



Élelmiszertudományi Doktori Iskola
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

TEJSAVÓ ÉS SZŐLŐMUST FELDOLGOZÁSA
KOMPLEX MEMBRÁNTECHNIKAI ELJÁRÁSOKKAL

Rektor Attila

Doktori (PhD) értekezés

Budapest

2009

A doktori iskola

Megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Tudományága: Élelmiszertudományok

Vezetője: Dr. Fodor Péter
egyetemi tanár, DSc
BUDAPESTI CORVINUS EGYETEM, Élelmiszertudományi Kar,
Alkalmazott Kémia Tanszék

Témavezető: Dr. Vatai Gyula
egyetemi tanár, CSc
BUDAPESTI CORVINUS EGYETEM, Élelmiszertudományi Kar,
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanács 2009. június 9-i határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke

Biacs Péter, DSc

Tagjai

Kiss István, PhD

Baranyai László, PhD

Csanádi József, PhD

Rezessyné Szabó Judit, PhD

Opponensek

Koncz Kálmánné, PhD

Bélafiné Bakó Katalin, PhD

Titkár

Baranyai László, PhD

Tartalomjegyzék

Jelmagyarázat

1.	Bevezetés	9
2.	Irodalmi áttekintés.....	11
2.1	A tej.....	11
2.2	A sajt.....	13
2.2.1	A mozzarella sajt eredete	14
2.2.2	A mozzarella sajt gyártása	15
2.3	A savó	15
2.3.1	A savó összetétele	15
2.3.2	A savó feldolgozása és hasznosítása	16
2.4	A szőlőmust	17
2.4.1	A must kémiai összetétele.....	18
2.4.2	A must cukortartalmának növelése.....	20
2.4.3	A must tartósítása.....	20
2.5	Membránszétválasztó műveletek	21
2.5.1	Membránszűrés	23
2.5.2	Membránszűrési eljárások.....	24
2.5.3	A membránszűrés technikai elemei	26
2.5.4	Membránok csoportosítása	26
2.5.5	Ismertebb membránmodulok	27
2.6	Membránszűrési műveletek alkalmazása az élelmiszeriparban.....	28
2.7	Membránszétválasztó műveletek a tejiparban	29
2.7.1	Sajtkészítés savókeletkezés nélkül.....	30
2.7.2	A laktóz enzimes hidrolízise	30
2.8	Membránszétválasztó műveletek az üdítőital-iparban és a borászatban.....	31
2.8.1	Gyümölcslevek tükrösítésére membrántechnika alkalmazásával	31
2.8.2	Gyümölcslevek besűrítése membrántechnika alkalmazásával	32
3.	A megoldandó feladatok ismertetése	35
4.	Anyag és módszer	37
4.1	Vizsgált anyagok.....	37
4.1.1	Tejsavó	37

4.1.2	Mustminták	37
4.1.3	Egyéb anyagok	38
4.2	Kísérleti berendezések	38
4.2.1	A membránszűrő berendezések elvi felépítése, működése	38
4.2.2	A mikro- és ultraszűrő berendezés	39
4.2.3	A spiráltekercses nanoszűrő berendezés	40
4.2.4	A lapmembrános nanoszűrő és fordított ozmózis berendezés	41
4.2.5	A félüzemi RO berendezés	42
4.2.6	A membránesztillációs berendezés	42
4.3	Mérési eljárások	43
4.4	A berendezések tisztítása	44
4.5	A kapott minták összetételének vizsgálatai	45
4.5.1	Szárazanyag tartalom meghatározása	45
4.5.2	Fehérjetartalom meghatározása /KJELTEC berendezésen/	45
4.5.3	Zsírtartalom meghatározása /LINDNER szerint/	46
4.5.4	Laktóz- és cukortartalom meghatározása	46
4.5.5	Sótartalom meghatározása	47
4.6	Mikrobiológiai vizsgálatok	47
4.7	Érzékszervi minősítő vizsgálatok	49
4.8	Mérési jellemzők	50
4.9	Membrán bioreaktor	51
4.9.1	A tejsavó modell oldatok és az alkalmazott enzim	51
4.9.2	Membránszűrő berendezés	51
4.9.3	Analitikai eljárások	52
4.9.4	A membrán bioreaktor és működése	52
5.	Eredmények	55
5.1	A tejsavó és a must feldolgozási lehetőségei mikroszűréssel	55
5.1.1	A Mozzarella savó mikroszűrése	55
5.1.2	Mustok mikroszűrési vizsgálatai	57
5.1.3	A mikroszűrt savó mikrobiológiai vizsgálatai	59
5.1.4	A mikroszűrt szamorodni must mikrobiológiai vizsgálatai	63
5.1.5	A kékfrankos must érzékszervi vizsgálati eredményei	64
5.2	A Mozzarella savó ultraszűrése	65
5.3	A Mozzarella savó és must koncentrációja nanoszűréssel	67

5.3.1	Mozzarella savó nanoszűrése.....	67
5.3.2	Furmint must besűritése nanoszűréssel.....	70
5.4	Besűrités fordított ozmózissal.....	73
5.4.1	Mozzarella savó besűritése	73
5.4.2	Cukor oldatok és mustok besűritése fordított ozmózissal.....	74
5.5	Membrán bioreaktor.....	80
5.6	Mustok koncentrálnása membránesztillációval	83
5.7	Komplex eljárások kidolgozása	87
5.8	A nanoszűrés a fordított ozmózis modellezése mustoknál	89
5.9	Kisüzemi berendezés méretezése.....	98
5.10	Új tudományos eredmények.....	100
6.	Következtetések és javaslatok.....	105
6.1.	Következtetések	105
6.2.	Javaslatok.....	105
7.	Összefoglalás	107
Publikációs jegyzék		
Irodalomjegyzék		
Köszönetnyilvánítás		

Jelmagyarázat

A	A membrán aktív felülete	[m ²]
C _F	A kiindulási anyag koncentrációja	[g/L]
C _P	A szűrlet koncentrációja	[g/L]
C _R	A sűrítmény koncentrációja	[g/L]
Δp _{TM}	Transzmembrán nyomáskülönbség	[bar]
F	Sűrítési arány	[m ³ /m ³]
F'	A minta fehérje tartalma	[g/100 cm ³]
f _l	A 0,1 n kénsavoldat faktora	-
J	Fluxus, a membrán átteresztőképessége	[L/(m ² h)]
J _V	Az ionmentes víz fluxusa	[m ³ /(m ² s)]
m	A bemért minta tömege	[g]
Q _{rec}	Recirkulációs térfogatáram	[L/h, m ³ /s]
R	Visszatartás	[%]
R _Ö	Összes membrane ellenállás	[Pas/m]
R _M	A membrán ellenállása	[Pas/m]
t	Idő	[h]
T	Hőmérséklet	[°C, K]
Y _f	Termékkihozatal	-
V	Térfogat	[L, m ³ , cm ³]
V _V	A vakra fogyott 0,1 n kénsavoldat térfogata	[cm ³]
V _F	A betáplált elegy térfogata	[L]
V _R	A retentátum térfogata	[L]
ρ	Sűrűség	[kg/m ³]
η	Dinamikai viszkozitás	[Pas]
MF	Microfiltration – Mikroszűrés	-
UF	Ultrafiltration – Ultraszűrés	-
NF	Nanofiltration – Nanoszűrés	-
RO	Reverse osmosis – Fordított ozmózis	-
ED	Electro dialysis – Elektrodialízis	-
MR	Membrane reactor – Membrán reaktor	-
UV	Ultra violet radiation – Ultraibolya sugárzás	-
WPC	Savófehérje koncentrátum	-
WPI	Savófehérje izolátum	-

1. Bevezetés

Az egyre növekvő energiaárak és környezetvédelmi normák miatt mind nagyobb szerephez jutnak az élelmiszeriparban alkalmazott korszerű eljárások. Ilyen korszerű eljárás a membránszűrés, mely a tejiparban és üdítőiparban is alkalmazható. Ezek a korszerű membrántechnikai műveletek óriási lehetőségeket rejtenek az energia- és nyersanyag optimalizálás, a termékbiztonság javítása és az új, egészségesebb készítmények kialakítása terén.

Az éves savótermelést mintegy 80 millió tonnára becsülik, melyben 500 ezer tonna igen magas biológiai értékű fehérje van. A múltban a savót mellékterméknek tekintették vagy állati takarmánnyként használták fel. Mivel igen gazdag fehérjében, ásványi anyagokban és vitaminokban, újabban eljárásokat dolgoznak ki a savó emberi fogyasztásra történő alkalmassá tételére. Magas táplálkozási értékét csak századunkban ismerték fel, bár a 18-19. században a savóval történő gyógyítás mindennapos volt (HOFFMANN, 1961).

A membránszűrés előnyei és alkalmazási lehetőségei a tejsavónál:

Haszonnövekedés: A nyereség növelése oly módon, hogy a tejsavóból kinyert értékes összetevőket visszavezetjük a sajtgyártás vagy egyéb tejipari termékek előállítási folyamatába.

Termékbiztonság és minőség: Pasztörözést helyettesítő mikroszűrés a mikrobiológiai biztonság érdekében. A tejsavó állandó paramétereinek beállítása (zsírtalanítása).

Termék innováció: A termékek összetételének kedvező irányba történő megváltoztatása.

Jobb és/vagy újabb termékek kialakítása, ahol az elsődleges szempontok a tejsavó legértékesebb összetevőinek a tejsavó fehérjének, a laktóz tartalomnak feldolgozása, a magas fokú minőség megtartása mellett.

Kísérleteimet a SAPORI D'ITALIA KFT. Töki Sajtüzemében gyártott mozzarella sajt melléktermékeként keletkező savóval végeztem. A sajtüzem a membránszűrés bevezetésével megoldást találna a nagy mennyiségben keletkező savó továbbhasznosítására.

A szőlőtermesztés, a must- és borkészítés már több ezer éve ismert Földünk kedvező éghajlati adottságokkal rendelkező területein. A mindennapi életünkben mind a bor, mind a must, élettani hatása miatt egyre nagyobb szerepet játszik. A jó bor alapanyaga csakis kiváló minőségű szőlő és must lehet, ezt felismerve a borászok a must megfelelő kezelésére törekszenek. Az időjárási viszonyok nagymértékben befolyásolják a szőlőtermést, és így a must és a bor mennyiségét és minőségét. Gyengébb, kedvezőtlen évjáratok esetén a mustokat feljavítják, cukortartalmukat növelik, a színhibákat kiküszöbölik. Kiváló évjáratokban a must cukortartalma magas, de gyenge

évjáratokban ez több mustfokkal is alacsonyabb lehet az átlagosnál. Ilyenkor szükséges lehet a must cukortartalmának növelése.

A mustot azonban nemcsak a borászat hasznosítja, a szőlő leve kedvelt, kellemes ízű üdítőital és édesítőszer. Sajnos hosszabb ideig tartó tárolásra alkalmatlan, hiszen erjedése a környezeti paraméterektől függően néhány nap, de akár néhány óra alatt is beindul. A must eltarthatóságának meghosszabbítására számos eljárás ismeretes, legtöbbjük azonban kémiai tartósítószereket alkalmaz.

A mai fogyasztói igények és az egészséges táplálkozásra való törekvés megkívánják az értékesebb anyagokban gazdagabb, ízletesebb és kémiai adalékanyagoktól mentes élelmiszerek jelenlétét a piacon. Emiatt egyre inkább szükség mutatkozik új, kíméletesebb élelmiszeripari műveletek kifejlesztésére.

Must feldolgozási kísérleteimet kékfrankos, valamint furmint bor készítéséhez alkalmas mustokkal végeztem. Munkám célja egy olyan korszerű, komplex membránszűrési eljárások alapjainak a kidolgozása, amelyek a must kíméletes feldolgozására és tartósítására alkalmazhatók, továbbá a tejsavóból is értékes termékek állíthatók elő.

2. Irodalmi áttekintés

2.1 A tej

A tej az emlősállatok tejmirigyei által termelt, az újszülött táplálására szolgáló összetett biológiai folyadék, amely a szükséges tápanyag-komponenseket optimális mennyiségben és szerkezetben tartalmazza (CSAPÓ és KISS, 1998).

1. táblázat. A fontosabb kazein-és albumintejek átlagos összetétele (SZAKÁLY 2001 nyomán)

Megnevezés	Víz	Száraz- anyag	Zsír	Összes- fehérje	Kazein	Albumin Globulin	Tejcukor	Hamu
	tartalom, %							
Tehéntej	87,2	12,8	3,8	3,5	2,8	0,7	4,7	0,8
Juhtej	80,8	19,2	7,2	6,2	5,0	1,2	4,9	0,9
Kecsquetej	86,9	13,2	4,0	3,8	2,6	1,2	4,5	0,9
Bivalytej	81,0	19,0	7,9	5,8	5,3	0,5	4,5	0,8
Kancatej	90,2	9,8	0,6	2,1	1,4	0,7	6,7	0,4
Szamártej	90,9	9,1	1,2	1,5	1,0	0,5	6,0	0,4
Anyatej	87,8	12,2	4,0	1,6	0,9	0,9	6,3	0,3

A tej emulziós zsírfázisból, kolloidális fehérjefázisból és valódi oldatból strukturálisan felépülő összetett polidiszperz rendszer, amelynek diszperziós közege a víz. Az egyes fázisok egymással dinamikus egyensúlyban vannak (BALATONI, 1978).

2. táblázat. Egyes alkotórészek mérete a tejben (BALATONI 1978 nyomán)

Alkotórészek	Átmérő
Zsírgolyócskák	0,1-20 µm
Kazeinmicellák	5-100 nm
Albuminrészekék	5-15 nm
Tejcukor-molekulák	kb. 1 nm
Sók (ionos)	kb. 0,5 nm

A tej a zsírt emulziós fázisban tartalmazza, tehát a tej egy zsír-a-vízben emulzió, ahol a zsírrészekék mérettartománya 0,1-20 µm (átlagosan 3,5 µm). Tekintettel arra, hogy a zsír a vízzel nem elegyedik, a zsírgolyócskákat speciális összetételű burok (membrán) veszi körül, amely a két fázis közötti folyamatos átmenetet és ezzel az emulzió stabilitását biztosítja. A zsírgolyó-membrán

főleg amfoter tulajdonságú anyagokból (pl. lecitin, koleszterin, euglobulin) áll. A sovány tej nagy diszperzitásfokú fehérjéi, mint védőkolloidok ugyancsak részt vesznek az emulzió stabilizálásában.

A tej kolloidfehérje-fázisának fő alkotói a kazeinmicellák és a savófehérjék. A különböző kazein komponensek a környezeti paraméterektől függő mértékben egymással fiziko-kémiai kötésekkel vagy Ca-hidakon keresztül összekapcsolódnak és átlagosan 80-120 nm méretű, gömb alakú „porózus” szerkezetű micellákat alkotnak. Ezeknek a komponenseknek a fehérjemolekulák disszociálabilis csoportjai, ill. a kapcsolódó ionok révén elektromos töltésük van. A rendszer az azonos töltésű részecskék taszító hatása miatt rendkívül stabil, a micellák összekapcsolódása ily módon gátolt. A kazeinmicelláknál jóval kisebb, ún. szubmicellákat alkotnak a savófehérjék, amelyek mérete 5-15 nm. Nagy diszperzitásfokuk és erőteljes hidratációjuk következtében még az izoelektromos tartományban sem koagulálnak.

A tejben a tejcukor és a sók a vízzel valódi oldatot képeznek, amelyben a sók disszociált, ionos állapotban, a laktóz pedig molekuláris oldat formájában van jelen. Az oldott anyagok legfontosabb funkciója a teljes polidiszperz rendszer egyensúlyi állapotának, valamint optimális ozmózis nyomásának fenntartása, rendkívül összetett egyensúlyi folyamatok révén (SZAKÁLY, 2001).

Szabad szemmel kis (pl. 15-szörös) nagyításban a tej még egyneműnek látszó, de valójában inhomogenitásra utaló turbiditású folyadék. 150-szeres nagyításkor már láthatók az emulziós fázis 3-5 μm -nél nagyobb átmérőjű zsírgolyócskái.

A nagyítást 1500-szorosra növelve, az emulziós fázis teljes egészében látszik. A zsírgolyócskák átmérőjének eloszlása a következő:

- 0,6 μm alatt 30%
- 0,6-1,3 μm 21%
- 1,3-2,1 μm 20%
- 2,1-3,0 μm 13%
- 3,0-4,0 μm 10%
- 4,0 μm felett 6%
- Ilyen nagyítás mellett már látszanak a tejben lévő baktériumok is.

15.000-szeresre növelve a nagyítást, az emulziós fázis 1-2 kisebb zsírgolyócskája mellett láthatóvá válik a kolloid fázis legnagyobb méretű részei, a kazeinkomplex-micellák, amelyek méretmegoszlása a következő:

- 60 nm alatt 15%
- 60-80 nm 25%

- 80-100 nm 40%
- 100 nm felett 20%

50.000-szeres nagyítás mellett már észlelni lehet a kb. 20 nm átmérőjű tartományba eső kazein-szubmicellákat. Ilyen nagyítás mellett a savófehérjék és a tej valódi oldatfázisa még nem látható.

150.000-szeres nagyítás mellett már előtűnik a komplex kazeinmicellák szerkezete és a kazein-szubmicellákon túl a 3-6 nm átmérőjű globuláris savófehérjék is megjelennek. 500.000-szeresre növelve a nagyítást, a kép már kizárólag a kolloidrendszer legkisebb savófehérje fázisát mutatja és egy képmezőben mindössze egy kazein-szubmicella előfordulása valószínű (SZAKÁLY, 2001).

2.2 A sajt

A sajt tejnek, tejszínnek vagy ezek keverékének savanyítással vagy oltó hozzáadásával nyert alvadékból, savó elvonása útján előállított, fehérjében gazdag terméke, amely frissen vagy érlelés után fogyasztható. A Magyar Élelmiszerkönyv, ami megegyezik az Európai Unió szabályozással, a 3. táblázat szerint csoportosítja a sajtokat zsírtartalmuk alapján.

3. táblázat. Sajtok csoportosítása a zsírtartalom ismeretében (Magyar élelmiszerkönyv, 2004)

Zsír fokozat	Zsírtartalom a szárazanyagban (%) (m/m)
Zsírdús	legalább 60
Zsíros	45–60
Félzsíros	25–45
Zsírsegény	10–25
Sovány	Kevesebb, mint 10

A sajtgyártás tekintetében a franciák rendelkeznek a legnagyobb tapasztalattal, így a több évszázados múltjuk alapján a sajtokat más tulajdonságok (nedvességtartalom, tézta állomány, érlelés módja) szerint is szokás csoportosítani:

- Friss sajtok (pl. Mozzarella)
- Lágy sajtok (pl. Camembert)
- Préselt sajtok (pl. Gouda)
- Penészes tézstájú sajtok (pl. Roquefort)
- Kemény sajtok (pl. Emmenthal)
- Ömlesztett sajtok (pl. Medve sajt)



A friss sajtok oltós és savas alvadással készülnek. A lágy, préselt, penészes tésztájú és kemény sajtok oltós alvadással készült érlelt tejtermékek. Az ömlesztett sajtok készítésének célja kezdetben a külsőleg hibás kemény sajtok feldolgozása volt, de később ez történt a rosszul sikerült és nem tartós lágy sajtokkal is. A 4. táblázat egy általános sajtgártási anyagmérleget mutat be, ahol jól megfigyelhető a legfontosabb komponensek eloszlása a sajtgártás utáni végtermékben (sajt) és melléktermékben (savó).

4. táblázat. A sajtgártás anyagmérlege (BALATONI 1978 nyomán)

Tejalkotó rész	Megoszlás, kg		
	a sajttejben	a sajtban	a savóban
Zsír	2,86	2,51	0,35
Fehérje	3,50	2,59	0,91
Tejcukor	4,70	0,25	4,45
Hamu	0,80	0,15	0,65
Szárazanyag	11,86	5,50	6,36

Lyukacsosság szerint is besorolhatók a sajtok, így zárt tésztájú, röglyukas vagy röghézagos és erjedési lyukas sajtokat különböztetünk meg (BÍRÓ és társai, 1981).

2.2.1 A mozzarella sajt eredete

Az igazi mozzarellát régen bivalytejből nyerték, de Olaszország egyes régióiban még ma is üzemelnek olyan kisebb tejüzemek, amelyek bivalytej-mozzarellát állítanak elő. A legismertebb konzorcium (tejüzemek egyesülése) a Consorzio Mozzarella di Bufala Campana, ami a származási- és minőségi kritériumokat ellenőrzi. A legfontosabb irányelv



az, hogy ez a speciális sajt, kizárólag csak bivalytej felhasználásával készülhet. A bivaly-mozzarellát szülőhazájában nem hevítik fel olyan erősen, mint a tehéntejből készült mozzarellát. Ez egy összehasonlíthatatlan friss ízt, de egyben rövidebb eltarthatóságot is eredményez. A kisebb olasz tejüzemekben készült Mozzarella di bufala eltarthatósága a legtöbb esetben 4-5 nap.

Az óriási mértékben növekvő keresletet a rendelkezésre álló bivalytej mennyiség csak kis részben tudja kielégíteni. Ezen kívül a termék 80%-át közvetlenül a régióban értékesítik és fogyasztják, így csak kis része kerül külföldre.

