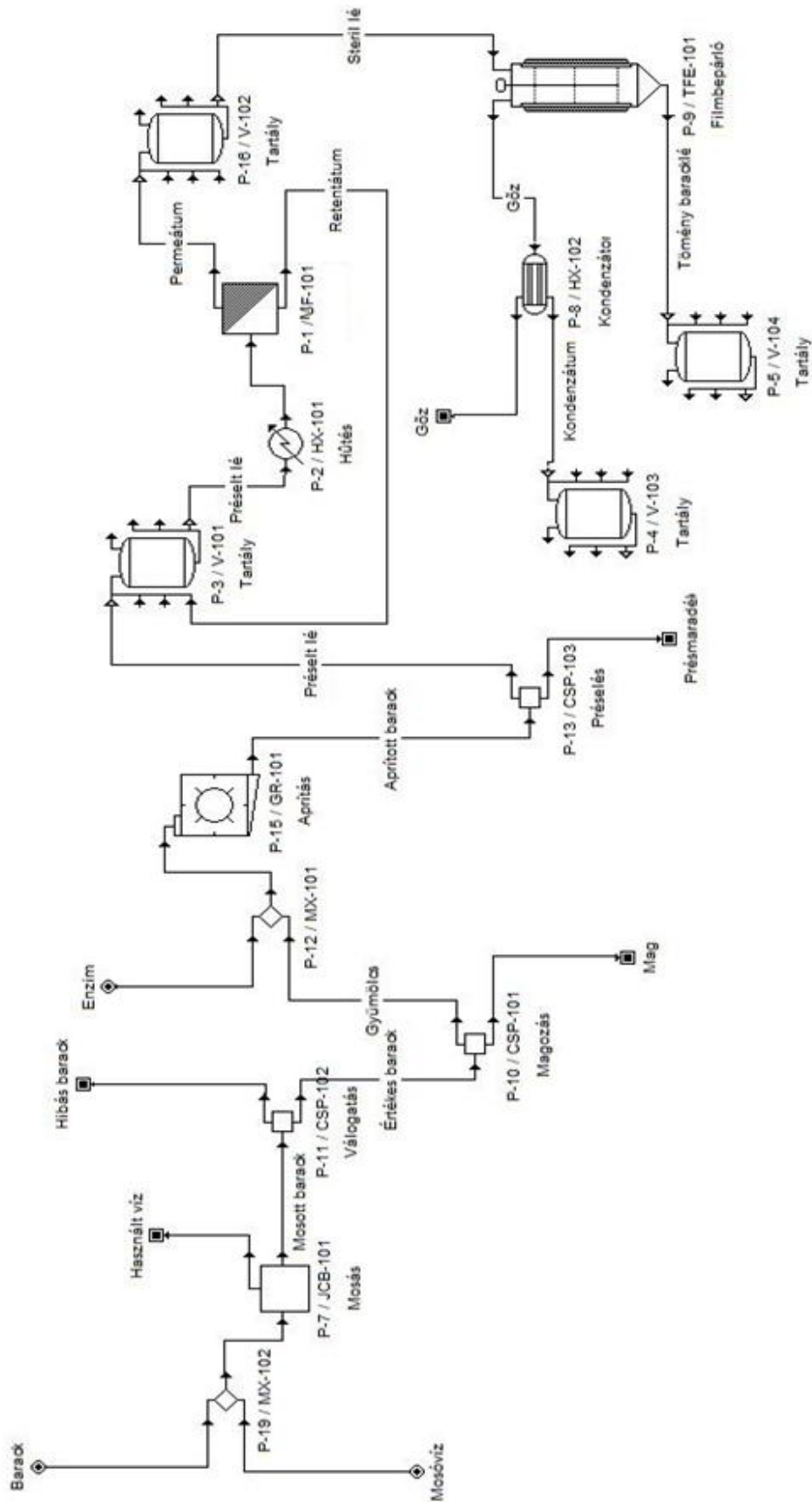
Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
7/0	V-101	Receiver Tank Vessel Volume = 1825.38 L	2,000	14,000
6/0	V-102	Receiver Tank Vessel Volume = 1701.29 L	2,000	12,000
2/0	V-103	Receiver Tank Vessel Volume = 1275.98 L	2,000	4,000
1/0	HX-101	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 10.00 m2	1,000	1,000
1/0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 175.00 m2	1,000	1,000
1/0	RO-101	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 83.00 m2	1,000	1,000
1/0	V-104	Receiver Tank Vessel Volume = 2789.37 L	3,000	3,000
1/0	MF-101	Microfilter (hydrophobic) Membrane Area = 750.00 m2	6,000	6,000
1/0	HX-102	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 10.00 m2	1,000	1,000
1/0	V-105	Receiver Tank Vessel Volume = 842.22 L	2,000	2,000
		Unlisted Equipment		11,000
		TOTAL		55,000