2.2.2 A mozzarella sajt gyártása

A tej mindent átfogó minőségi vizsgálatokon esik át az üzembe való beszállítás után. A kifogástalan alapanyagot nagy, saválló tartályokban 35°C fölé melegítik. A meleg tejbe a citromsav mellett még egy csepp oltót is tesznek (bivalytejnél kizárólag állati oltót használnak fel). Az oltó hatására megalvad a tej és ezután már egyszerűen folytonos keveréssel szétválasztható a folyékony tejsavó a sajttörmeléktől. Majd következik az egyik legmeghatározóbb lépés, amit "filatálásnak" vagy a sajttészta húzásának neveznek. Ennél a lépésnél a masszát nagy kádakban forró vízzel keverik össze és ez által az anyag olyan nyúlós lesz, mint a süteménytészta. A kialakult folyadék sóval keverve, később a friss sajtot megőrző sóléként szolgál. Aztán következik az az eljárás, ami a mozzarella sajt nevét adta: a "Mozzare", lefordítva kb. a tészta "lefejtését" jelenti. Ennél az adagolásnál, ami a kisebb tejüzemekben még kézzel történik, az ipari feldolgozás során mára a fémdobok terjedtek el. A meleg masszát saválló acélból készült formákba préselik és a már kész formák, forgatás közben egy vízzel telt kádba esnek. Ott lehül a golyó és megkapja a végleges alakját és keménységét.

2.3 A savó

A savónak közel 3000 éves múltja van. Őseink a borjúgyomorban szállított tej alvadása során figyeltek fel egy természetes folyamatra, ami az alvadás volt. Később magát az enzimet is sikerült beazonosítani, ami ezért a természetes folyamatért volt felelős. Az alvadás során két terméket kaptak a túrót és a savót. Így alakult ki az, hogy a savó a sajtgyártás és a kazein gyártás mellékterméke (ZADOW, 1992).

Az éves savótermelést mintegy 170 millió tonnára becsülik (FAO, 2006), melyben több mint 1.000.000 tonna igen magas biológiai értékű fehérje van. A múltban a savót a környezetet szennyező mellékterméknek tekintették, manapság azonban egyre többen állati takarmányként használják fel. Mivel igen gazdag fehérjében, ásványi anyagokban és vitaminokban, újabb eljárásokat dolgoznak ki a savó emberi fogyasztásra történő alkalmassá tételére. Magas táplálkozási értékét csak századunkban ismerték fel, bár a 18-19. században a savóval történő gyógyítás mindennapos volt Svájcban, Ausztriában és Németországban. Csak a magas laktóztartalom miatt kell korlátozni a savópor felhasználását, bár több élelmiszerben, nagy arányban is alkalmazható (DÍAZ és társai, 2004; HOMONNAY és KONCZ, 2005).

2.3.1 A savó összetétele

A sajtelőállítás során sok tejalkotórész a savóban marad, és azt gazdagítja. A savó ezért viszonylag gazdag fehérjében, laktózban, ásványi anyagokban és vitaminokban. A tej és a savó átlagos összetételét az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat. A tej és a tejsavó átlagos összetétele (ZADOW 1994, CSAPÓ és KISS 1998 nyomán)

Alkotórész	Tartalom (% w/v)		
	Tej	Édes savó	Savanyú savó
Kazein fehérje	2,8	<0,1	<0,1
Savó fehérje	0,7	0,7	0,7
Zsír	3,7	0,1	0,1
Hamu	0,7	0,5	0,6
Laktóz	4,9	4,9	3,6
Tejsav	-	nyomokban	0,3-0,8 *
Szárazanyag tartalom	12,8	6,3	5,4

* A tejsav növekedésének arányában csökken a tejcukortartalom

2.3.2 A savó feldolgozása és hasznosítása

Régi felhasználási technológiák és módok.

A savót már a 17. és 18. században használták gyógyászati célokra. Svájci szanatóriumokból való leírások tesznek említést a savó ivókúra szerű használatáról és annak gyógyító tulajdonságairól (HOFFMANN, 1961; BOUNOUS és társai, 1991).

Régen a háztartásokban a savót kenyér dagasztásához és kelt tésztafélék készítéséhez használták. Kimelegítéssel kinyerték a savófehérjéket (orda, zsendice), és azt fogyasztották, vagy főzési célokra használták (TEUBNER és társai, 2005).

A savót legnagyobb mennyiségben takarmányozásra hasznosították, mivel kedvező étrendi hatásával elősegíti egyéb takarmányok jó értékesülését. Idősebb szüldőkkel és tenyészsertésekkel naponta állatonként 10 liter etethető. A nagyüzemi állattartás térhódításával azonban, a savó közvetlen felhasználása mindinkább visszaszorult (KETING, 1977).

Több, már régebben használatos élelmiszeripari vonatkozású felhasználása ismeretes a tejsavónak. Az egyik ilyen a savóvaj előállítása. Mivel a sajtsavóban és a hagyományos túrógyártás savójában jelentős mennyiségű (0,2-0,5 %) zsír van, a savót le kell fölözni. Az így nyert savószínből savóvaj köpülhető, amelyet az ömlesztett sajtok zsírtartalmának beállítására használnak fel (SPREER, 1998).

Az édes savó kiváló alapanyaga lehet a különböző fagylaltkészítményeknek. A magas laktóztartalmú savó adja meg a fagylaltnak azt a különleges édes íz hatást, ami annak egyik kedvező érzékszervi tulajdonságáért felelős. A savó kevésbé stabil mikrobiológiája miatt, nagy előny a fagylaltüzem számára a savóforrás közelsége (JELEN, 2003.).

A tejsavó sajtgyártásba való visszaforgatása egy elterjedt, a savót jól hasznosító technológia. Az ilyen módon készült savósajt egyik fontos művelete, a magas hőfokon -90°C feletti- való hevítés, valamint szerves savak adagolása (ecetsav, citromsav). Egyes esetekben a gyorsabb és stabilabb alvadékképződés érdekében tejet adagolnak a savóhoz, vagy ultraszűrővel betöményítik az alapanyagot a hőkezelés előtt (PINTADO és társai, 2001).

Új felhasználási technológiák és módok.

A tejsavó első, értékes komponense a laktóz. Az utóbbi évtized technológiai újításai hozzájárultak ahhoz, hogy a tejsavóból kivont laktóz az élelmiszeripar, a gyógyszeripar, valamint más ipari területek egyik nagyon fontos alapanyag forrása legyen (GAENZLE és társai, 2008).

Mivel a tejsavó fehérje az egyik legmagasabb biológiai értékkel rendelkező fehérjeforrás, és a tudományos közélet napról-napra megerősíti ezt a legújabb tanulmányokkal, ezért az utóbbi évek legdinamikusabb membrántechnikai kutatásai és fejlesztései történtek ennek az anyagnak a kinyerése céljából (ETZEL, 2004). A mikroszűrés és az ultraszűrés / diaszűrés kombinációjával olyan magas fehérje és alacsony zsírtartalmú koncentrátumot (WPC – 35-80% fehérje) lehet előállítani, amely a funkcionális élelmiszerek egyik alapanyaga lehet (KELLY és társai, 2000, SABOYA és MAUBOIS, 2000). A technológia és a membránok további fejlődése lehetővé tette, hogy a sűrítmény fehérje tartalma meghaladja a 80%-os koncentráció értéket és így a membrántechnikai szétválasztás során, az ún. savófehérje izolátumhoz jutottak (WPI – 85-90% fehérje) (CLARK, 2005).

További kutatások irányultak a tejsavó üzemanyag célú feldolgozására. Ilyen hasznos, a tejsavóból előállított energiahordozó végtermék lehet az etanol (KARGI és OZMIHCI, 2006; OZMIHCI és KARGI, 2008), a butanol (QURESHI és MADDIX, 2005) vagy a hidrogén (KAPDAN és KARGI, 2006).

GONZALEZ és munkatársai (2008) a laktóz tejsavvá történő fermentációjával adnak egy lehetőséget, a tejsavó magas laktóztartalmának újrahasznosítására.

2.4 A szőlőmust

A szőlő sajtolásakor nyert édes, zavaros folyadék a must. A fehér szőlőfajták mustjának színe zöldessárgától aransárgáig változik, a kék szőlőé enyhén vörhenyes lehet. A bogyókból nyert must mennyisége a szőlőfajtától, az érési állapottól, évszaktól, az esetleges rothadástól és a feldolgozás módjától függ.

A zúzott szőlőből magától vagy gyenge sajtolással lefolyó must a színmust. A nyomással kapott lé a sajtol must. A fellazított törkölyből utópréseléssel nyert folyadék az utósajtolás mustja. A mustnak általában 60%-a színmust, 30%-a sajtol must és 10%-a utósajtolású must.

2.4.1 A must kémiai összetétele

A must csaknem kizárólag a bogyóhús sejtnedvéből áll, emellett szilárd részeket és a héjból, valamint a magból kioldott részeket tartalmaz, sűrűsége főleg a cukortartalomtól függ.

A must különböző szerves és szervetlen molekuláknak és ionoknak valódi és kolloid vizes oldata, amely szuszpendált anyagokat is tartalmaz. A víz a must összes mennyiségének ált. 70-88%-a.

A must fontos jellemzője a cukortartalma. **Szénhidráttartalmának** túlnyomó részét a redukáló cukrok: a glükóz és a fruktóz adják.

a) monoszacharidok

- D (+)-glükóz (szacharóz, szőlőcukor) és D (-)- fruktóz (levulóz, gyümölcscukor): Az élesztő a glükózt és a fruktózt közvetlenül alkohollá és szén-dioxiddá erjeszti. Az érett szőlőből sajtol must glükóz- és fruktóz tartalma tág határok között változik.

b) diszacharidok

Szacharóz (nádcukor, répacukor): A szacharóz a szőlő leveleiben és zöld részeiben található, gyors felhasználásra szolgáló cukortartaléka a növénynek. A levéltől a gyümölcsig való vándorlása közben invertálódik.

A borászat szempontjából fontos még a must **szerves sav** tartalma. Ezek lényegében a borkősav, az almasav és a citromsav. Az egyéb szerves savak mennyisége gyakorlatilag jelentéktelen. A szerves savak molekulái a mustban részben szabad, részben pedig kötött vagy félig kötött állapotban vannak jelen. A must savanyú ízét a szabad és félig kötött savak okozzák.

A must nagyszámú **ásványi anyagot** tartalmaz. Ezek a talajból felvett oldott, éghetetlen szervetlen kationok és anionok. A mustban előforduló ásványi anyagok: P, S, K, Na, Ca, Mg, Si, Fe és a Mn.

A must számos fontos **nitrogéntartalmú anyagot** is tartalmaz. Ezek az anyagok részben szervetlen (ammónium-kation), részben szerves (aminosavak, fehérjék, polipeptidek, amidovegyületek) formában vannak jelen.

Borászati szempontból az egyik legfontosabb vegyületcsoport a **polifenolok**. Jelenlétük nagyon fontos (különösen a vörösborok esetében) a szükséges borjelleg kialakulásában. Másrészt

oxidációra való hajlamuk miatt a barnulással járó, és más különböző kiválások okozói. A must polifenolvegyületeit csoportosíthatjuk a borban észlelt tulajdonságaik alapján:

- flavonok,
- fenolsavak,
- antocianinok,
- tanninok.

Kémiai szempontból a következőképpen csoportosíthatjuk őket:

- nem flavonoid fenolok
- flavinoid fenolok
- tanninok

Bizonyítást nyert, hogy a szőlő fenolos vegyületei határozzák meg a színintenzitást és árnyalatot. Fontos szerepet játszanak a bor stabilitásában, tisztaságában. Továbbá ezek a vegyületek lehetnek az okozói a kellemetlen, összehúzó, fanyar ízérzetnek is. A borok fenol-összetétele elsősorban az alkalmazott borkészítési technológia függvénye.

A szőlő fenolos vegyületeinek jelentős élettani hatásuk van. Kutatások szerint e vegyületeknek szív- és érrendszeri betegségek elleni védőhatásuk van. Gyorsítják a koleszterin kiürülését a vérből, és stabilizálják az érfalak rugalmasságát, így megelőzve az érszűkület és a szívinfarktus kialakulását.

A mustban találhatóak **színezékek** is, ezek a szőlőből kerülnek a mustba. A szőlő zöld és sárga színezékei a klorofill, a karotin, a xantofill és a különböző flavonok és flavonszármazékok.

Érzékszervi szempontból nem elhanyagolható a mustok aromaanyagainak mennyisége és minősége. A must aromaanyagait keletkezésük alapján:

- primer
- prefermentatív
- fermentatív és
- érlelési aromákra oszthatjuk.

A mustra a primer és a prefermentatív aromák jellemzőek.

Az ún. illatos és nem illatos szőlőfajták között jelentős érzékszervi különbségek tapasztalhatóak. Az eltérés a terpénalkoholoknak tulajdonítható, amik az illatos szőlő mustjában nagy mennyiségben találhatóak.

a) primer aromák

- monohidroxi-terpénalkoholok
- oxidok
- di-és trihidroxi-terpénalkoholok

b) prefermentatív aromák

A szőlő feldolgozása során képződnek.

- C6-aldehidek és alkoholok
- terpén glükozidok

A növényi sejtekben képződnek **vitaminok**, így a szőlőben is, ami a mustba is bekerül. A must C-vitamint csak nyomokban vagy egyáltalán nem tartalmaz. Az egyéb vízoldható vitaminok közül tartalmazza a B-vitamin csoport több tagját, H- és PP-vitamint, pantoténsavat és folsavat is.

A mustban sokféle **enzim** is található, ezek lehetnek oxidázok, peroxidázok és katalázok, szacharáz, invertáz, proteázok, malát-dehidrogenáz, glikozidázok, észterázok. Az enzimek szerves katalizátorok, amelyek az élő sejtben képződnek, de hatásukat a sejten kívül is ki tudják fejteni. Biokatalizátoroknak is nevezik őket. Egyéb anyagok is előfordulnak a szőlő mustjában, ilyenek pl.:

Szorbit. A szőlő must csak csekély mértékben tartalmazza, ezért túl nagy mennyisége arra utal, hogy a szőlőmusthoz más gyümölcsök levét keverték.

Inozit. Optikailag inaktív alakja az élesztők növekedéséhez nélkülözhetetlen.

2.4.2 A must cukortartalmának növelése

Kedvezőtlen évjárat esetén előfordulhat, hogy a mustokat javítani kell annak érdekében, hogy megfelelő minőségű borokat tudjanak előállítani. A must javítását a fogyasztók egyenletes minőségre irányuló igénye is indokolja. A must javításán az összetételi hiányosságainak megszüntetését értjük, ami általában a cukortartalom növelését jelenti. A jelenleg érvényben lévő bortörvény must vagy szőlőcefre természetes eredetű cukortartalmának kiegészítésére sűrített must, töményített must, répa- vagy nádcukor hozzáadását engedélyezi, ha a természetes eredetű cukortartalom nem haladja meg a 19 tömegszázalékot. A mustjavítást erjedésmentes állapotban végzik.

2.4.3 A must tartósítása

A mustok tartósításán azok erjedésmentes állapotának megteremtését és fenntartását értjük. Mustot elsősorban borászati nagyüzemek tartósítanak édes borok készítése céljából. A mustok fizikai és kémiai úton is tartósíthatók.

Kémiai tartósítási módszerek

Kénessavas tartósítás: Az eljárás lényege, hogy az előtisztított mustot 1000-1500 mg/l kénessavval erjedésmentesen tároljuk, és felhasználás előtt a kénessavat eltávolítjuk a rendszerből.

A sűrítendő mustot is szükséges a sűrítésig kénessavval tartósítani.

Szeszezett must (misztella): A misztella legalább 14,2 magyar mustfokos musterjedésben vagy továbberjedésében magas fokú borpárlat hozzáadásával megakadályozott termék. A misztella használata csak likőrborokhoz engedélyezett. A misztella alkoholtartalma legfeljebb 22,5 v/v%-os lehet (EPERJESI és társai, 1998).

Fizikai tartósítási módszerek

Hőkezelés: A mustot gyors hevítéssel 80-87°C-ra melegítik, és két percen keresztül ezen a hőfokon tartják, majd azonnal visszahűtik 20°C körüli hőmérsékletre. A mustok hőkezelése során figyelni kell arra, hogy a hőkezelt must ne fertőződjön vissza. A művelet végrehajtására a lemezes hőcserélők a legalkalmasabbak. A pasztörözött, majd visszahűtött mustot steril körülmények között acéltartályba fejtik, majd légmentesen lezárják. Az utófertőzés megakadályozására a kitároláskor a levegőztető nyílást 0,2 mm pórusméretű szűrőmembránnal látják el.

Hőelvonás: Elvi alapja, hogy a mikroorganizmusok életjelenségei alacsony hőmérsékleten megszűnnek. Hatása csak addig érvényesül, ameddig a mustot megfelelő hőmérsékleten tartják. Csíraszegény, derített, szűrt mustok 0-2°C-on néhány hétig eltarthatók. A hőelvonás és a vízelvonás kombinációja a kriokoncentráció. Ennél a műveletnél sűrítés is végbemegy. A módszer nagy hátránya a magas költségében rejlik, így csak kivételes esetekben használják.

Szén-dioxidnyomás alatti tárolás: A megtisztított, legfeljebb 250 mg/l kénessavtartalmú mustot 7-8 bar szén-dioxidnyomáson, legfeljebb 15°C-on, 15 g/l szén-dioxid tartalommal, acéltartályban tárolják.

Membránszűrés: A musttartósítás legkorszerűbb módszere. A 0,2-0,8 µm áteresztőképességű membránok visszatartják az élesztőket és a baktériumokat. Az így tartósított mustot aszeptikus körülmények között tárolják.

2.5 Membránszétválasztó műveletek

A 18. században fedezték fel, hogy oldatok nagyobb molekulái kisebb molekuláktól membránszűréssel elkülöníthetők. Az első ilyen irányú megfigyelést egy bizonyos Nollet Abbé nevezetű francia szerzetes tette, aki 1748-ban megfigyelte, hogy ha a sertés húgyhólyagjában tárolt bort vízbe helyezik, akkor a borba víz kerül. Kezdetben a diffúzió, az ozmózis és a dialízis

tanulmányozásához természetes eredetű hártyákat (tehenek pericardiumát, halak úszóhólyagját, békák bőrét, hagyma hártyáját) használtak.

Az első sikeres mesterséges membrán előállításához Schoenbein adta meg a kezdő lépést, akinek 1846-ban „véletlenül” sikerült nitrocellulózt szintetizálnia és ebből készítette el Fick (1855-ben) az első mesterséges membránt.

A kereskedelmi gyártás alapjait megteremtő szabadalmi bejelentés 1918-ban, a magyar származású kémiai Nobel-díjas, Zsigmondy Richárd nevéhez fűződik. A membránok, a membrántechnika fejlődésének felgyorsulása a II. világháborút követő hidegháborús időszakban történt, a bakteriológiai fegyverek kifejlesztésével párhuzamosan (FONYÓ és FÁBRY, 1998).

A membránszűrés sikeres ipari alkalmazása az 1960-as években kezdődött meg, amikor LOEB és SOURIRAJAN (USA) cellulózacetát membránokkal és fordított ozmózis alkalmazásával tengervíz sótalanítására alkalmas berendezést fejlesztett ki. Röviddel ezután kidolgozták az aszimmetrikus ultraszűrő membránok előállítási módszerét, amelyek kapacitása a régebben használt membránokénak többszöröse volt. Ezzel megalapozták a membránszeparáció széles körű felhasználását.

A tejipari technológiákban a membránszűrés alkalmazása röviddel ezután kezdődött meg. 1972-ben, három üzemben állítottak elő ultraszűréssel savófehérje koncentrátumokat. A membránszűrés térhódítása az 1980-as évek kezdetén a mikroszűrés, majd 1985 körül a nanoszűrés alkalmazásával folytatódott.

Magyarországon az első ultraszűrő berendezést az 1970-es évek elején joghurt gyártásához használták. Az első ultraszűrő üzemet 1978-ban létesítették krémfehérsajt (Feta) előállítására. Ezt követően tejfehérje-koncentrátumok, tejfehérje-izolátumok, savófehérje-sűrítmények és nagy zsírtartalmú krémsajtok üzemi gyártása valósult meg (NOVÁK, 2001).

A membránszétválasztási műveletek a szelektív permeabilitás elvén működnek. A művelet lényegét jelentő membrán egy olyan válaszfal, amely lehetővé teszi az anyagok szétválasztását. Ez a folyamat többnyire kémiai átalakulás nélkül megy végbe. A membránoknak azt a tulajdonságát, hogy a különböző anyagokat különböző mértékben engedik át, permszelektivitásnak nevezzük.

A szűrési folyamat eredményeként a különböző méretű alkotórészekből a membrán pórusméretétől függően, két eltérő összetételű és jellemzőjű folyadékáram: permeátum és retentátum keletkezik. A permeátum az oldószert és a membrán pórusain áthaladó komponenseket, a retentátum a nagyobb méretű összetevőket tartalmazza. Az általános hajtóerő a komponensek kémiai potenciálkülönbsége a membránon keresztül. Attól függően, hogy melyik változó játsza a meghatározó szerepet a kémiai potenciálkülönbség létrehozásában, beszélhetünk nyomás-,

koncentráció-, elektrokémiai potenciál- és hőmérséklet-különbség által létrehozott membránszeptációs műveletről (SCOTT, 1995).

A membránszeptválasztási műveletek az alábbiak szerint csoportosíthatók:

A **szűrési műveletek** nyomáskülönbségen alapulnak. Ebbe a kategóriába tartozik a mikro-, ultra-, nanoszűrés és a fordított ozmózis.

Az **anyagátadási műveletek** nemporózus membránszeptválasztási eljárások. Ide soroljuk a pervaporációt, a gőzpermeációt és a gázpermeációt.

2.5.1 Membránszűrés

Ide tartoznak azok a membránszeptválasztási műveletek, ahol a membrán egy porózus réteg és a szeptválasztás eredménye a komponensek nagyságától függ. A szeptválasztási energiát a membrán előtt és a membrán mögött fennálló nyomáskülönbség szolgáltatja (CHERYAN, 1998).

Az elválasztási tartományok átfedik egymást, ami arra enged következtetni (FONYÓ és FÁBRY, 1998), hogy nem csak egy egyszerű mechanikus szitahatás érvényesül, hanem más mechanizmusok jelenléte is szerepet játszik. Ezen más mechanizmusok feltételezése annál is inkább reális, hiszen a 10^{-4} μm már a molekulák mérettartományát jelenti.

A membránszűrés előnyei és hátrányai:

Előnyök

- Fázisátmenet nélküli elválasztás
- Erős hőhatást nem igényel
- Alacsony energia felhasználás
- A termelés során keletkező magas víztartalom visszanyerése
- A műveletek adalékanyagot nem igényelnek
- Kevesebb szennyvíztisztítási ráfordítás
- Relatív kis helyigény
- Jó minőségű, tiszta végtermék érhető el

Hátrányok és problémák

- Korlátozott membrán élettartam
- A vegyszerek és a pH változás hatással vannak a membrán tulajdonságaira
- Eltömődési és rétegeképződési jelenségek lépnek fel a membránnál
- Az üzemi nyomás korlátozott terjedelmű

- Termékbiztonsági okokból kifolyólag, a műveletek engedélyeztetésére van szükség
 - Az új technológia miatti magasabb beruházási költségek
- (KÜMMEL és ROBERT, 2000)

A Membránszűrési tartományok:

MF-Mikroszűrés: Átmenetnek tekinthetjük a klasszikus és a membránszűrési módszerek között. Ennél a műveletnél mechanikai elválasztás történik, szitahatás érvényesül. Az alkalmazott membrán pórusmérete kb. 0,1-10 μm . Ebben a tartományban a membrán csak a nem oldott állapotban lévő részecskéket tartja vissza (kolloidok, baktériumok, gombák). A hajtóerő a nyomáskülönbség.

UF-Ultraszűrés: Az ultraszűrő membrán pórusmérete kb. 10-100 nm közötti érték, amelyen csak a vízmolekulák, sók és kisebb méretű molekulák haladnak át. Ultraszűréssel az olyan makromolekulákat szűrhetjük ki az oldatokból, amelyeknek a molekulatömege 1-1000 kDa között van, attól függően, hogy milyen alakú molekulákról (gömb, lánc, kereszt) van szó. A szűrésnél alkalmazott nyomáskülönbség 3-8 bar.

NF-Nanoszűrés: Az alkalmazott membrán pórusmérete kb. 1-10 nm mérettartomány közé esik. A nanoszűrő membrán általában a 100-500 Da tömegű molekulákat tartja vissza (cukor, két vegyértékű fémek sói) és csak a víz és egyes oldott ionok jutnak át a membránon. A nanoszűrésnél alkalmazott nyomáskülönbség 10-30 bar.

Az ultraszűrés és a nanoszűrés olyan anyagátadási műveletek, amelyeket az alkalmazott nyomás mellett befolyásolhatnak az anyagátadás sebességét meghatározó paraméterek (fluidum anyagi tulajdonságai: sűrűség, dinamikai viszkozitás, komponensátadási tényező és diffúziós együttható, ill. a műveleti jellemzők: sebesség és karakterisztikus hosszúság) (FONYÓ és FÁBRY, 1998).

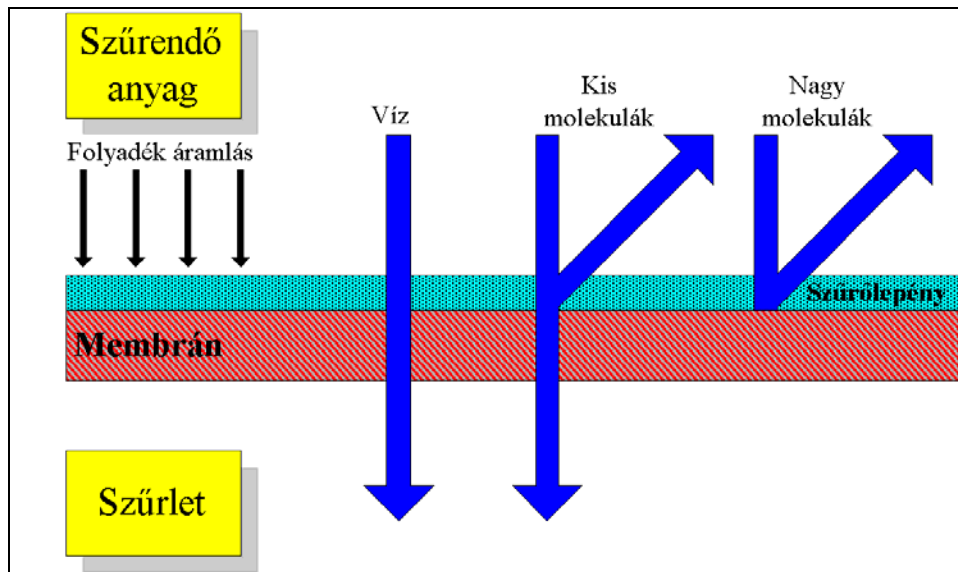
RO-Fordított ozmózis: Olyan anyagátadási műveletnek tekinthető, melyben a diffúzió, a kémiai potenciálkülönbség, az elektrosztatikus kölcsönhatások játsszák a meghatározó szerepet. A membránok pórusmérete 0,1-1 nm között van, amivel a konyhasó és ahhoz hasonló méretű molekulák, ionok szűrhetők ki nagy hatásfokkal. Az alkalmazott nyomáskülönbség 10-60 bar (MULDER, 1996).

2.5.2 Membránszűrési eljárások

A membránszűrést általában kétféleképpen lehet végezni. Ez alapján két eljárást különböztetünk meg (RAUTENBACH, 1997):

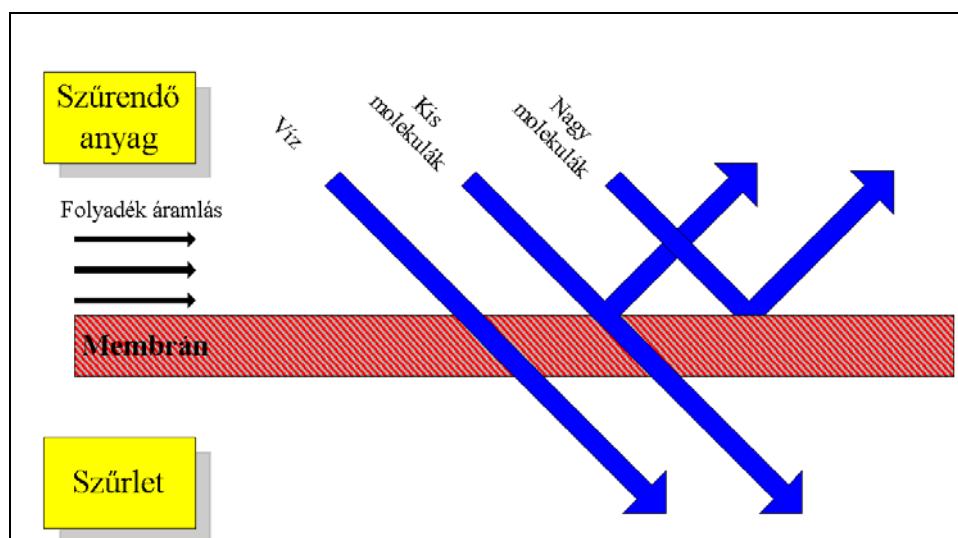
Hagyományos (dead-end): Ha a kiszűrendő komponensek koncentrációja alacsony (0.1%-nál kisebb), akkor a szűrést úgy szokásos végezni, hogy a szűrendő folyadékáramot merőlegesen

rávezetjük a szűrőmembránra, megfelelő nyomást biztosítva a folyadékfázis áthaladásához. A membrán felületén a kiszűrt anyagok szűrőleplenyt alkotnak (1. ábra).



1. ábra. A hagyományos (dead-end) eljárás

Keresztáramú (cross-flow): A membrántechnikában a legelterjedtebb eljárás. A szűrendő folyadékelegyet nagy áramlási sebességgel tangenciálisan áramoltatjuk a membrán előtt, miközben a nyomáskülönbség következtében a folyadék egy része áthatol a membrán pórusain (permeátum), az elegy főárama pedig magával hordozva a részecskéket és oldott molekulákat, továbbhalad (retentátum).



2. ábra. Keresztáramú (cross-flow) eljárás

A membrán által visszatartott komponensek a retentátumban feldúsulnak. Ennél a szűrési eljárásnál nem képződik szűrőlepeny, a membrán felülete tiszta marad és a retentátum koncentrációjának növekedése során sem csökken lényegesen a szűrletteljesítmény (2. ábra).

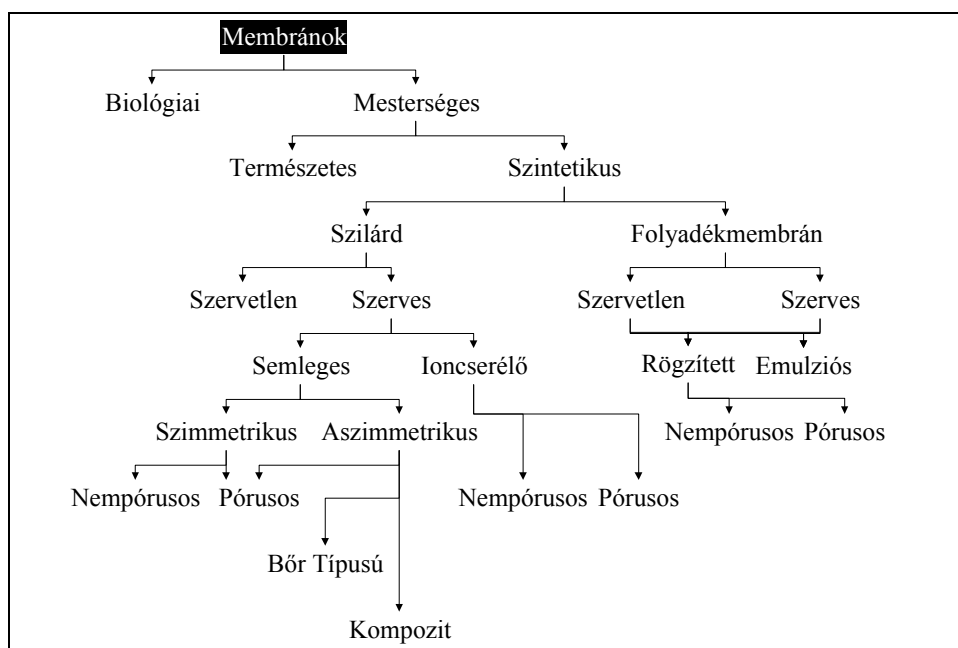
2.5.3 A membránszűrés technikai elemei

Manapság már szinte az ipar minden területén elterjedt a membránszeparációs műveletek alkalmazása. Egyre több olyan cég jelenik meg a piacon, amelyek membránokat, membrán modulokat, egyes esetekben komplett berendezéseket kínálnak a végső felhasználóknak. A membránszeparációs gépek fejlesztése és gyártása területén az USA, Németország és Franciaország számít élenjárónak. Sajnos Magyarország nem áll ilyen jó helyen, ezért a membránok, berendezések nagy részét külföldről vagyunk kénytelenek beszerezni. Hazánkban, a membránszeparációs technológiák rohamos ipari elterjedésével (pl. szennyvíztisztítás), azonban egyre több magyar cég (Hidrofilt, CWG, stb.) is felveszi a harcot külföldi konkurenszével.



2.5.4 Membránok csoportosítása

A biológiai és mesterségesen előállított membránok csoportosítása sokféleképpen, sok szempont szerint történhet. A 3. ábra a membránok egyik lehetséges csoportosítását mutatja be. (FONYÓ és FÁBRY, 1998)



3. ábra. Membránok csoportosítása

2.5.5 Ismertebb membránmodulok

Lapmembrán modulok: A méretre és formára szabott membránlapokat porózus lapok és távtartók választják el egymástól. A membránmodulok előnye az, hogy könnyen változtatható a felületük, könnyen szétszedhetők, tisztíthatók, olcsóbbak a többi modulhoz viszonyítva és mind a dead-end, mind a cross-flow szűrésre alkalmasak. Hátrányuk, hogy a membránok eltömődésre hajlamosak és a többi modul közül, nekik legkisebb az egységnyi térfogatba beépíthető felületük.

Spiráltekercses modulok: Ez a lapmembránok olyan elrendezési variációja, amelynél a sík membránokat és a közéjük helyezett távtartó és szűrletelvezető rétegeket perforált cső köré tekerik fel. A szűrendő anyagot a tekercs egyik végén táplálják be, a sűrítmény a tekercs másik végén, a szűrlet a perforált csövön távozik. Mivel a spiráltekercs modul relatíve nagy keresztáramú áramlási sebesség kialakulását teszi lehetővé, így a membránok eltömődési hajlama közepes.

Csőmembrán modulok: A membránokat 12-20 mm átmérőjű hordozó csövekben helyezik el. Előnyük, a létrehozható nagy turbulens áramlás, ezáltal viszkózus folyadékok szűrésénél és lebegő részecskéket tartalmazó elegyeknél is jól alkalmazhatók. Hátrányuk, a kisebb fajlagos szűrőfelület és a nagy helyigény.

Üregesszálas modulok: 250-10000 db, egyenként 0.8-1.5 mm átmérőjű szál alkot egy modult, a szálmembránok falvastagsága 120-180 µm közötti, a membrán mechanikai stabilitását a csőfal struktúrája adja. Ezek az alkalmazások egyesítik a spiráltekercs- és a csőmodul előnyeit (STRATHMANN, 1989).

GASPER (1990) munkája során, a következő összehasonlító táblázatot (6. táblázat) állította össze a membránszűrési modulok tulajdonságai alapján:

6. táblázat. Membránszűrési modulok és azok tulajdonságai (GASPER, 1990)

Tulajdonságok	Modulfajták					
	Gyertya	Lap	Spiráltekercs	Cső	Üregesszál	Kapilláris
Membrán fajlagos felület [m ² /m ³]	200-400	100-500	800-1000	20-80	600-1500	4000-15000
Mechanikai tisztítás lehetséges?	nem	nem	nem	igen	nem	nem
Költségek	közepes	magas	alacsony	nagyon magas	alacsony	nagyon alacsony
Áramlás	statikus	lamináris	lamináris	turbulens vagy lamináris	lamináris	lamináris
Membráncsere lehetséges?	nem	igen	nem	igen	nem	nem
Nyomásra való érzékenysége	csekély	csekély	csekély	közepes	magas	nagyon magas
Élettartama	rövid	rövid	közepes	hosszú	közepes	nagyon rövid

2.6 Membránszűrési műveletek alkalmazása az élelmiszeriparban

A membránszűrési műveletek óriási lehetőséget nyújtanak az élelmiszeripar számára. A különböző membránszűrési műveletek alkalmazásával minőségileg javítható az élelmiszeripari termékek előállítása, továbbá nagymértékben csökkenthetők az energiaköltségek. Az élelmiszeripar az alábbi feldolgozási eljárásoknál alkalmazza a membránszűrési műveleteket (KÜMMEL és ROBERT, 2000):

Cukoripar

- Sterilizáció (MF)
- Nyers lé derítése (UF)
- Víz újrafelhasználása (RO)
- Tisztítás (MF, UF)

Gyümölcslé gyártás

- Szilárd anyag eltávolítása (UF)
- Nyersanyag besűrités (NF, RO)
- Aroma- és íz anyagok betöményítése (NF, RO)
- Szennyvíz kezelés (UF, RO)

Tejipar

- Csíráatlanítás (MF)
- Tejsavó kezelése (UF, NF)
- Sók és ásványi anyagok eltávolítása (NF, ED)
- Tej és tejsavó frakcionálása (UF, NF)
- Víz újratermelése (RO)

Borászat és söripar

- Szűrés és sterilizáció (MF)
- Sör és bor alkoholmentesítése (RO)
- Tisztítás (MF, UF)

Gabona és ipari növény feldolgozás

- Fermentáció (MR)
- Fehérje betöményítés (UF)
- Downstream eljárás (UF, NF, MR)

Egyéb biotechnológiai eljárások

- Enzim reakciók (MR)
- Laboratóriumi tisztaságú víz készítése (RO)
- Downstream eljárás (UF, NF, RO, ED)

2.7 Membránszétválasztó műveletek a tejiparban

A napról-napra magasabb energiaárak és környezetvédelmi normák miatt, egyre nagyobb szerephez jutnak az élelmiszeriparban alkalmazott membránműveletek. A tejiparban is alkalmazható membránszeparációs eljárások óriási lehetőségeket rejtenek az energia- és nyersanyag

optimalizálás, a termékbiztonság javítása és az új, egészségesebb készítmények kialakítása terén (EYERS, 2001).

2.7.1 Sajt készítés savókeletkezés nélkül



Ultraszűrőssel a sajttej koncentrációját a sajt szárazanyag tartalmáig fokozni lehet, így nem keletkezik savó a sajt készítés folyamán. Ennek az eljárásnak nagy előnye, hogy a savófehérje teljes egészében átmegy a sajtba. Ez a gyártási folyamat a sajtkitermelést 15-25%-kal fokozza és megnöveli a sajtfehérje biológiai értékét is, mert az ilyen sajt nem csak kazeint, de savófehérjét is tartalmaz. Míg a normál sajtokban a savófehérje csak 2-3%-a a sajt összes fehérjetartalmának, addig az így készülő sajtokban elérheti a 15%-ot is. Az ilyen sajtok összetétele a nagyobb ásványianyag- és fehérje tartalomtól eltekintve nem különbözik lényegesen a normál sajtokétól. Kalcium és foszfortartalma nagyobb, kálium és nátriumtartalma viszont kisebb a normál sajtokhoz viszonyítva. Az ultraszűrés technológiát sikeresen alkalmazták az alábbi sajtok előállítására: túró, Cottage sajt, Feta sajt, Mozzarella, Ricotta, Roquefort, lágy sajtok és a Cheddar sajt.

A fogyasztásra szánt folyadéktejet, és egyéb tejtermékeket is lehet koncentrálni ultraszűrőssel a magasabb tejfehérje-tartalom érdekében. Egy ilyen eljárás folyamán megváltozik a zsír és a fehérje által képviselt energia mennyisége, mely a normál tejben 2.4:1, a fehérjével dúsított tejben pedig 0.7:1. A fermentációval előállított termékek fehérjetartalmát 6-7%-kal is emelni lehet UF alkalmazásával (CSAPÓ és KISS, 1998; SCHMIDT, 2000).

2.7.2 A laktóz enzimikus hidrolízise

Évente 3,2 millió tonna a tejsavóból származó laktóz halmozódik fel világszerte. Csaknem felét ennek a mennyiségnek állati és humán célú élelmezésre használják fel. A maradék hulladék, azaz nehéz megszabadulni tőle és ezáltal a környezetet szennyezi. Ezért nagy igény jött létre olyan lehetőségek felkutatására, melyekkel a tejsavóban lévő laktóz feldolgozható. Az egyik ilyen magas technológiai és dietetikai jelentőséggel bíró alkalmazás a laktóz enzimikus hidrolízise, melynek gazdasági jelentősége az 1960-as évektől folyamatosan növekszik (RUTTLOFF, 1994).

Humángyógyászati szemszög mellett a laktóz glükózra és galaktózra történő hidrolízisének számos előnye van. Ilyen előny az oldódási képesség 18%-ról 80%-ra vagy a cukorhoz viszonyított 70%-os édesítési növekedés. További előnyök közé sorolhatók még a fagyáspont csökkenés, a nem enzimikus barnulási reakciók esélyének növekedése és a gyorsabb fermentációs folyamatok, a laktóz hidrolizált közegben. Ezek alapján, a tej vagy tejsavó laktóz hidrolízisével édesítőszer mentes vagy alacsony cukortartalmú tejipari termékek állíthatók elő. A laktóz enzimikus hidrolízisével

további pozitív eredmények érhetők el a kristályosítás és a feldolgozási tulajdonságok területén (MAHONEY, 1985).

Számtalan technológia létezik a laktóz enzimatis hidrolízisére. A legegyszerűbb technológia a szakaszos (batch) eljárás. A kívánt szintű laktóz átalakítás után a reakciót melegítéssel lehet megállítani, melynek következtében az enzim denaturációja és ebből eredően az enzimaktivitás elvesztése áll fenn. Ezen kívül az enzim a termék alkotójává válik az eljárás után (GEKAS és LOPEZ-LEIVA, 1985).

A rögzített enzim eljárás addig lehet alkalmazni, amíg az enzim aktivitás a megfelelő mértékben rendelkezésre áll. Az enzim kémiai vagy fizikai kötéssel kapcsolódik egy szilárd fázishoz, ami lehet üveg felület, cellulóz-acetát vagy oxirán gél. A rögzítési technológiák magas költsége, a rögzítés során bekövetkező aktivitás csökkenés, valamint a tejben és tejsavóban lévő zsír és fehérje tartalom okozta higiéniai problémák előfordulása miatt, megfontolandó ezen eljárás használata (REIMERDES, 1985).