8. UTILITIES COST (2010 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Annual Amount	Reference Units	Annual Cost (\$)	%
Electricity	600,000	kWh	135,000	89.86
Steam	0	kg	0	0.00
Cooling Water	39,000	kg	1,950	1.29
Chilled Water	0	kg	0	0.00
Glycol	1,330,200	kg	13,300	8.85
TOTAL			150,250	100.00

6. sz. Melléklet

Az MF-Bepárlás folyamatábrája SuperPro Designerrel



7. sz. Melléklet

Az MF-Bepárlás költségei

1. EXECUTIVE SUMMARY (2010 prices)

Total Capital Investment	1,702,000 \$
Unit Processing Cost	8,03 \$/kg MP
Return On Investment	9.28 %
Payback Time	10,01 years

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2009 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
7/0	V-101	Receiver Tank Vessel Volume = 1825.38 L	2,000	14,000
6/0	V-102	Receiver Tank Vessel Volume = 1701.29 L	2,000	12,000
2/0	V-103	Receiver Tank Vessel Volume = 1275.98 L	2,000	4,000
1/0	HX-101	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 10.00 m2	1,000	1,000
1/0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 175.00 m2	1,000	1,000
1/0	V-105	Receiver Tank Vessel Volume = 138.62 L	2,000	2,000
1/0	HX-102	Condenser Condensation Area = 31.34 m2	5,000	5,000
1/0	TFE-101	Thin Film Evaporator Evaporation Area = 350.00 m2	6,000	6,000
1/0	V-106	Receiver Tank Vessel Volume = 984.80 L	2,000	2,000
		Unlisted Equipment		11,000
			TOTAL	58,000

8. UTILITIES COST (2010 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Annual Amount	Reference Units	Annual Cost (\$)	%
Electricity	846,500	kWh	190,500	60.30
Steam	608,300	kg	121,500	38.46
6Steam (High P)	0	kg	0	0.00
Cooling Water	78,000	kg	3,900	1.24
Chilled Water	0	kg	0	0
TOTAL			315,900	100.00

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, **Békássyné Dr. Molnár Erikának** dolgozatom elkészítésében nyújtott segítségét. Köszönöm, hogy mindvégig segítségemre volt, minden problémával fordulhattam hozzá.

Köszönöm tanszékvezetőmnek, **Dr. Vatai Gyulának**, hogy magas szintű szakmai tanácsaival és ötleteivel mindvégig segítségemre volt. Köszönöm, hogy kutatómunkámat anyagilag is támogatta és eredményeimet hazai és nemzetközi helyeken is bemutathattam.

Szeretném megköszönni az Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék dolgozóinak, köztük **Dr. Galambos Ildikónak, Dr. Bánvölgyi Szilviának, Dr. Román Andrásnak**, a volt és jelenlegi PhD hallgatónak valamint a külföldi hallgatónak, hogy gyakorlati segítségük és tanácsuk mellett megfelelő hangulatot biztosítottak a munkához valamint a Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszék tanszékvezetőjének **Dr. Balla Csabának, Polyákné Dr. Fehér Katalinnak** és dolgozóinak a kajszi-barack feldolgozás során nyújtott segítségüket.

Köszönöm azoknak a diákoknak, **Köbli Brigittának, Nagy Ádámnak, Tamási Annamáriának** a lelkiismeretes és kitartó munkáját, akik diploma-dolgozatuk készítése során segítségemre voltak.

Dolgozatom nem jöhetett volna létre a **Palus Kft**, a **Refco Kft**, a **PC.OS Stúdió Bt** és az **ESZAT Kft** szakemberei, illetve férjem **ifj. Fogarassy Károly** és apósom **Fogarassy Károly** segítségével nélkül, akik a hűtőrendszer tervezésében, kiépítésében és feldolgozás technológia megszervezésében és lebonyolításában közreműködtek ill. az iparban szerzett gyakorlati tapasztalataikat megosztották velem.

Köszönöm családomnak és barátaimnak, hogy mindvégig mellettem álltak, biztattak, és hittek benne, hogy be tudom fejezni a disszertációm.

SOLI DEO GLORIA