A harmadik lehetőség a „fizikai rögzítés”, ahol a szubsztát áramtól ultraszűrő membrán segítségével elválasztjuk az enzim oldatot. Ez a rendszer egy működő és olcsó enzimkötést tesz lehetővé az enzim katalitikus aktivitásának kismértékű csökkenése mellett. Az eljárásnak ezeken kívül további előnyei is vannak, ilyen a reaktor alacsony nyomás melletti folyamatos működése és a rendszer pontos szabályozhatósága a nagyfokú membránválasztási lehetőség miatt (CZERMAK és társai, 1988).

A CZERMAK és munkatársai (1990) által összeállított ultraszűrő modulok gőz által sterilizált membránokat tartalmaztak, melyek ipari célú kifejlesztése és gyártása nem teljesíti azt a kívánalmat, hogy a kész rendszer maximum olyan összköltségű legyen, mint a szakaszos eljárás. Ezért olyan megoldások felkutatása volt a cél, melyekkel szabályozni lehet a mikrobiológiai növekedést a rendszerben.

2.8 Membránszétválasztó műveletek az üdítőital-iparban és a borászatban

A különböző membrántechnikai eljárások egyre inkább teret nyernek az üdítőital-ipari és a borászati alkalmazások során. Ilyen reményteljes alkalmazások a gyümölcslevek tükrösítése és besűrítése.

2.8.1 Gyümölcslevek tükrösítésére membrántechnika alkalmazásával

Az első, hatékony membrántechnikai alkalmazás a mikroszűrés. VAILLANT és munkatársai (2005) a mikroszűrést két célra használták fel a dinnyelé feldolgozásánál. A szűrlet (termék), lebegő

anyagoktól mentes, tiszta folyadék lett, így sikerült megoldani a kiindulási anyag tükrösítését, valamint ezzel az eljárással sikerült a dinnyelét csíráltatni, elkerülve az előnytelen tulajdonságokkal rendelkező hőkezelés használatát.

CASSANO és munkatársai (2006) kivülé tükrösítés céljából az ultraszűrést választották. Az ultraszűrés fontos kritériuma volt a kiindulási anyag szűrés előtti pektinbontása, így elkerülve a membrán hirtelen eltömődését.

WU és munkatársai (2006) a mikroszűrést és ultraszűrést hasonlították össze nyers, hőkezelés nélküli almalé tükrösítési vizsgálatainál. A kutatók megállapították, hogy a mikroszűrt almalé szignifikánsan sötétebb, magasabb szárazanyag tartalmú és az érzékszervi minősítésnél preferáltabb lett, mint az ultraszűrt változat. A mikroszűrés energetikailag is előnyösebbnek bizonyult, mivel azonos energiaigény mellett magasabb fluxusértékeket értek el. WU-hoz hasonlóan FUKUMOTO és munkatársai (2007) is végeztek almalé mikroszűrés és ultraszűrés kísérleteket. A csoport megállapította, hogy az almalé aszkorbinsavval előkezelt változata mindkét szűrés módnál magasabb fluxusértékeket eredményezett.

2.8.2 Gyümölcslevek besűrítése membrántechnika alkalmazásával

A membrántechnikai eljárások lehetővé teszik olyan termékek előállítását, amelyek később visszahígítva, fizikai és érzékszervi tulajdonságaikban egyaránt, a friss gyümölcsléhez hasonlítanak.

Kutatások irányultak fruktóz-oldat (10°Brix) besűrítésére, azt vizsgálva, hogyan megy végbe a cukorkoncentráció. A kutatók többféle csőmembránt és lapmembránt használtak. Céljuk az volt, hogy megtalálják a megfelelő membránt és az ideális körülményeket a gyümölcslé lehető legmagasabb koncentrációra való besűrítéséhez. Méréseik során arra a következtetésre jutottak, hogy a nanoszűrés alkalmas gyümölcslé besűrítésére és a fluxus csökkenés jelentősen nagyobb a gyümölcslénél, mint a fruktóz-oldatnál. Ez a gyümölcslevek komplex összetételének tulajdonítható (WARCZOK és társai, 2004.).

FERRARINI és munkatársai (2001) a nanoszűrést és a fordított ozmózist hasonlították össze úgy, hogy alapanyagként fehér mustot használtak fel. Különböző hőmérsékleteken és nyomásokon dolgoztak. Az eredményekből látszik, hogy a fordított ozmózis esetén jóval alacsonyabbak a fluxus értékek. Mind a nanoszűrő, mind a fordított ozmózis membránoknál a fluxusok csökkenése figyelhető meg az idő függvényében. A csökkenés egy egyensúly eléréséig történik, ami a membrán eltömődésnek tulajdonítható.

A kis molekulatömegű anyagok hatásosan kiszűrhetők fordított ozmózis segítségével. A membrán pórusmérete 1-0,1 nm, az alkalmazott nyomás 10-80 bar. A membrán csak az oldószert

engedi át, a konyhasó visszatartása 80-99,9% között változik. A művelet során az ozmózisnyomást is le kell győzni. A fordított ozmózis alternatív módja lehet a must cukrozásának és a vákuum bepárlásnak. Segítségével kíméletesen lehet a mustot és gyümölcsleveket besűriteni.

MIETTON-PEUCHOT és munkatársai (2002) a mustok fordított ozmózissal történő besűritésének lehetőségeit vizsgálták. Ennél a módszernél a víz elvonásával koncentrálják a mustot. Az első próbálkozások a hetvenes években történtek vörösbor készítésére alkalmas mustokkal. Az új membránok sokkal alkalmasabbaknak mutatkoznak must koncentrálására. A visszatartás magasabb volt, mint 99,5 %, és a kivont víz nagyon kevés szerves komponenst és ásványi anyagot tartalmazott. A szűrlet összetétel leginkább a membrán karakterisztikájától és az alkalmazott körülményektől függött. A fordított ozmózisnál a must előkészítése nélkülözhetetlen. A kutatások során arra jutottak, hogy az alkalmazott nyomás maximális értéke ipari méretekben 75 bar.

CASSANO és munkatársai (2003) citrus és répalevek besűritésével foglalkoztak, integrált membrán technikai eljárás alkalmazásával. Ultraszűrés, fordított ozmózis és ozmotikus desztilláció összekapcsolásával végeztek kutatásokat. Az ultraszűrés a nyers lé tisztítására szolgált, fordított ozmózis alkalmazásával elősűritették a gyümölcslevet, végül ozmotikus desztillációval érték el a kívánt koncentrációt. A fordított ozmózis során spiráltekeres modult használtak.

Arra a következtetésre jutottak, hogy a cukorkoncentráció növekedésével az ozmózisnyomás hirtelen növekedésnek indul, ez meghatározza az elérhető végső koncentrációt, amit a viszkozitás is befolyásol. Eredményeik tükrében azt mondhatjuk, hogy a fordított ozmózis alkalmas a már előkezelt, tisztított gyümölcslel elősűritésére.

Hasonló integrált membrántechnikai kutatást végzett PATIL és RAGHAVARAO (2007), vörös retek antocianin tartalmának oldatban lévő besűritésére. Első körben az anyag tükrösítésére ultraszűrést alkalmaztak, majd a szűrletet fordított ozmózissal elősűritették. Az így kapott sűrítményt membrán desztillációval tovább töményítették a maximálisan elérhető koncentrációra. Így a kiindulási oldat antocianin tartalmát 40 mg / 100 ml-ről 980 mg / 100 ml-re sikerült betöményíteni.

3. A megoldandó feladatok ismertetése

Méréseimet két fő témakörben végeztem. Az első, egy olyan komplex membránszűrési eljárás kidolgozása volt, amely lehetővé tenné a sajtgyártással foglalkozó kisüzemek savójának feldolgozását és újrahasznosítását. Ezzel elkerülhető lenne, hogy az értékes komponenseket tartalmazó savót takarmányozási célokra használják fel, vagy rosszabb esetben a csatornába öntsék. Egy ilyen rendszer megvalósításával a sajtgyártás technológiai folyamatát hulladékmentessé lehetne tenni. További vizsgálatokat végeztem a tejsavóban lévő laktóz lebontási lehetőségeire, a membrántechnika és az enzimatis hidrolízis együttes alkalmazásával.

Kutatásaim második témaköre egy olyan összetett, többlépcsős membrántechnikai eljárás kifejlesztése volt, ahol kémiai tartósítószer használata és a mustok aromaanyagainak, valamint színanyagainak jelentős vesztesége nélkül valósítható meg a mustok tartósítása. A membránműveletek alkalmazásával értékes anyagokban gazdag terméket tudunk előállítani. Megőrizhetjük a mustok eredeti aromaanyagait. A többlépcsős technológia további előnye, hogy a kémiai tartósítási módszereknél alkalmazott vegyszerek használata is kiküszöbölhető lenne, valamint kisebb az energiaigénye a hagyományos tartósítási eljárásoknál.

PhD munkám során a következő részcelokat tűztem ki

- Az egyes membrántechnikai paraméterek vizsgálata (transzmembrán nyomás, recirkulációs térfogatáram, hőmérséklet) a savó és a must mikroszűrésére során.
- A pasztörözést kikerülve, mennyire lehet eredményes a magas mikrobaszámmal rendelkező savó és must csírátlanítása mikroszűréssel.
- Alkalmas-e a mikroszűrés a savó szeparálásának (zsírtalanításának) helyettesítésére, valamint a must tükrösítésére.
- A kezeletlen és mikroszűrt mustok összehasonlítása érzékszervi minősítés alkalmazásával.
- A savó ultraszűréssel való betöményítése során, milyen arányú a membrán savófehérje visszatartása.
- Milyen hatással van a savó zsírtartalma az ultraszűrésre.
- Alkalmas-e a nanoszűrés a savóban található laktóz tartalom betöményítésére. Az így kapott sűrítmény milyen mértékben tartalmaz sókat és ásványi anyagokat.
- Lehetővé teszi-e fordított ozmózis alkalmazása a savóban és szűrleteiben lévő komponensek nagyarányú betöményítését.
- Különböző töménységű modell tejsavó oldatok laktóz tartalmának enzimatis hidrolízisének vizsgálata.
- A membrán-reaktor enzim visszatartásának vizsgálata.

- Folyamatos üzemű membrán-reaktor összeállítása a kísérleti eredmények alapján.
- A mikroszűrés során nyert mustminták elősűritésének vizsgálata nanoszűréssel és fordított ozmózissal.
- A minták besűritésének vizsgálata membránesztillációval.
- A nanoszűrés és a fordított ozmózis modellezése a Rautenbach modell alapján.
- Integrált kisüzemi berendezés méretezése must besűritésére.
- Milyen komplex eljárások építhetők fel, kísérleteim után kapott eredményeim és az irodalmi adatok egyeztetéséből.

4. Anyag és módszer

4.1 Vizsgált anyagok

4.1.1 Tejsavó

Kísérleti munkám kiinduló alapanyaga, a SAPORI D'ITALIA KFT. által gyártott mozzarella sajt savója volt. A szürendő anyagból mintát vettem és kémiaileg analizáltam. Az analízis eredményeit a 7. táblázatban foglaltam össze.

7. táblázat. Mozzarella sajt savójának összetétele

Alkotórész	Savó [%]
Víztartalom	~94
Szárazanyag tartalom	5,87
ebből zsír	0,79
fehérje	0,72
laktóz	3,90
sók	0,46

A savón kívül vizsgáltam az egyes műveletek szűrleteit is, de azok összetételét az eredmények értékelésénél mutatom be.

Kísérleteim kezdetén mind a négy membránszétválasztási műveletnél megmértem a szűrés vízfluxusát. Ezen vízfluxusok vizsgálatánál ioncserélt vizet használtam.

4.1.2 Mustminták

Kísérleteimhez kétféle mustot, egy fehérmustot (furmint) és egy vörösbor készítésére alkalmas (Kékfrankos) mustot használtam.

A **Furmint** jellegzetes magyarfajta, a Tokaj-hegyaljai borvidék legfőbb fajtája. A világhírű tokaji aszú fő alapanyaga. Későn érő, rothadékony, jól aszúsodik. A must cukortartalma az évjárattól függően lehet kicsi, közepes és (főleg tömeges aszúsodáskor) nagy. Borának sav és extrakt tartalma nagy, illata közepes, zamata karakteres.

A **Kékfrankos** bőtermő fajta. Származása ismeretlen. Az utóbbi időkben a kékszőlőfajták között első helyen áll hazánkban, az Egri Bikavér legjellemzőbb fajtája. Középérésű, nem rothad. Cukortartalma közepes, savtartalma közepesnél nagyobb. Bora mélyvörös, csersavban gazdag. Markáns vörösbor. Extrakt tartalma közepes. Illata közepes intenzitású.

4.1.3 Egyéb anyagok

A mérések során felhasználásra került még, NaOH-oldat és HNO₃-oldat is a berendezések tisztításához, valamint ioncserélt víz ugyancsak tisztításhoz és a membrán desztillációs mérésekhez hideg oldali folyadékként.

A membránok só visszatartásának méréséhez NaCl-oldatot használtam, a konduktométer kalibrálásához pedig KCl-oldatot.

4.2 Kísérleti berendezések

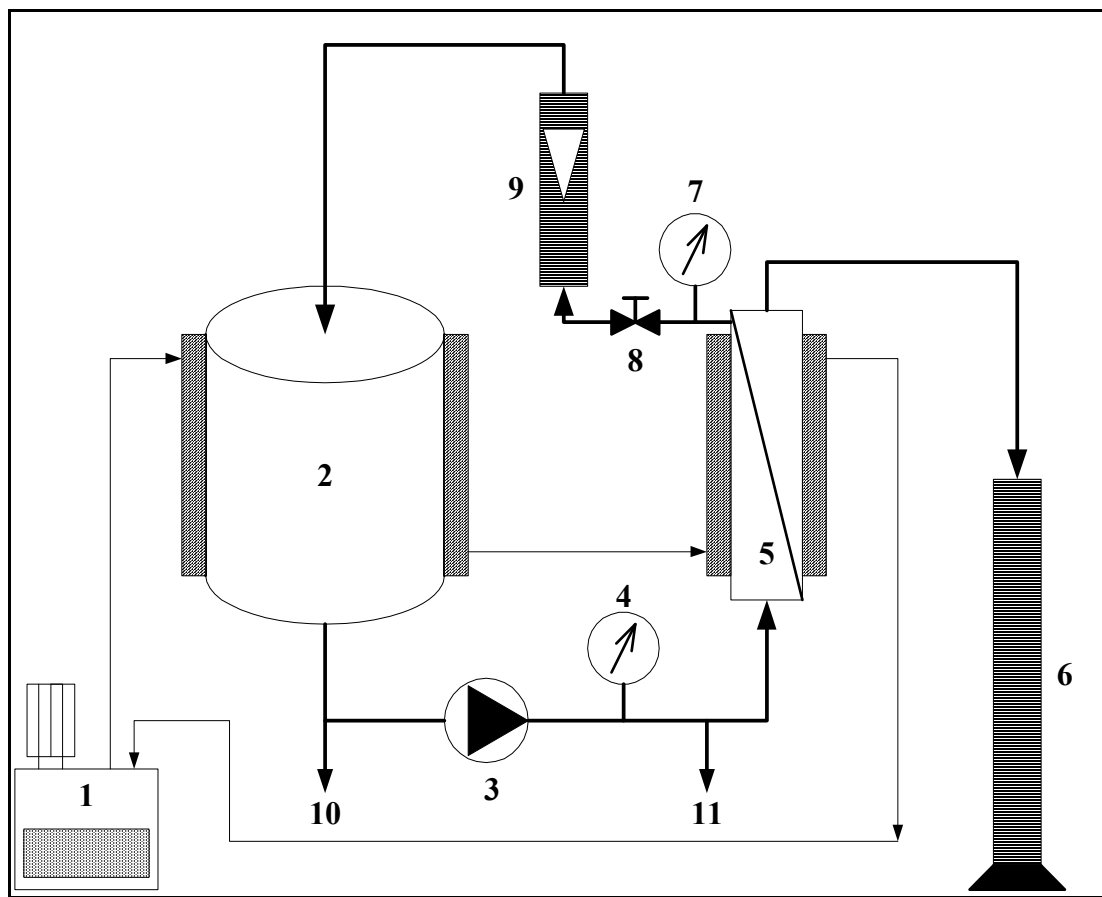
4.2.1 A membránszűrő berendezések elvi felépítése, működése

A kísérleteim során használt berendezések elvi felépítése és működése nagyban megegyezett. Ezt a működési elvet, felépítést szemlélteti a 4. ábra. A berendezések legfontosabb részei a táptartály (2), a szivattyú (3), a szűrőmodul (5), a nyomásszabályzó szelep (8) és a rotaméter (9).

A keresztáramú modulok előtt és mögött nyomásmérő műszerek (4, 7) találhatók, melyek segítségével könnyen leolvasható a szűrés során alkalmazott üzemi nyomás. A rotaméter (9) a recirkulációs térfogatáram beállítására szolgál.

A szűrés egyik alapfeltétele, hogy a művelet alatt szabályozható legyen az üzemi hőmérséklet. Ezt valamilyen formában biztosítani kell, ezért vagy a táptartályok, vagy a modulok fala dupla, melyek segítségével hűthető-fűthető a bennük áramló, szűrendő elegy. (Félüzemi berendezésem hőmérsékletének szabályozását egy mini hőcserélő látta el.) A dupla falban vagy hőcserélőben keringtetett folyadékot (esetünkben víz volt) pedig egy termosztát (1) szabályozza.

A szivattyú (3) kiszívja a tartályból a szűrendő elegyet és a modulba (5) pumpálja azt. Itt a magas nyomás miatt, amit a nyomásszabályzó szeleppel (8) lehet beállítani- megtörténik a szétválasztás. A folyadék egy része szűrletként távozik (6), másik része pedig a rotaméteren keresztül visszajut a táptartályba. A szivattyú a kellő mértékű betöményítésig keringteti az elegyet. A szűrés végeztével a tartály és a modul leürítő szelepeinek (10, 11) segítségével megkapjuk a sűrítményt.



4. ábra. A membránszűrő berendezések elvi vázlata

4.2.2 A mikro- és ultraszűrő berendezés

A mikroszűrő és ultraszűrő berendezés egyszerre több modult tartalmaz (5. ábra). A modulok előtt és után szelepek vannak beépítve, így könnyen kiválasztható a számunkra legmegfelelőbb modul. A berendezést a Hidrofilt Kft gyártotta.



5. ábra. Mikro és ultraszűrő modulokat tartalmazó félüzemi berendezés

A mikroszűrő modul

Mikroszűrési vizsgálataim során a 5. ábrán látható felső és középső modult használtam. A felső modul tulajdonságai:

- Kerámia szerkezet
- 0,2 μm pórusméret
- 0,2 m^2 szűrőfelület
- 8 bar maximális nyomásérték

A középső modul tulajdonságai:

- Kapillárcsöves szerkezet
- 0,2 μm pórusméret
- 0,75 m^2 szűrőfelület
- 2 bar maximális nyomásérték

Az ultraszűrő modul

Ultraszűrési vizsgálataim során a 7. ábrán látható alsó modult használtam. A modul tulajdonságai:

- Spiráltekercs modul
- 100 kDa vágási értékű membrán
- 1,5 m^2 szűrőfelület
- 8 bar maximális nyomásérték

4.2.3 A spiráltekercses nanoszűrő berendezés

Nanoszűrési kísérleteim egyik részét a MILLIPORE cég által gyártott, YPROLAB 2 típusú laboratóriumi berendezésen végeztem (6. ábra). Ezzel a berendezéssel a mikroszűrés és az ultraszűrés során keletkezett szűrleteket, valamint az eredeti savót sűrítettem be.



6. ábra. Millipore berendezés



7. ábra. Az RA 75-ös modul

Nanoszűrési vizsgálataim során a 7. ábrán látható RA 75-ös, a MILLIPORE cég által gyártott modult használtam. A modul tulajdonságai:

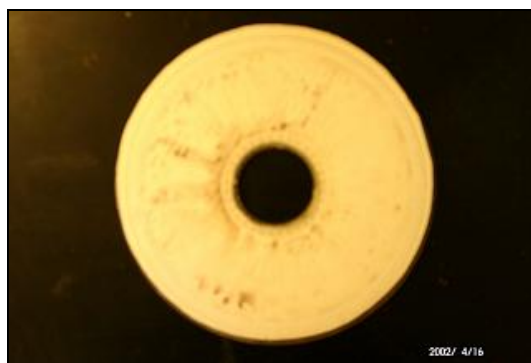
- Spiráltekercs modul
- 400 Da vágási értékű membrán
- 0,3 m² szűrőfelület
- 35 bar maximális nyomásérték

4.2.4 A lapmembrános nanoszűrő és fordított ozmózis berendezés

A kísérletekhez egy DDS MINILAB 20 típusú laboratóriumi berendezést használtam (8. ábra).



8. ábra. RO-berendezés



9. ábra. RO-lapmembrán

A készülékkel a különböző szűrleteket, valamint az eredeti savót töményítettem be. A berendezés, eltérően a többi művelettől egy lapmembrán modult tartalmazott. A fordított ozmózis membránt a 9. ábra szemlélteti.

Az NF-rendszer tulajdonságai a következők voltak:

- Lapmembrán modul
- Trisep XN-45 membrán, 95%-os sóvisszatartás
- 0,018 m² / membrán szűrőfelület
- 60 bar maximális nyomásérték

Az RO-rendszer tulajdonságai a következők voltak:

- Lapmembrán modul (HR 30 DOW membrán)
- 99,5% sóvisszatartás
- 0,072 m² szűrőfelület
- 60 bar maximális nyomásérték

4.2.5 A félüzemi RO berendezés

A must mikroszűrése után a szűrlet egyik felét MFT-Köln nagynyomású fordított ozmózis berendezésre (10. ábra) vezettem, és ennek segítségével végeztem el a must besűrítését.



10. ábra. A fordított ozmózis berendezés

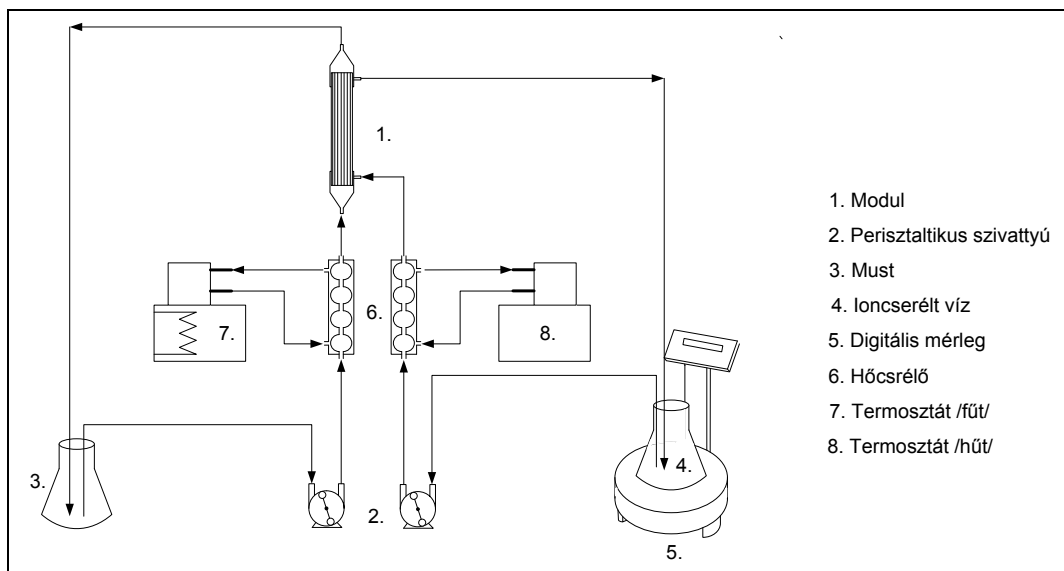
Az MFT Köln CD-1 RO-rendszer tulajdonságai a következők voltak:

- Lapmembrán modul
- 97 %-os sóvisszatartás
- 0,5 m² szűrőfelület
- 70 bar maximális nyomásérték

4.2.6 A membránszűrési berendezés

A membránszűrési mérések során MD 020 CP 2N típusú membránt használtam, ami a Microdyn cég terméke. A modulban 40 db kapilláris található, amelyek anyaga polipropilén. A kapillárisok belső átmérője 1,8 mm, külső átmérője 2,8 mm. A membrán pórusmérete 0,2 µm, a hasznos szűrőfelület 0,1 m².

A berendezés vázlata a 11. ábrán látható.



11. ábra. A membrándesztiláció berendezés elvi vázlata

Az edényekből a folyadékok hőcserélőn (6.) keresztül jutottak a modulra (1.), ahol a gőznyomás-különbség hatására a mustból (meleg oldal) a gőzök az ioncserélt vízbe (hideg oldal) kerültek. A folyadékok szállítása perisztaltikus szivattyúkkal (2.) történt. A folyadékok állandó hőmérsékletét termosztátokkal (fűtő, 7. és hűtő, 8.) biztosítottam. A kísérlet során a hideg oldalon lévő desztillátum tömegének növekedését mértem az eltelt idő függvényében Sartorius PMA 7500 digitális laboratóriumi mérleggel (5.).

4.3 Mérési eljárások

A következő módon történtek az **alapanyagok (tejsavó, must) mikroszűrése**: A fülüzemi berendezés tartályába 30 liter alapanyagot öntöttem. Bekapcsoltam a keringtető szivattyút, de nem helyeztem még nyomás alá a rendszert. A berendezéshez tartozó hőcserélőbe addig vezettem meleg vizet, amíg a szürendő anyag el nem érte az optimális, 50 °C-os üzemi hőmérsékletet. Ez volt az a hőmérséklet, ahol még nem okozott szerkezeti változást a hőhatás. Ezután beállítottam a nyomást és a recirkulációs térfogatáramot. Kísérletem során a szűrlet mennyiségének időbeli változását mértem. Ez a szűrés inkább a mikrobiológiai és az összetételbeli vizsgálatok szempontjából volt fontos művelet.

A **tejsavó ultraszűrése** során szintén 30 liter savót használtam fel. Az üzemi hőfok elérését pedig a mikroszűrésnél már említett módon végeztem. Ezután megmértem különböző nyomások és recirkulációs térfogatáramok mellett a szűrletfluxusokat. A fluxusok vizsgálata után beállítottam az optimális nyomás- és recirkulációs térfogatáram értékeket és kb. ötszörös sűrítési arányig töményítettem be a savót. A besűrítés folyamán a szűrlet mennyiségének időbeli változását mértem.

A **savót és a szűrleteket** (a savó- és must szűrések permeátuma) **nanoszűrővel töményítettem** tovább. A mérések során 5 liter besűrítendő oldatot töltöttem a nanoszűrő tartályába. A szivattyút kis teljesítményre állítottam és termosztát segítségével beszabályoztam a kívánt üzemi hőmérsékletet. Ezután különböző nyomás és recirkulációs térfogatáramok mellett megmértem a szűrletfluxusokat. A fluxusok vizsgálata után beállítottam az optimális nyomás- és recirkulációs térfogatáram értékeket és a lehető legnagyobb sűrítési arány eléréséig töményítettem az oldatokat. A besűrítés folyamán a szűrlet mennyiségének időbeli változását, illetve a szűrlet és a sűrítmény vezetőképességét és laktóztartalmának változását mértem.

A **savót és a szűrleteket** (a savó- és must szűrések permeátuma) **fordított ozmózissal** is betöményítettem. A méréseket a nanoszűrővel megegyező módon végeztem. Itt is a besűrítés folyamán keletkezett szűrlet mennyiségének időbeli változását, illetve a szűrlet és a sűrítmény vezetőképességét és laktóztartalmának változását mértem.

A mikroszűrt **mustot** és annak nanoszűrővel betöményített formáit **membrán-desztillációval** sűrítettem tovább. A szűrlet mennyiségének időbeli változását mértem digitális mérlegen, illetve a szűrlet és a sűrítmény refrakcióját vizsgáltam az idő múlásával.

4.4 A berendezések tisztítása

Mivel kísérleteimet tejsavóval végeztem, ezért a szűrési folyamatokat alapos tisztítás követte. A magas szervesanyag-tartalom lerakódott a berendezések csőhálózatában és eltömítette a modulokban található membránok pórusait, ami tökéletes táptalajt jelenthetett volna a különféle mikroorganizmusok számára. Az eltömődés még abból a szempontból sem kedvező, hogy egy újabb kísérlet során más kiinduló értékekkel rendelkezett volna az alkalmazott membrán, ami nagymértékben eltorzította volna a mérési eredményeket. Ezek kikerülése érdekében a kísérletek után különböző mosóoldatok keringtetésével visszaállítottam a membránok kiinduló értékeit.

A tisztítás módszere

- A berendezések leeresztő szelepeit kinyitottam és hideg csapvízzel átöblítettem a tartályt.
- Ezután a szelepeket elzártam, majd a táptartályt feltöltve 40 °C hőmérséklet és 1 bar nyomás mellett 20 percig keringtettem a következő mosófolyadékokat:
 - Csapvíz
 - NaOH oldat (0,1 %)
 - Csapvíz
 - HNO₃ oldat (0,1 %)

➤ Desztillált víz

- A tisztítás végeztével leeresztettem a rendszerben lévő desztillált vizet.

Ha a mérések nem közvetlenül egymás után történtek, hanem pár nap (pl. egy hétvége) telt el köztük, akkor 0,1 %-os HNO_3 oldattal töltöttem fel a rendszereket, amely egyfajta tartósítást jelentett a membránoknak.

4.5 A kapott minták összetételének vizsgálatai

4.5.1 Szárazanyag tartalom meghatározása

A méréseket egy automata SARTORIUS /thermo control/, nedvességmérő készülékkel végeztem. A kb. 3 g mennyiségű mintákat óraüvegre tettem és beszárítottam, amely tömegveszteség alapján jelezte a szárazanyag tartalmát.

4.5.2 Fehérjetartalom meghatározása /KJELTEC berendezésen/

A módszer elve: A különböző típusú élelmiszerek és élelmiszer alapanyagok nitrogén tartalmú anyagait a szerves vegyületekben kötött nitrogénnek ammónia nitrogénné való alakítására katalizátor jelenlétében kénsavval roncsoljuk, az ammóniát lúggal felszabadítjuk, majd vízgőzzel savba átdestilláljuk, titráljuk. A nitrogéntartalmat tapasztalati faktorról szorozva megkapjuk az élelmiszer összes fehérjetartalmát.

A roncsolás menete: A minta fehérjetartalmától függően 4 g mintát mértem 0,001 pontossággal a KJELTEC roncsoló-berendezéshez tartozó 200 cm³-es kémcsőbe. Csipesszel hozzáadtam 2 db KJELTABS S/3,5 tablettát és ezután 12 cm³ koncentrált kénsavat adagoltam a lombikba. A megfelelő kémcsőtartó segítségével a kémcsőveket (egyszerre hatot) behelyeztem a roncsoló-berendezésbe és elkezdtem felfűteni. A roncsolást akkor fejeztem be, amikor a lombikokban a folyadék tiszta, átlátszó és csaknem színtelen lett. Amikor az elegy teljesen kihűlt a csövekben, akkor kezdtem el a desztillálást.

Desztillálás: 200 cm³-es Erlenmayer-lombikba 25 cm³ bórsavoldatot mértem és feltettem a szedőlombik számára kialakított helyre. A kihűlt mintát tartalmazó kémcsövet behelyeztem a desztilláló berendezésbe, ami automatikusan elvégezte a minta hígítását, lúgosítását és a felszabadított ammónia átdestillálását, ami a bórsavoldatban elnyelődött. A meghatározott idejű desztillálás után a berendezés automatikusan leállt. Végezetül a szedőlombikot kivettem a berendezésből és 0,1 n kénsavoldattal átmeneti színig titráltam.

Az eredmény kiszámítása: A minta fehérjetartalmát 100 cm³-re vonatkoztatva g-ban számítottam ki.

$$F = \frac{f_1 \cdot (V - V_v)}{m} * f_2 * 0,1401$$

Ahol:

- F a minta fehérjetartalma, g/100 cm³
- f₁ a 0,1 n kénsavoldat faktora
- V a meghatározáshoz fogyott 0,1 n kénsavoldat térfogata, cm³
- V_v a vakra fogyott 0,1 n kénsavoldat térfogata cm³-ben
- m a bemért minta tömege g-ban
- f₂ tapasztalati fehérje szorzófaktor

amely tejfehérje esetén: 6,38

4.5.3 Zsírtartalom meghatározása /LINDNER szerint/

Mérés menete: 5 g mintát jódszámlombikba mértem és 10 ml kénsavas etilalkoholt öntöttem hozzá. Az így kapott elegyet 30 percig vízfürdőre helyeztem és időnként összeráztam. Ezután a még meleg folyadékhoz 10 ml etilalkoholt öntöttem. Lehűtés után 50 ml petroléterrel kevertem össze és csapvízzel felöntöttem. 10 perc folyamatos rázogatós után 10 ml-t a petroléteres fázisból, előre kiszárított és lemért porcelántálba mértem. Az így kapott petrolétert vízfürdőn, elszívó fülke alatt elpárologtattam és szárítószekrénybe raktam. Szárítás után a lehűlt porcelántálat visszamértem, amiből már meg tudtam határozni a zsírtartalmat.

4.5.4 Laktóz- és cukortartalom meghatározása

A laktóz meghatározást ZEISS-ABBE-féle asztali refraktométerrel történt. Mivel a szürendő oldatban nincs más optikailag aktív anyag, ezért a skáláról a bemért minta laktóztartalma leolvasható.

A mustsűrítmény cukortartalmát is a ZEISS-ABBE-féle asztali refraktométerrel mértem. A refraktométerek a törésmutató meghatározására szolgálnak. A törésmutató a koncentrációtól is függ, így különféle oldatok szárazanyag tartalmát meghatározhatjuk ezzel a módszerrel. A törésmutatónak megfelelő szárazanyag tartalmat táblázatokból kereshetjük ki, de az újabb típusú refraktométereknél a szárazanyag tartalom közvetlenül a skáláról is leolvasható.

A vizsgálathoz szükséges fényt tükörrel irányítjuk a mérőprizma alján lévő nyílásba. A kompenzátor - amelyet tárcsával hozunk megfelelő helyzetbe - a beállító távcső alján helyezkedik el. A távcső szemlencsével van ellátva. A műszertest belsejében foglal helyet a beosztással ellátott üvegkör, amelynek leolvasására a mikroszkóp szolgál. Az osztott kört a műszertestre merőleges

tengely körül forgó tükörrel lehet megvilágítani. A refraktométer termosztálható, így a segédprizmába fémtokban levő hőmérő nyúlik be a hőmérséklet ellenőrzésére.

A vizsgálandó anyagot óvatosan a mérőprizmára helyeztem, figyelve arra, hogy a prizrát ne sértsem meg. A látómező világos és sötét részének határvonalát tárcsával a kereszt metszéspontjába állítottam, majd a skáláról leolvastam az anyag cukortartalmát. Minden mérési sorozat előtt kalibráltam a refraktométert, az arra alkalmas oldattal. (SOMOGYI, 1992.)

4.5.5 Sótartalom meghatározása

A membrántulajdonságok meghatározása érdekében mértem az egyes membránok sóvisszatartását. Először megmértem az ioncserélt víz vezetőképességét, majd utána a NaCl-oldat vezetőképességét is. Ezután a sóoldatot a rendszerre vezetve elkezdtem a szűrést. 100 ml szűrlet elvétele után mértem a szűrlet vezetőképességét, és ezekből az adatokból számítottam a membrán só visszatartását.

A meghatározáshoz a vezetőképességet analóg konduktométerrel mértem. Konduktometriás mérésnél zavaró hatást fejtenek ki az idegen elektrolitok. Az oldat viszkozitása és hőmérséklete is befolyásolja a meghatározást.

A másodrendű vezetőkben az áramvezetés mértékének kifejezésére az oldatok ellenállásának reciproka értékét használjuk, ezt nevezzük vezetőképességnek. Az oldatok vezetőképességét tulajdonképpen az ellenállásának mérésével határozzuk meg.

A mérést egy Radelkis gyártmányú analóg konduktométerrel végeztem. A műszert első lépésben nullázzuk. A konduktométert KCl-oldattal kalibráljuk.

Ezután a megfelelő hőmérsékletű mérendő oldatot főzőpohárba öntjük. Majd a harangelektrodot néhányszor belemerítve biztosítjuk, hogy az elektród felületén ne legyenek buborékok. Az elektród teljes felületének érintkeznie kell a mérendő oldattal. Ha a mérendő oldatba nedves felületű harangelektrodot merítünk, akkor néhányszori bemelegítéssel át kell mosnunk a mérendő oldattal a rendszert. A harangelektrod elhelyezésénél ügyelni kell arra, hogy az oldat az elektród minden lemezét tökéletesen ellepje. Vigyázni kell arra is, hogy az elektród ne érjen az edény falához és aljához. (HIBBEY, 1992.)

4.6 Mikrobiológiai vizsgálatok

Mikrobiológiai vizsgálataim a mikroszűrés eredményességének kutatása érdekében folytak. Arra voltam kíváncsi, hogy a mikroszűrés mennyire hatásos módja a különböző alapanyagok csíráztatásának.

A módszer elve /Felületi tenyésztési módszer/

A mikrobaszám kimutatására petricsészés eljárást alkalmaztam. Az alapanyagokból és a szűrletekből 10^0 - 10^9 hígítási sort készítettem, majd ezekből a mintákból 0,1 ml-t vittem fel aszeptikus körülmények mellett az előkészített tápközeg felületére. A szuszpenziót erre a célra készített steril üvegbottal szétkentem a felületen, így biztosítottam a mikroorganizmusok egyenletes eloszlását. A kikent lemezt 15 percig steril fülke alatt száradni hagytam, majd megfordítottam és 48 órára 37 °C-os inkubátorba tettem. Ezután a szilárdított tápközeg felületén kinőtt telepszám alapján határoztam meg a mikrobaszámot. (MARÁZ és FARKAS, 2000)

Kísérleteim során a tejsavbaktériumok számát és az összes mikrobaszám mennyiségét vizsgáltam a savóban, a mustban és a szűrletekben, ezért kétféle táptalajra volt szükségem. A tejsavbaktériumok számának kimutatására MRS-agart használtam, az összes élősejt számának meghatározására pedig YEPD-agart. Mind a két tápközeget sterilizáltam, majd szintén steril petricsészékbe öntve lemezt készítettem. (BÁNHEGYI, 1980)

MRS-agar:

- 52,2 g MRS-táptalaj
- 1000 ml Desztillált víz

Az összetevőket összekevertem és 15 percig sterilizáltam 118 °C-os autoklávban.

YEPD-agar:

- 5 g Pepton
- 5 g Élesztőkivonat
- 10 g Glükóz
- 15 g Agar
- 1000 ml Desztillált víz

Az összetevőket összekevertem és 15 percig sterilizáltam 118 °C-os autoklávban.

A kísérletek során az egyik legnagyobb nehézséget az okozta, hogy a mikroszűrés nem ugyanabban a környezetben történt, mint a mikrobiológiai vizsgálat. A szűrlet mintavételezésénél ezért vigyázni kellett arra, hogy az amúgy sem nevezhető mikrobiológiailag tiszta helységben, a szűrletminták ne fertőződjenek be a savó mikroorganizmusával.

Másik problémát a két vizsgálati helység közötti távolság okozta. Ezt úgy oldottam meg, hogy a mintákat előre sterilizált, csavaros edényekbe öntöttem és ezután tört jéggel feltöltött hűtőtáskába helyeztem azokat. Ezzel sikerült elérnem azt, hogy a szállítás során a mintáim ne fertőződjenek be más mikroorganizmusokkal és az azonnali hűtés során meg tudtam állítani a mintákban lévő élő sejtek továbbszaporodását.

4.7 Érzékszervi minősítő vizsgálatok

A kezeletlen és szűrt must minták érzékszervi minősítő bírálata egy független panel segítségével lettek kivitelezve. A vizsgálatok egy speciális (ISO 8589, 1988), 8 fülkéből álló érzékszervi minősítéssel foglalkozó laboratóriumban készültek (12. ábra).



12. ábra Az érzékszervi minősítő laboratórium

A bírálatok tervezését és magas szintű matematikai értékelését érzékszervi célszoftver biztosította (KÓKAI és társai, 2002). A bírálók elkülönített bírálófülkékben dolgoztak (13. ábra).



13. ábra Az egyik bírálófülke

4.8 Mérési jellemzők

A szűrési kísérletek során a következő jellemzőket határoztam meg:

Szűrletfluxus: Szakaszos üzemmódban végzett töményítésnél bizonyos idő alatt lefolyt szűrlet mennyiségét mértem. Az eltelt idő, a lefolyt térfogat és a membrán aktív felületének ismeretében számítottam ki a szűrletfluxust $[L/m^2h]$ mértékegységben az alábbi képlet szerint:

$$J = \frac{V}{A \cdot t}$$

Ahol:

- V Az adott idő alatt átfolyt szűrlet térfogata, L
- A A vizsgált membrán aktív felülete, m^2
- t Az eltelt idő, h

Sűrítési arány: A sűrítési arány mértékegység nélküli szám, azt adja meg, hogy az eredeti térfogathoz képest hányad részére csökkent a sűrítmény térfogata. A sűrítési arányt a következő képletből számítottam ki:

$$F = V_F / V_R$$

Ahol:

- V_F Kiindulási térfogat, L
- V_R A sűrítmény térfogata, L

Termékkihozatal: A különböző összetevők kihozatalát az egyes szűrések során %-ban határoztam meg az alábbi képlet alapján:

$$Y_f = \frac{c_R \cdot V_R}{c_F \cdot V_F} * 100$$

Ahol:

- c_R A sűrítmény vizsgált összetevőjének koncentrációja, g/L
- c_F A kiindulási vizsgált összetevő koncentrációja, g/L
- V_F Kiindulási térfogat, L
- V_R Sűrítmény térfogat, L

A vizsgált membrán visszatartása: Az egyes membránok visszatartását a szürendő oldat egyik kívánatos komponensére vonatkoztatva, a membrán retenciós képességének nevezzük, amely a membrán pórusméretétől és a komponens móltömegétől függ.

$$R = \left(1 - \frac{c_P}{c_R}\right) * 100$$

Ahol:

- R A membrán visszatartása, %
- c_P A szűrlet vizsgált összetevőjének koncentrációja, g/L
- c_R A sűrítmény vizsgált összetevőjének koncentrációja, g/L

4.9 Membrán bioreaktor

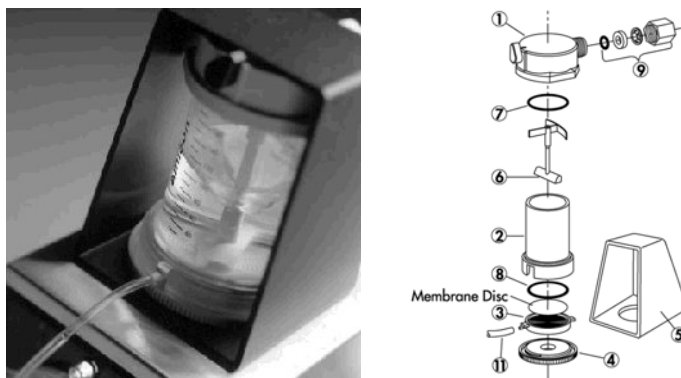
4.9.1 A tejsavó modell oldatok és az alkalmazott enzim

Különböző laktóztartalmú (7, 20%) oldatokat készítettünk tejsavó porból, amik az eredeti savót modellezték. A port 30 °C-os desztillált vízzel kevertük össze 30 percig. A modell oldatot NaOH hozzáadásával állítottuk be 7-es pH-ra.

Az enzimatis hidrolízis során *kluveromyces lactis* β -D-galaktozidázt (Maxilact® L 2000, Gist-Brocades NV, Delft, Hollandia) használtam, aminek 135000 Da volt a molekulásúlya. Az enzim molekulásúlya fontos tényező a membrán kiválasztásában. Egy gramm enzim 2000 laktóz egységnek felel meg, ami azt jelenti, hogy egy egység enzim az előírt körülmények mellett 1 μ mol O-nitrophenolt képes átalakítani az enzimaktivitási teszt során.

4.9.2 Membránszűrő berendezés

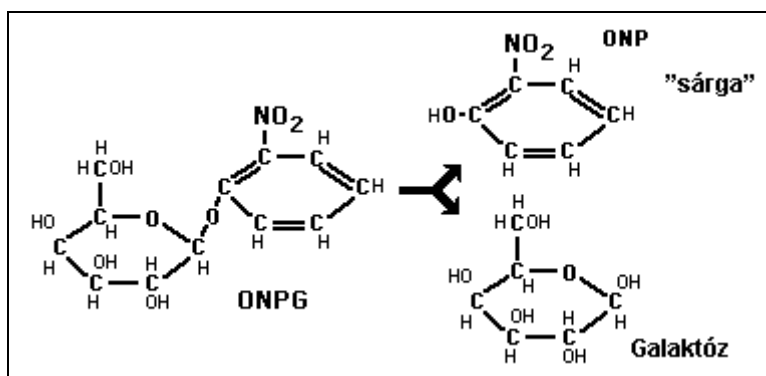
Az ultraszűrési kísérleteket egy laboratóriumi Amicon (Millipore) keverőcellával (14. ábra) végeztük 4 bar nyomáson, nitrogéngáz segítségével. A membránok vágási értékét az enzim molekulásúlya szerint választottuk ki. A permeátum előállításához egy 10 kDa-os Pall és egy 30 kDa-os Nadir lapmembránt használtunk 28.26cm² aktív felülettel. Az enzimes bontás utáni ultraszűrésnél (membránreaktor) egy 5 kDa-os Nadir lapmembránt alkalmaztunk.



14. ábra Amicon, laboratóriumi keverőcella

4.9.3 Analitikai eljárások

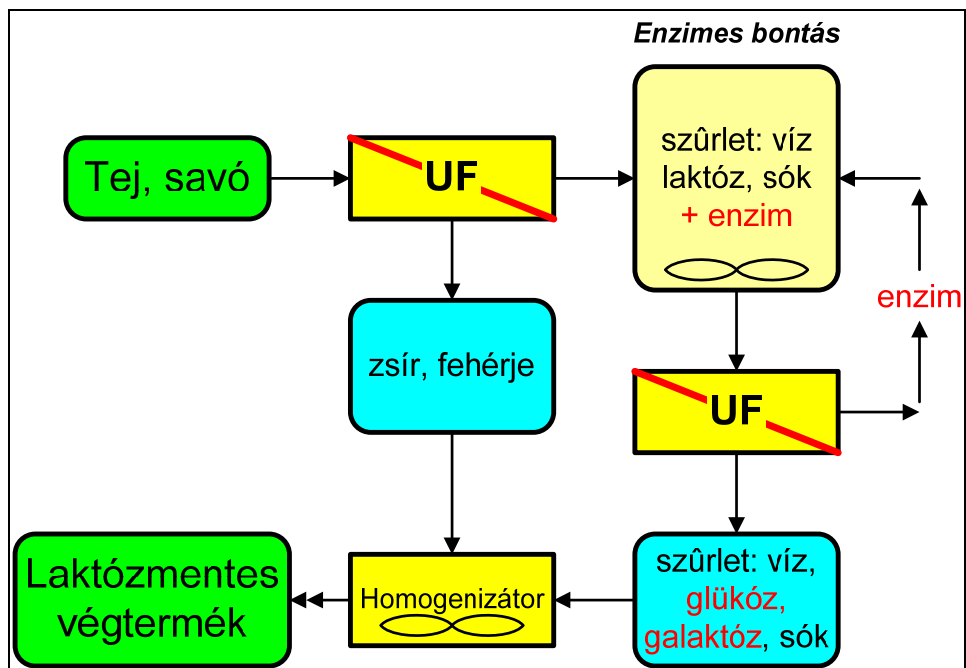
Az enzim aktivitását egy Hitachi spektrofotométer segítségével mértük a koncentrátum és a permeátum esetében egyaránt. Az enzimaktivitás mérésére ONPG vegyületet használtunk. Az ONPG vegyület (15. ábra) színtelen és annak egyszerűbb ONP változata is semleges és savas pH mellett, azonban lúgos oldatban az ONP sárga színű lesz. Az aktivitásmérés során ONPG vegyületet adagoltunk az NaOH-oldattal kevert mintákhoz és mértük a küvetták színváltozását. Ha a küvettában lévő oldat színe nem változik (színtelen marad), akkor a mintában nem található enzim. Ha változik a küvette színe (folyamatosan sárgul), akkor enzim került a mintába és a színváltozás erősségével mérhető az enzim mennyisége.



15. ábra. Az ONPG vegyület

4.9.4 A membrán bioreaktor és működése

A kísérletek során membránreaktorként az Amicon cella szolgált. A tejsavó membrános laktóz mentesítését kétlépcsős membrántechnikai eljárással (16. ábra) lehetett megvalósítani. Az első lépcsőben ultraszűréssel szeparáltuk a zsírt és a fehérjét a savóból. A második lépcsőben enzimet adagoltunk a tejsavó permeátumhoz és meghatározott idejű keverés után ultraszűrést alkalmaztunk. Ez a második szűrés lehetővé tette, hogy az enzimeket visszanyerjük és folyamatossá tegyük az enzimes bontást. A második lépcsőben csak az enzimeket tartja vissza a membrán, mert a vele megegyező méretű vagy nagyobb komponenseket már az első lépcső során elválasztottuk.



16. ábra. Tejsavó laktózmentesítése kétlépcsős membrántechnikai eljárással

5. Eredmények

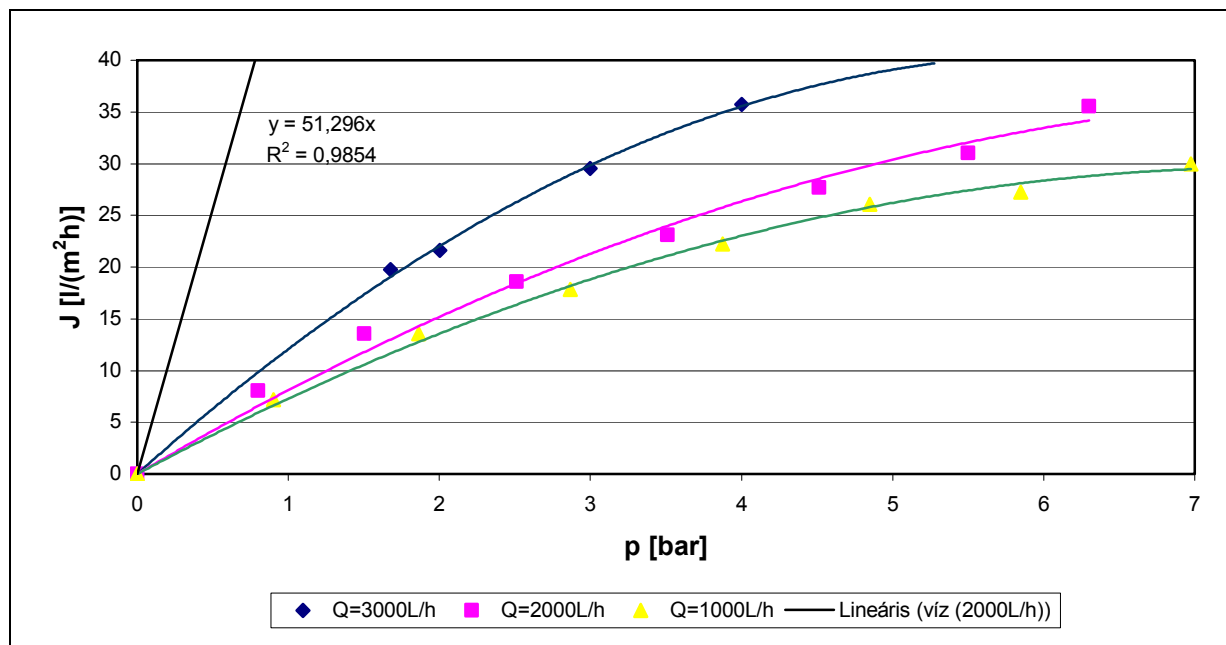
5.1 A tejsavó és a must feldolgozási lehetőségei mikroszűréssel

Kísérleti munkám során mozzarella sajt savóját és különböző mustokat szűrtem félüzemi kerámia és kapillárcsöves mikroszűrő berendezésekkel. A szűrések elsődleges célja az alapanyagokból való lebegő anyagok eltávolítása, valamint a tejsavó zsírtartalmának szeparálása volt. A szűrések másodlagos célja az alapanyagok csírátlanítása volt. Vizsgálataim elsősorban a kapillárcsöves modul visszatartására, valamint a szűrés mikrobiológiai hatékonyságára irányultak.

A mustok mikroszűrésénél a kapillárcsöves modul mellett egy kerámia modult is alkalmaztam, hogy összehasonlíthassam a különböző technológiák hatékonyságát. Az összehasonlításnál a kiindulási anyag és a végtermékek minőségi paramétereit vettem alapul, ezért a kiértékelésénél érzékszervi minősítést végeztem.

5.1.1 A Mozzarella savó mikroszűrése

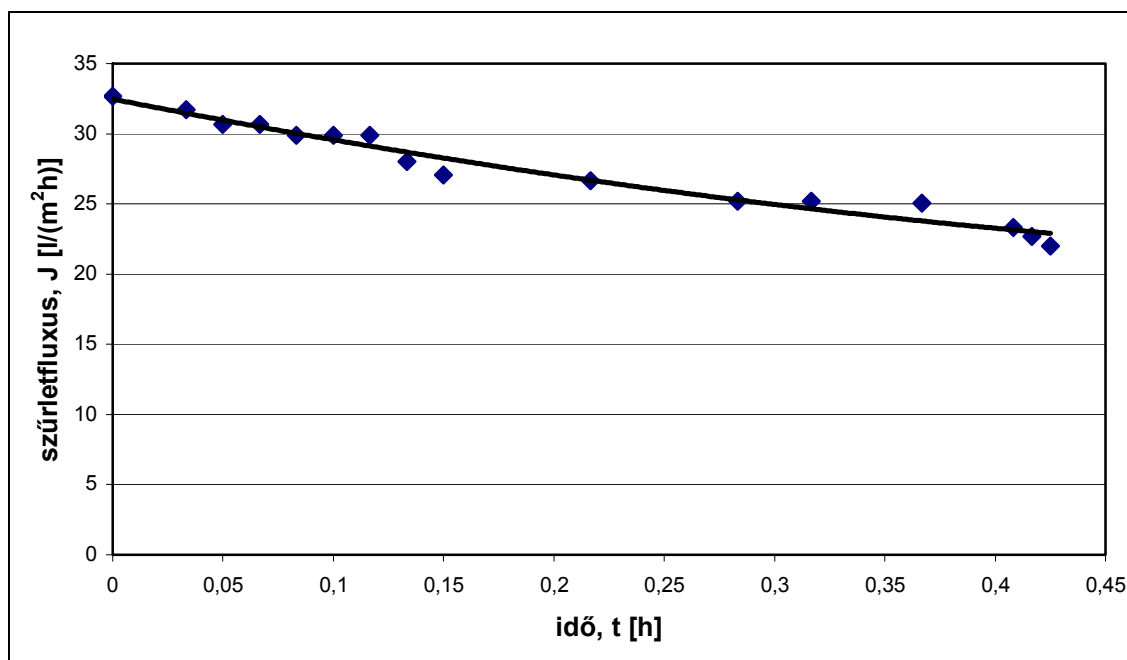
A mozzarella savó mikroszűrésénél első körben a különböző paraméterek (recirkulációs térfogatáram, transzmembrán nyomás) hatását vizsgáltam 30 °C-on, kerámia modulon. A 17. ábrán jól látható a nyomás és a recirkulációs térfogatáram fluxusnövelő hatása.



17. ábra A tejsavó fluxus-nyomás diagramjai különböző recirkulációs térfogatáramok mellett a mikroszűrés során, kerámia modul, 30 °C

Az előzetes összehasonlítások után, kiválasztva a szivattyú ideális (2000 l/h) recirkulációs térfogatáramát, a savót mikroszűrő berendezésre vezettem és 30 liter kiinduló mennyiségből közel

15 liter permeátumot kaptam a szűrés végére. A mikroszűrés fluxusának lefutását az idő függvényében a 18. ábra szemlélteti. A tartályban lévő savó habosodása jelentette a szűrés végét.



18. ábra A savó szűrletfluxusának alakulása a mikroszűrés ideje alatt

A zsír szeparálása szempontjából eredményesnek tekinthető a szűrés, mert a művelet visszatartása 98% feletti volt. Ez a nagyarányú visszatartás a 0,2 μm nagyságú pórusméretnek köszönhető, mivel az irodalmi adatok szerint, a zsírgolyócskák mérete 0,1 és 20 μm között van. Ebből az eredményből arra lehetett még következtetni, hogy a savóban található zsírgolyócskák inkább a 0,2 μm -nél nagyobb tartományba esnek és csak nagyon kis arányban található 0,2 μm -nél kisebb zsírgolyócska.

8. táblázat. A savó és az MF-szűrlet összetevőinek koncentrációja

%	Zsír	Fehérje	Laktóz
Savó	0,79	0,72	3,90
MF-szűrlet	0,01	0,24	3,14
Visszatartás	98,7	66,7	19,5

A 8. táblázat jól szemlélteti a kiindulási savó és a mikroszűrt szűrlet közötti összetételbeli különbségeket.

A fehérjetartalom Kjeldal-féle meghatározásánál nem várt eredményeket kaptam, ezért többször is el kellett végezni az analitikai vizsgálatokat. Mivel többszöri mérések után is ugyanazokat az

értékeket kaptam, ezért már egyértelmű volt, hogy a fehérjéket igen nagy arányban (66,7%) visszatartotta a modul.

A mikroszűrőnek a fehérjetartalom teljes egészét át kellett volna engednie, mivel irodalmi adatok szerint (2. táblázat), még az aránylag nagyobb méretű kazeinmicellák is kisebbek, mint a pórusméret. Ez az eredmény azzal magyarázható, hogy a magas zsírtartalom miatt a retentátum oldalon egyfajta gélréteg keletkezett és ennek hatására megnőtt a fehérje visszatartás. Másik magyarázat lehet az, hogy a fehérjék védőkolloidként kapcsolódhatnak a tejzsírhoz, így a zsírral együtt a retentátumban maradnak (SCHÄFFER, 2001).

A laktóz esetében is látható változás, de ez a mértékű visszatartás jóval kisebb arányú, mint a fehérjéknél. A szűrés során csupán kb. 19,5%-os laktóz veszteség volt a szűrletben. Az kismértékű visszatartás egy része betudható mérési hibának is, mivel a retentátumban sok vízben oldódó komponens is jelen van, így a laktóz molekulák mellett más komponensek is hozzájárulnak a refrakció értékéhez. Ezt egy további, egzakt laktóztartalom méréssel lehetne igazolni, illetve elvetni.

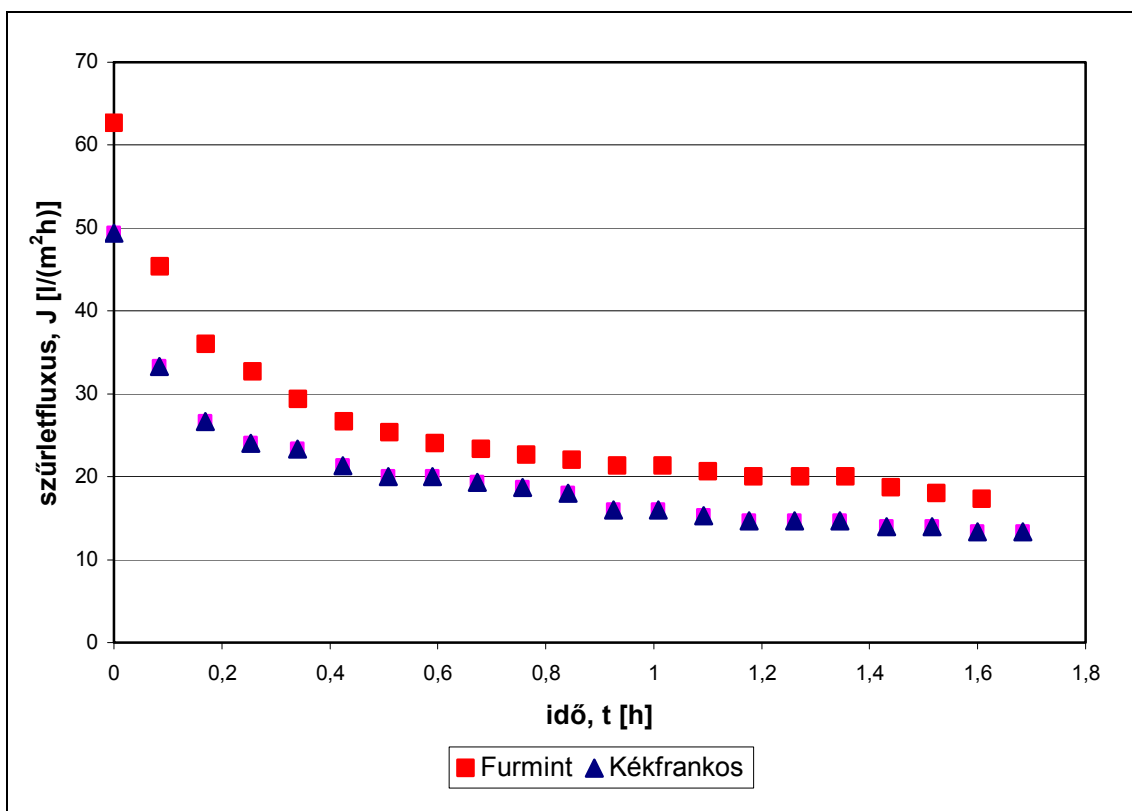
A szűrés eredmények után azt a következtetést vontam le, hogy a mikroszűrő szinte teljesen visszatartja a zsír komponenseket, de ez már a fehérjék és a laktóz esetében nem mondható el. A savó mikroszűrés előtti teljes zsírtalanításával valószínűleg javulnának ezek az eredmények, de ezek ellenére is megállapítható, hogy a tejsavó zsírtalanítása mikroszűréssel sikeresen elvégezhető. A pórusméret növelésével a fehérje és laktóz visszatartás csökkenthető, melynek vizsgálatára további kísérletek szükségesek.

5.1.2 Mustok mikroszűrési vizsgálatai

A mikroszűrés során a mustok fluxusának változását kísértem figyelemmel. Mindkét must esetében 40 l volt a kiindulási anyag. A méréseket 2 bar nyomáson és 32°C-on végeztem.

A 19. ábrán jól látható, hogy a Furmint fluxus értékei magasabbak voltak a Kékfrankosénál, így ez utóbbiból kevesebb permeátumot sikerült kinyerni ugyanannyi idő alatt. Ez a Furmint mustnál 25 l permeátumot, a Kékfrankos mustnál 20 l szűrletet jelentett.

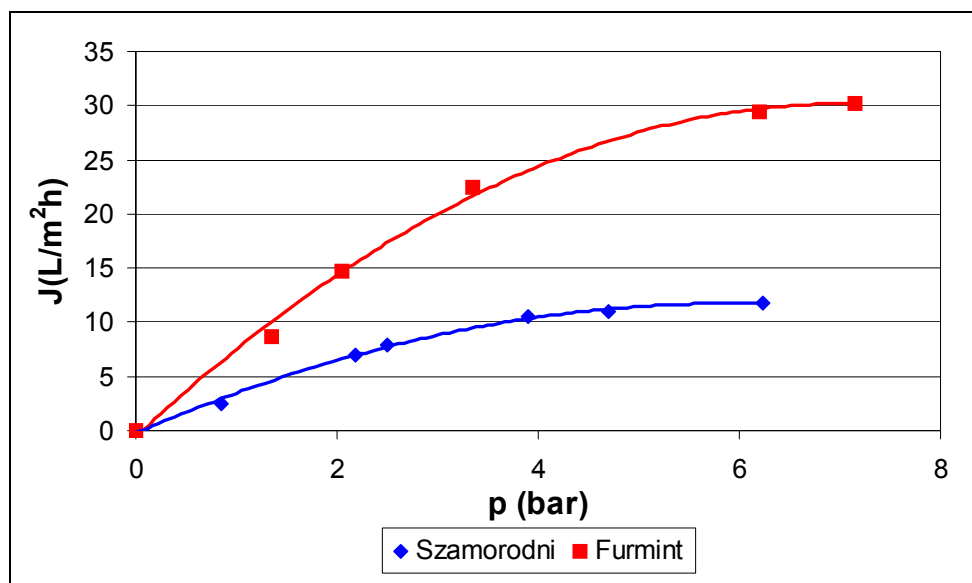
A szűrletfluxus különbséget a mustok fizikai paramétere határozta meg, ami a vörösbor készítésének egyedi technológiájából következik. Vörösbor készítésénél a zúzott, bogyózott szőlőt több órán keresztül áztatják, amely művelet hatására a héjban lévő színyanyagok és egyéb komponensek oldódnak a mustba.



19. ábra. A Kékfrankos és a Furmint must szűrletfluxusának alakulása a mikroszűrés ideje alatt

A kísérletek folyamán Szamorodni bor készítésére alkalmas mustot, valamint Tokaji Furmint mustját mikroszűrtük és a szűrletek mennyiségének időbeli változását (fluxus) mértük L/m^2h -ban. A mikroszűrést követően tükrösítési és mikrobiológiai vizsgálatokat végeztünk.

A 20. ábrán a Szamorodni és a Furmint must mikroszűrésének összehasonlítása látható kerámia membránon ($0,2 \mu m$ pórusméret, $0,2 m^2$ felület). Mivel a Szamorodni must magasabb szerves- és lebegőanyag tartalommal rendelkezett, ezért jelentős szűrletfluxus csökkenést okozott.



20. ábra A fehér mustok fluxus-nyomás diagramja a mikroszűrés során

A mikroszűrés műveletének elsődleges célja a lebegőanyag-tartalom csökkentése volt. A 21. ábrán a Szamorodni must látható a mikroszűrés előtti és utáni állapotában.



21. ábra Szamorodni must a mikroszűrés előtti és utáni állapotban

A szűrést a tükrösítés szempontjából eredményesnek tekinthetjük, mivel a membrán teljes mértékben visszatartotta a lebegő anyagokat. Mind a két must esetében hasonló következtetés vonható le, de legszemléletesebb eredményeket ennél a mintánál kaptunk.

5.1.3 A mikroszűrt savó mikrobiológiai vizsgálatai

A mikroszűrés során nem csak analitikai, hanem mikrobiológiai vizsgálatokat is végeztem. Arra voltam kíváncsi, hogy az irodalmi adatok alapján (Tej csíráatlanítása) a tejsavónál is alkalmazható-e mikroszűrés a mikroorganizmusok kiszűrésére.

Mikrobiológiai vizsgálataim a tejsavbaktériumok és az összes mikrobaszám vizsgálatára terjedtek ki. A kísérleteket kétféle agarral végeztem:

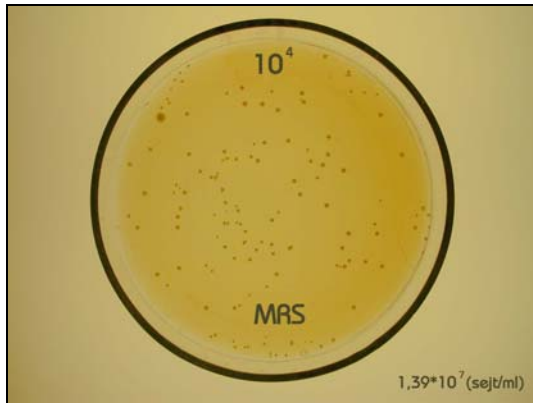
Az **MRS-agar** az élő tejsavbaktériumok számának meghatározására alkalmas. A 48-órás inkubálás után a táptalaj felületén jól láthatóak voltak a kifejlődött telepek. A telepek száma megegyezik a szélesztés során bemért minták tejsavbaktérium számával.

A szűrés kezdetén tejsavó mintát vettem a recirkulációs tartályból, ami később a tejsavó vizsgálatok alapjául szolgált. A mikrobiológiai kísérletek során ebből a mintából készítettem 10^0 - 10^9 -szeres hígításokat és szélesztettem MRS-agarra.

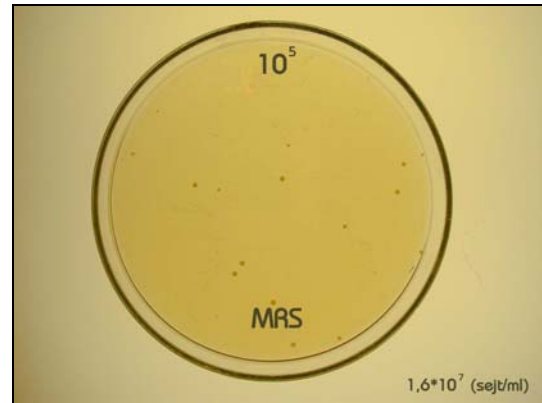
Az inkubálás után a telepek jól láthatóak voltak a petricsészékben. Előre lehetett sejteni, hogy kisebb hígításoknál a túl magas tejsavbaktérium szám miatt a telepek összenőnek és így

számlálásuk nehézkessé válhat. Ez be is igazolódott, mert csak 10^3 -nál nagyobb hígításoknál lehetett a telepeket eredményesen leszámolni.

A 10^4 és 10^5 hígítások voltak azok, amelyek alapján meghatároztam a mintában lévő tejsavbaktérium számot. Ezeket a petricsészéket a 22. és a 23. ábrák szemléltetik.



22. ábra. 10^4 hígítás (tejsavó)

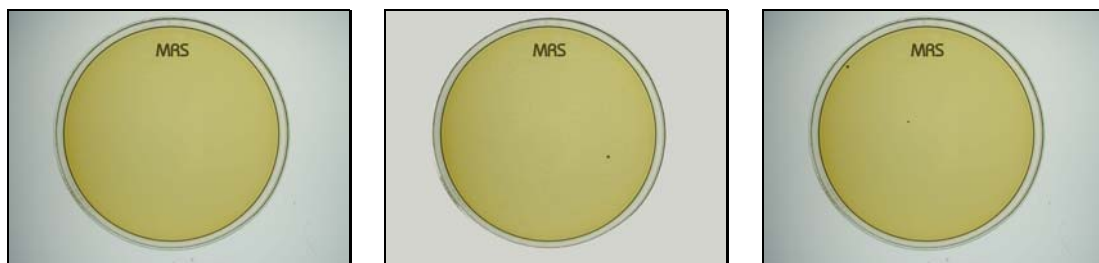


23. ábra 10^5 hígítás (tejsavó)

Mind a két petricsészén jól leszámolhatók a telepek. 10^5 hígításnál $1,6 \cdot 10^7$ (sejt/cm³) sejtszámot, 10^4 hígításnál pedig $1,39 \cdot 10^7$ (sejt/cm³) sejtszámot állapítottam meg. Mivel a 10^4 hígítás egy pontosabb értéket mutat, ezért ezt a számot tekintem végeredménynek. Ezen eredmények szerint, a tejsavó tejsavbaktériumainak száma: $1,39 \cdot 10^7$ (sejt/cm³).

A savó szűrletmintát is előre sterilizált edényekbe öntöttem, de nem egy mintát vettem, mint a savó esetében, hanem hármat. Az első mintát a szűrési művelet kezdetén, a másodikat a közepén, a harmadikat pedig a végén fejttem le.

A savó szűrletminták mikrobiológiai vizsgálatánál ugyanolyan módon jártam el, mint a kiindulási tejsavónál: 10^0 - 10^9 -szeres hígításokat készítettem és ezeket szélesztettem az MRS-agarra, majd szintén 48 órás, 37 °C-os inkubálás után a tejsavbaktérium telepek jól leszámolhatók voltak. (24. ábra)



24. ábra. 10^0 hígítás (savó szűrletek: 1. szűrés elején, 2. szűrés közepén, 3. szűrés végén)

Telepeket csak hígítás nélküli esetekben lehetett megszámolni, ami azt jelenti, hogy a szűrletbe nem, vagy csak nagyon kis mennyiségben jutottak át a tejsavbaktériumok.

A szűrés kezdetén vett minta eredménye azt mutatja, hogy a szűrletbe egyáltalán nem jutottak át tejsavbaktériumok. Ebben az esetben elmondható az, hogy a mikroszűrő tejsavbaktérium visszatartása 100%-os és a kezdetben vett minta tejsavbaktérium száma 0 (sejt/cm³).

A szűrés közepén és végén vett minták vizsgálatánál azonban már megjelentek tejsavbaktérium telepek (1 ill. 2 db), de ezek az eredmények is azt tükrözik, hogy a mikroszűrő hatásosan kiszűrte a tejsavbaktériumokat a savóból.

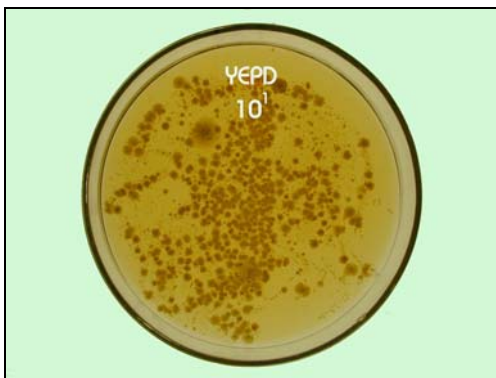
Bár a mikrobaszám változás nem jelentős a különböző időkben vett szűrletmintáknál, mégis elmondható az, hogy a szűrés előrehaladtával nőtt a minták tejsavbaktérium száma. Ez a növekedés feltételezhetően annak tulajdonítható, hogy a szűrés során a sűrítmény egyre nagyobb koncentrációban tartalmazott tejsavbaktériumokat és ennek hatására egyre több jutott át a szűrletbe (He at al. 2005.).

Mivel a közel hatszorosára betöményített tejsavó szűrleténél is csak csekély mennyiségű tejsavbaktérium jutott át a szűrletbe, ezért elmondható, hogy a csírátlanítás sikeres volt.

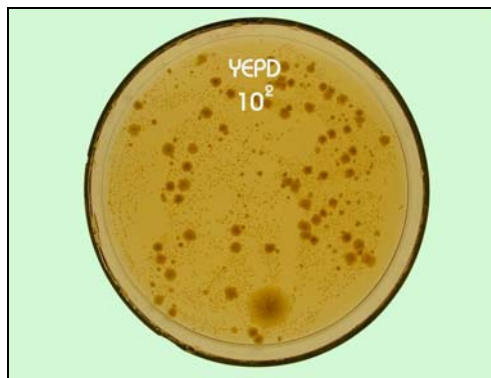
A további mikrobiológiai vizsgálataimat **YEPD-agaron** végeztem. Ennek a tápközegnek az a tulajdonsága, hogy komponensei révén az összes mikroorganizmus képes felületén szaporodásra, így alkalmazásával nem csak tejsavbaktériumok kimutatására van lehetőség. Ennek segítségével az is megvizsgálható, hogy vajon milyen mikroorganizmusoknak sikerült a tejsavbaktériumokon kívül a szűrletbe átjutniuk.

A kísérleteket ugyanolyan módon végeztem el, mint az MRS-agaros vizsgálatoknál. Szintén hígítási sorokat készítettem, amiket a YEPD-tápközegre szélesztettem.

A 25. és 26. ábrákon jól látható, hogy a savó kisebb hígításainál a tejsavbaktérium telepek mellett más mikroorganizmusok is (fonalas gombák, élesztők, stb.) kinőttek. Ez azt bizonyítja, hogy nem csak tejsavbaktériumok voltak a savóban.

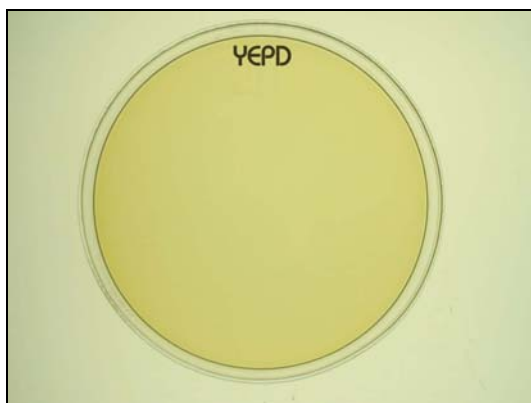


25. ábra. 10^1 hígítás YEPD (tejsavó)



26. ábra 10^2 hígítás YEPD (tejsavó)

Azokból a telepekből, melyek nem hasonlítottak a tejsavbaktériumokra, mintát vettem, majd metszetet készítettem és mikroszkóposan vizsgáltam. Ezek az "idegen" mikrobák különböző élesztősejtek és penészgombák voltak. Mivel ezek az idegen mikroorganizmusok csak elszórtan voltak megtalálhatók a tejsavbaktériumok mellett (nagyságrendekkel kevesebb telepszám), ezért feltételezhetően a savó mintavételezésénél kerülhettek abba.



27. ábra. 10^0 hígítás (szűrlet)

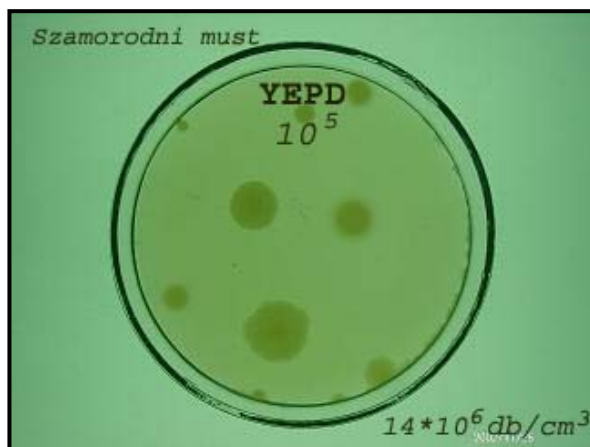
A 27. ábrán jól látható, hogy a YEPD-agaron szélesztett szűrletből egyetlen telep sem nőtt ki 10^0 hígításnál sem. A vizsgálatokat szintén mind a három időben vett mintánál elvégeztem, de egyiken sem találtam telepeket. Ebben az esetben elmondható az, hogy a mikroszűrő összes mikroba visszatartása közel 100%-os és a kezdetben vett minta tejsavbaktérium száma megközelíti a 0 sejt/cm³ értéket.

A YEPD-agaron tett kísérletek is azt mutatják, hogy a mikroszűrő tökéletesen megsűrte a mikrobákat és az eljárás nagy biztonsággal alkalmazható a savó csírátlánítására.

5.1.4 A mikroszűrt szamorodni must mikrobiológiai vizsgálatai

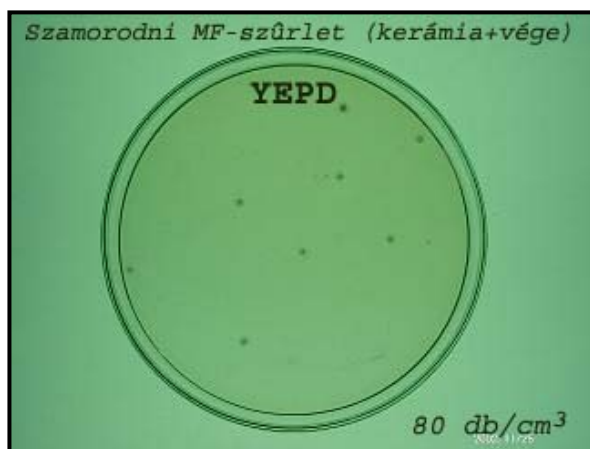
A szamorodni must mikroszűrése után mikrobiológiai vizsgálatokat végeztem. Arra voltam kíváncsi, hogy must esetében alkalmazható-e mikroszűrés a mikroorganizmusok kiszűrésére. Mikrobiológiai vizsgálataim az összes mikrobaszám vizsgálatára terjedtek ki, melyet **YEPD-agaron** végeztem.

A szamorodni must kiindulási mikrobiológiai állapotát 5-szörös hígításnál tudtam megállapítani. A 28. ábrán leolvasható a must kezdeti állapota, ami $14 \cdot 10^6$ mikrobát jelent 1 cm^3 mustban.



28. ábra. A szamorodni must mikrobiológiai vizsgálata YEPD agaron, 10^5 -szeres hígítás

A 29. ábrán jól látható, hogy a YEPD-agaron szélesztett szűrletből 80 db mikroba nőtt ki 1 cm^3 mustra nézve. A vizsgálatokat szintén mind a három időben vett mintánál elvégeztem, így a legmagasabb telepszámot mutató, a szűrés végén vett minta esetében is megállapítható, hogy a mikroszűrés a mustban lévő mikrobákat közel 100%-ban visszatartotta és így a szűrletben lévő mikroorganizmusok száma minimálisra csökkent.



29. ábra. A szamorodni szűrlet mikrobiológiai vizsgálata YEPD agaron

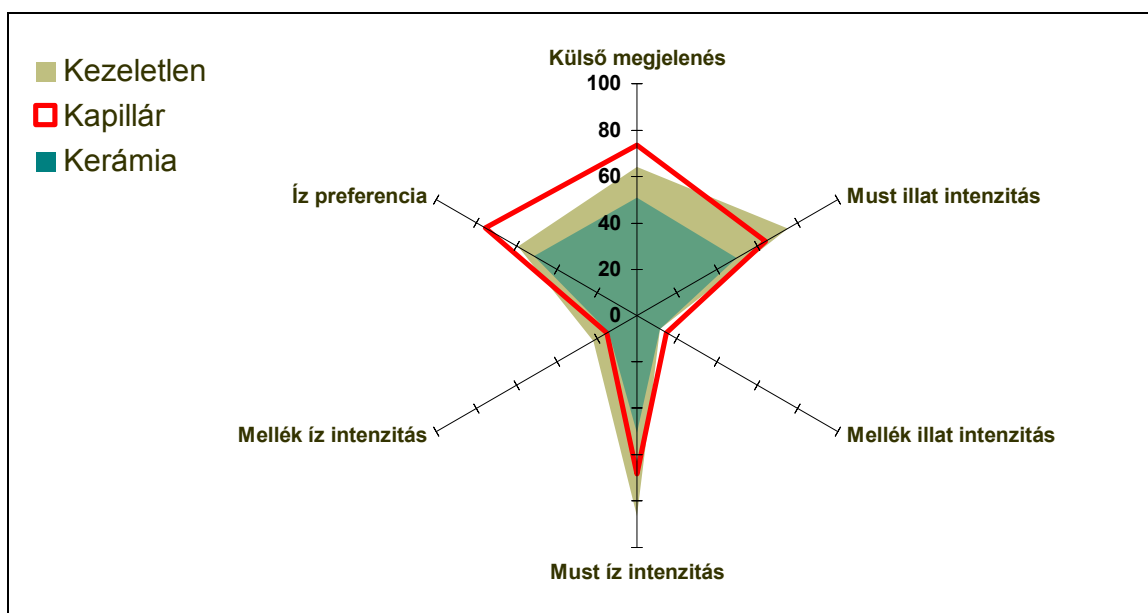
A YEPD-agaron tett kísérletek igazolják, hogy a mikroszűrő nagy hatékonysággal megszűrte a mikrobákat és az eljárás nagy biztonsággal alkalmazható a mustok csíráatlanítására.

5.1.5 A kékfrankos must érzékszervi vizsgálati eredményei

A kezeletlen és mikroszűrt mustok érzékszervi minősítése után, érzékszervi profil analízist alkalmaztunk az eredmények kiértékelésére (MSZ ISO 11035:2001). A bírálók az alábbi tulajdonságok alapján értékelték ki a must mintákat:

- Külső megjelenés;
- Must illat intenzitás;
- Mellék illat intenzitás;
- Must íz intenzitás;
- Mellék íz intenzitás;
- Íz preferencia.

Az eredményeket a következő érzékszervi profilanalízis diagram mutatja (30. ábra).



30. ábra. A kékfrankos must és mikroszűrt változatainak érzékszervi profiljai %-os megjelenítésben

Az eredményekből adódóan, az alábbi hatása volt a must mikroszűrésének:

- A kapillárcsöves modullal szűrt must külső megjelenésében jobb volt a kezeletlen változattól
- Az íz és illat intenzitásokban csekély különbség volt
- A bírálók mellék íz intenzitás szempontjából előrébb sorolták a kezelt mintákat.

5.2 A Mozzarella savó ultraszűrése

Kísérleti munkám során mozzarella sajt savóját szűrtem félüzemi, spiráltekercs modul tartalmazó ultraszűrő berendezéssel. A tejsavó betöményítését állandó hőmérsékleten és nyomáson, valamint állandó recirkulációs térfogatáram mellett végeztem.

9. táblázat. A savó és az UF-szűrlet összetevőinek koncentrációja

%	Zsír	Fehérje	Laktóz
Savó	0,79	0,72	3,90
UF-szűrlet	0,00	0,18	2,31
Visszatartás	100	75	40

A 9. táblázat jól szemlélteti a kiindulási savó és a szűrlet között lévő összetételbeli különbségeket.

Az ultraszűrést a mikroszűréssel megegyezően végeztem. Azt vizsgáltam, hogy a szűrés során milyen mértékben jutnak át az egyes összetevők a szűrletbe és milyen tényezők hatnak a műveletre.

Az ultraszűrés a tejzsír teljes mennyiségét visszatartotta a besűrítés során, ami nem meglepő a membrán pórusmérete miatt. A fehérjék és a laktóz esetében viszont kevésbé jó eredményeket kaptam.

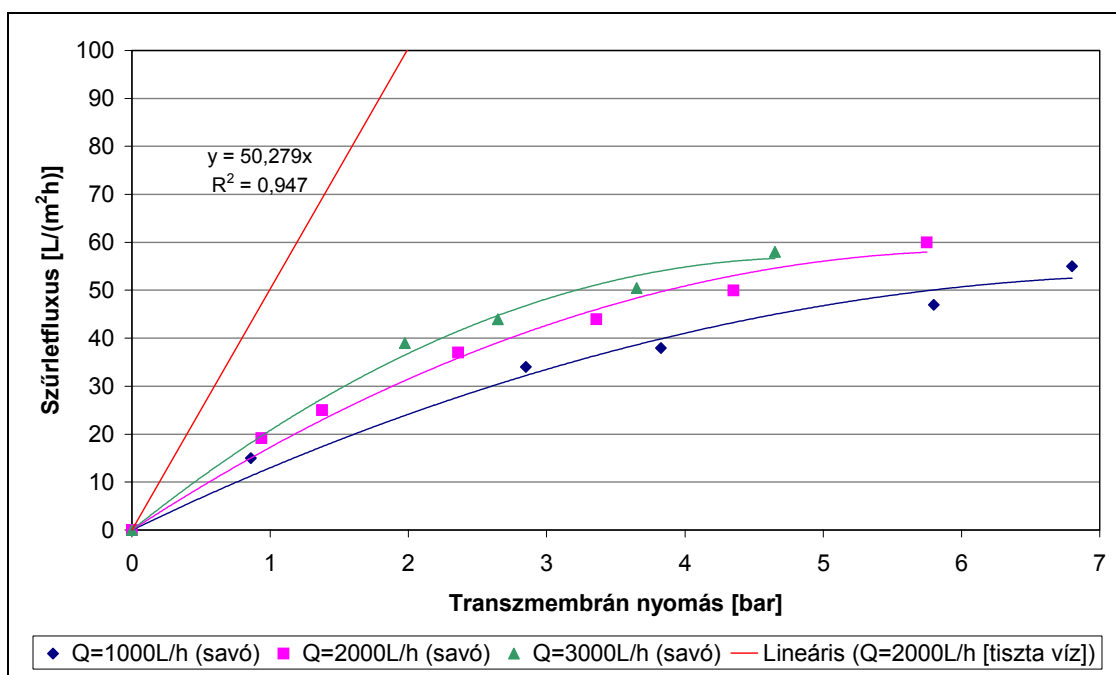
A membrán a fehérjéknek csupán a 75%-át tartotta vissza. Ezt azokkal az irodalmi adatokkal magyarázom, hogy a savó inkább kisebb méretű savófehérjéket tartalmaz és szegényebb a nagyobb molekulaméretű kazein fehérjékben. Valamint a fehérjeanalízis során nitrogéntartalmú anyagok mennyiségét vizsgáltam és ezek között akár 30 % nem fehérje nitrogén (NPN) is lehet. Ezért a jövőben további vizsgálatokat kellene végezni ezen nem fehérje eredetű, nitrogéntartalmú vegyületek kimutatására.

A laktóz méretét tekintve jóval kisebb, mint a membrán pórusmérete (2. táblázat). Ez azt jelenti, hogy a tejcukor molekuláknak teljes mennyiségükben át kellett volna jutniuk a szűrletbe. Az adatok azonban azt mutatják, hogy a membrán a laktóztartalom kb. 40 %-át megsűrte. Ezt a visszatartást már a mikroszűrés során is tapasztaltam, amit a magas zsírtartalom miatt képződő gélrétegnek, valamint a kevésbé egzakt refrakció vizsgálatnak tulajdonítható.

Vizsgálati eredményeket tekintve, a tejsavó közvetlen ultraszűrése részben volt eredményes. A magas laktóz visszatartás mindenképpen elveti azt a próbálkozást, hogy a savót szeparálás nélkül szűrjük. Ezért az ultraszűrés előtt egy megelőző mikroszűrést javasolt, aminek alkalmazásával a savó nem csak zsírtalanítási, hanem csíráatlanítási kezelést is kapna.

A savó besűrítése előtt különböző vizsgálatokat végeztem a membrán szűrési jellemzőire. Első lépésben vízzel töltöttem fel a táptartályt, majd hőmérsékletét a besűrítési értékre állítottam be. Ezután különböző nyomások és recirkulációs térfogatáramok mellett megmértem a szűrletfluxusokat.

A mérések után leengedtem a vizet és friss savóval töltöttem fel a tartályt. Szintén beállítottam a besűrítési hőmérsékletre és megmértem a szűrletfluxusokat. A víz és a savó szűrletfluxusainak változása a transzmembrán nyomás és a recirkulációs térfogatáram függvényében a 31. ábrán látható.

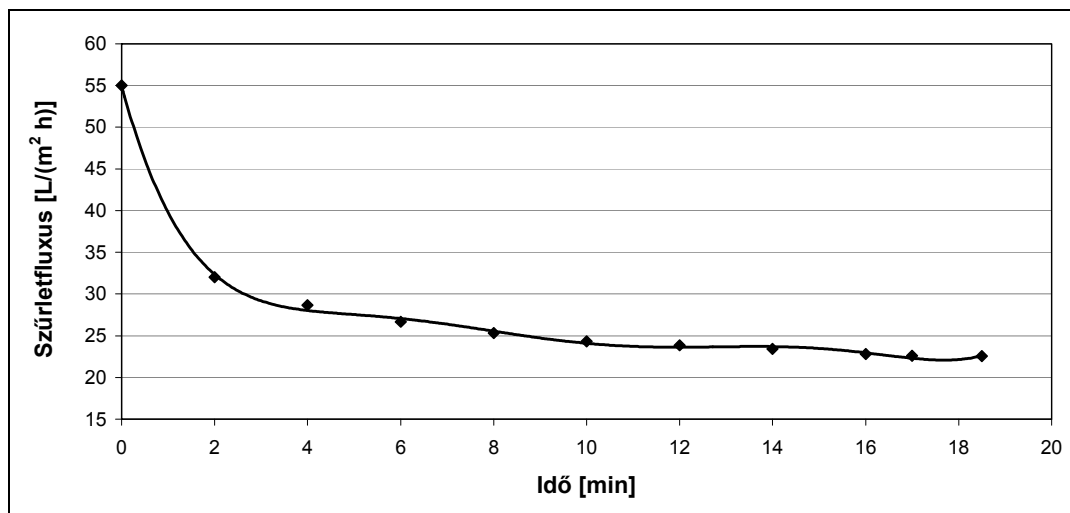


31. ábra. Víz és savó szűrletfluxusa a transzmembrán nyomás és a recirkulációs térfogatáram függvényében, 50 °C-on

A víz szűrletfluxus pontjaira egyenest vettem fel, mert az illeszkedett legjobban. Ebből az következik, hogy a víz szűrletfluxusa és a nyomás között egyenes arányosság van. A vízben nincsenek olyan nagyobb méretű sejtek, molekulák, amelyek befolyásolnák a szűrletfluxus és a transzmembrán nyomás közötti arányt. A víz szűrése során -a tajsavóval ellentétben- nincs hatással a recirkulációs térfogatáram változása a fluxusokra, ezért csak egy egyenes látható a diagramon.

A szétválások a savó esetében azonban jól látszódnak, viszont magasabb nyomás mellett már nem tapasztalható akkora különbség a szűrletfluxusok között. Ezekre a pontokra már a másodfokú polinomiális illeszkedett a legjobban. A görbék egy bizonyos nyomásértéknél elérték maximumukat, majd a nyomást tovább növelve állandósult értéket mutattak.

Egyértelmű azonban, hogy a nyomás növelésével a szűrletfluxus jelentősen nő, ezért érdemes megkeresni a görbék maximumát és ott végezni a további besűrítést. Az is nyilvánvaló, hogy a recirkulációs térfogatáram növelésével nagyobb szűrletfluxus érhető el. Ezek tudatában a besűrítést maximális recirkulációs térfogatáram (3000 L/h) és 5 bar mellett végeztem el. A szűrés eredményeit a 32. ábra szemlélteti.



32. ábra. Savó szűrletfluxusa az idő függvényében ($\Delta p_{TM} = 5$ bar, $Q_{rec} = 3000$ l/h)

A szűrletfluxus folyamatosan csökkent az idő múlásával. Ez a csökkenés a sűrítményben kialakuló egyre magasabb koncentrációnak tulajdonítható. A besűrítés előrehaladtával azonban ennek a csökkenésnek az aránya folyamatosan kisebb lett, míg végül kb. a 23 L/m²h értéknél kiegyenesedett a görbe, azaz állandósult a fluxus.

A művelet kezdetén a tiszta membránon akadálymentesen áramolhatott keresztül a szűrlet, de az idő múlásával a membrán felületén gélréteg keletkezett, ami csökkentette a művelet hatásfokát. A fluxusgörbe kiegyenesedése, a gélréteg teljes kialakulásával magyarázható.

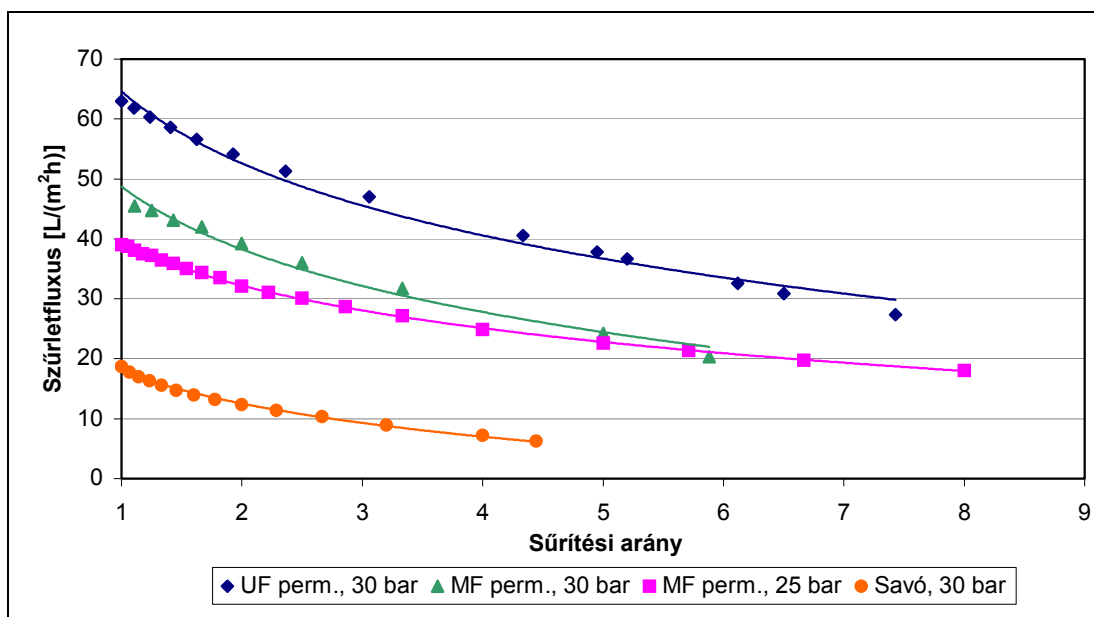
5.3 A Mozzarella savó és must koncentrációja nanoszűréssel

5.3.1 Mozzarella savó nanoszűrése

A mikro- és ultraszűrés után kapott szűrleteket, valamint friss savót szűrtem MILLIPORE gyártmányú, laboratóriumi nanoszűrő berendezéssel. Méréseim során különböző műveleti paraméterek hatásait határoztam meg az RA 75-ös MILLIPORE nanoszűrő membrán szűrési jellemzőire (szűrletfluxus, szűrlet és sűrítmény laktóz- ill. sótartalma).

Kezdetben a különböző szűrletek ill. a savó besűrítésének jellemzőit vizsgáltam. A elegyek szűrését azonos paraméterek mellett végeztem. A transzmembrán nyomás 30 bar, a recirkulációs

térfogatáram 200 L/h és az üzemi hőmérséklet 40 °C volt. A 33. ábra a szűrletek és a savó szűrletfluxusát mutatja be a sűrítési arány függvényében.



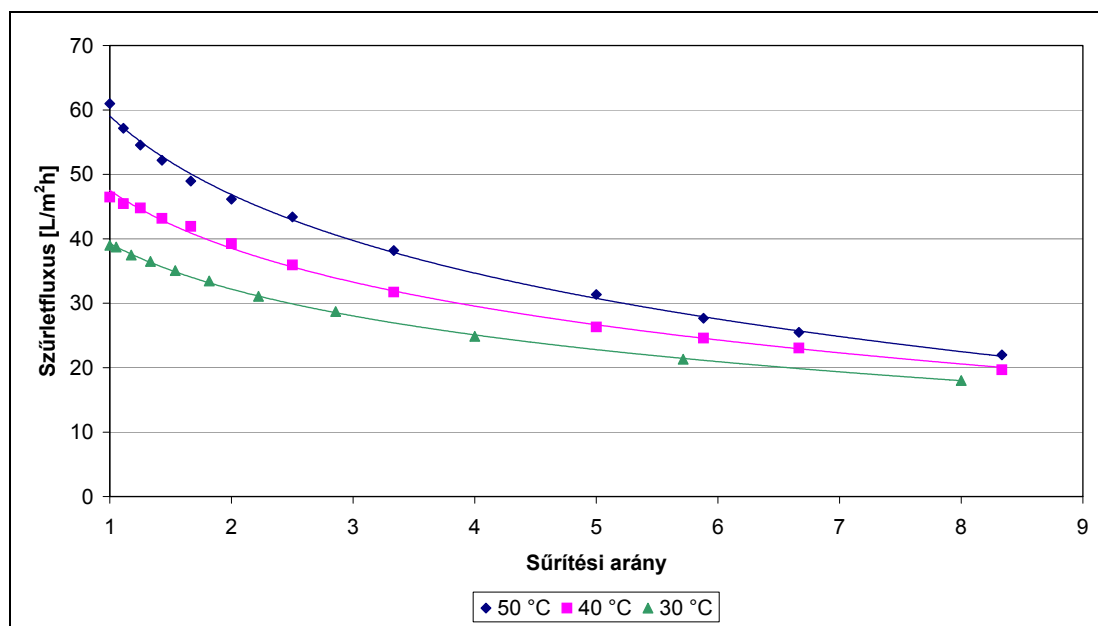
33. ábra. Különböző szűrletek és a Mozzarella tejsavó besűrítésének vizsgálata

Az azonos paraméterek melletti sűrítések nagyon jól szemléltetik a különböző szűrendő anyagok közötti különbségeket. Legnagyobb szűrletfluxust az UF-szűrletnél tapasztaltam, legkisebbet pedig a kezeletlen savónál. Az UF-szűrlet volt a legszegényebb fehérjékben és laktózban, valamint a savóval ellentétben nem tartalmazott tejszírt. Az ultraszűrésnél már tapasztaltak után, a nanoszűrésnél is nagyon jól látszódik a görbék ellaposodása, ami a membrán előtt képződő gélréteggel magyarázható.

A mikroszűrt szűrlet betöményítését 25 bar transzmembrán nyomás mellett is elvégeztem. A kezdeti szűrletfluxus értékek a nyomásoknak megfelelően alakultak, de a besűrítés során ezek a különbségek a sűrítési arány növekedésével folyamatosan csökkentek, majd kb. hatszoros betöményítésnél teljesen kiegyenlítődtek. Ebből azt a következtetést vontam le, hogy magasabb sűrítési arányoknál a nyomás már kevésbé befolyásoló paraméter. Ez azért lehet fontos megállapítás a szűrési műveletek során, mert magasabb sűrítési arányok elérésénél csökkenthető a transzmembrán nyomás és ezzel energiát takaríthatunk meg, valamint a szivattyúk élettartamát is megnövelhetjük.

A kísérletek során vizsgáltam a **hőmérséklet hatását**. A mikroszűréssel előkezelt Mozzarella savó betöményítését három különböző hőmérsékleten végeztem el. Céлом az volt, hogy megvizsgáljam mi a besűrítés optimális hőmérséklete és ennek a paraméternek milyen szerepe van

a szűrések során. A műveleteket azonos transzmembrán nyomás (30 bar) és recirkulációs térfogatáram (200 L/h) mellett vizsgáltam.



34. ábra. Hőmérséklet hatása az MF-szűrlet betöményítése során

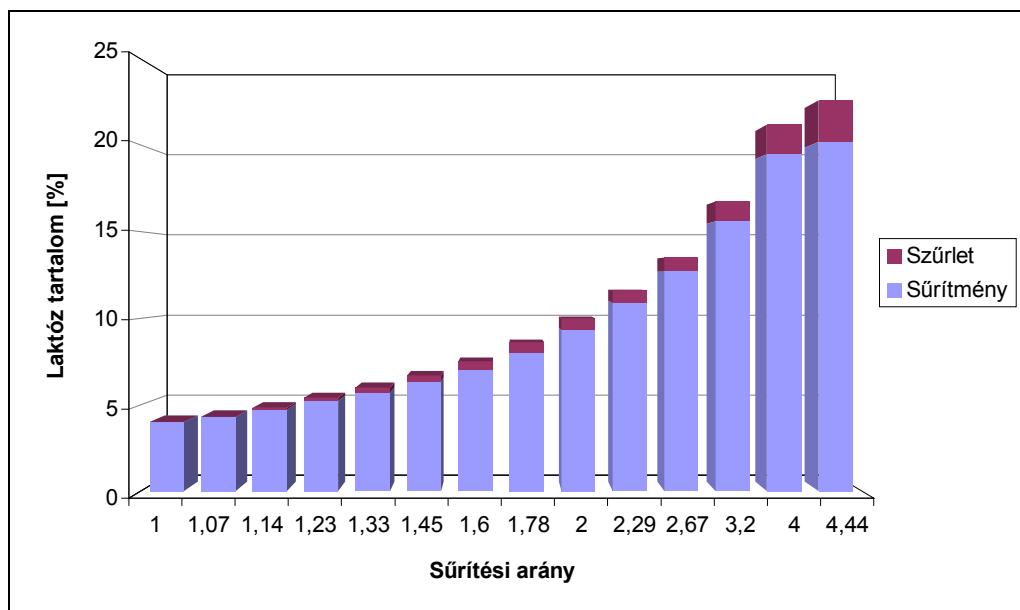
A hőmérséklet hatását a szűrletfluxusra, a 34. ábrán mutattam be. Az ábrán látható, hogy magasabb hőmérsékleteken nagyobb szűrletfluxus érhető el. A hőmérséklet emelése csökkenti az elegy viszkozitását, ami az áramlási sebesség növekedését vonja maga után. Nagyobb áramlási sebesség mellett pedig a szűrletfluxus is nagyobb, amint azt a már korábban vizsgált esetekben is tapasztalhattuk. Másik oka a fluxus növekedésének, a hőmérséklet emelésével együtt járó diffúziós tényező, ami csökkenti a határréteg ellenállását. A hőmérséklet emelésével valószínűleg kitágulhattak a membrán pórusai, mert a szűrlet laktóztartalma növekedett. Azonban ez a növekedés nem volt olyan mértékű, ami a szűrést eredménytelenné tette volna. Irodalmi adatok szerint 1 °C hőmérsékletemelkedés 3 %-os fluxus növekedést von maga után. (R. Ferrarini et al., 2001.)

A hőmérsékletnek hasonló hatása van, mint a nyomásnak. Mind a két paraméter hozzájárult a szűrletfluxus növekedéséhez, azonban a hőmérsékletnél is nagyon jól látszik, hogy magasabb sűrítési arányoknál a fluxuskülönbségek jelentősen csökkentek. Itt is azt a következtetést vontam le, hogy magasabb sűrítési arányoknál érdemes lehet az üzemi hőmérsékletet csökkenteni és ezzel energiát takaríthatunk meg.

Nanoszűrési vizsgálataim során azt állapítottam meg, hogy a besűrítéseket magasabb hőmérsékleteken érdemes végezni, de ennek több korlátja is lehet: a szürendő anyag hőérzékenysége, a membrán alkalmazhatóságának maximális üzemi hőmérséklete és annak a

vizsgálata, hogy egyáltalán megéri-e energetikai szempontból a nagyobb üzemi hőmérséklet alkalmazása.

A besűrítés során vizsgáltam a membrán **laktóz visszatartását**. A 35. ábra a sűrítményben és szűrletben lévő laktóz tartalmat ábrázolja a sűrítési arány függvényében. Az ábrán jól látható, hogy az RA 75-ös membrán a besűrítés során visszatartotta az MF-szűrletben lévő laktóz nagy részét, mert a sűrítési arány növelésével nőtt a sűrítmény laktóz tartalma. A visszatartás még négyszeres sűrítési aránynál is 91 % fölötti volt, ami a szűrés sikerességét jelenti.



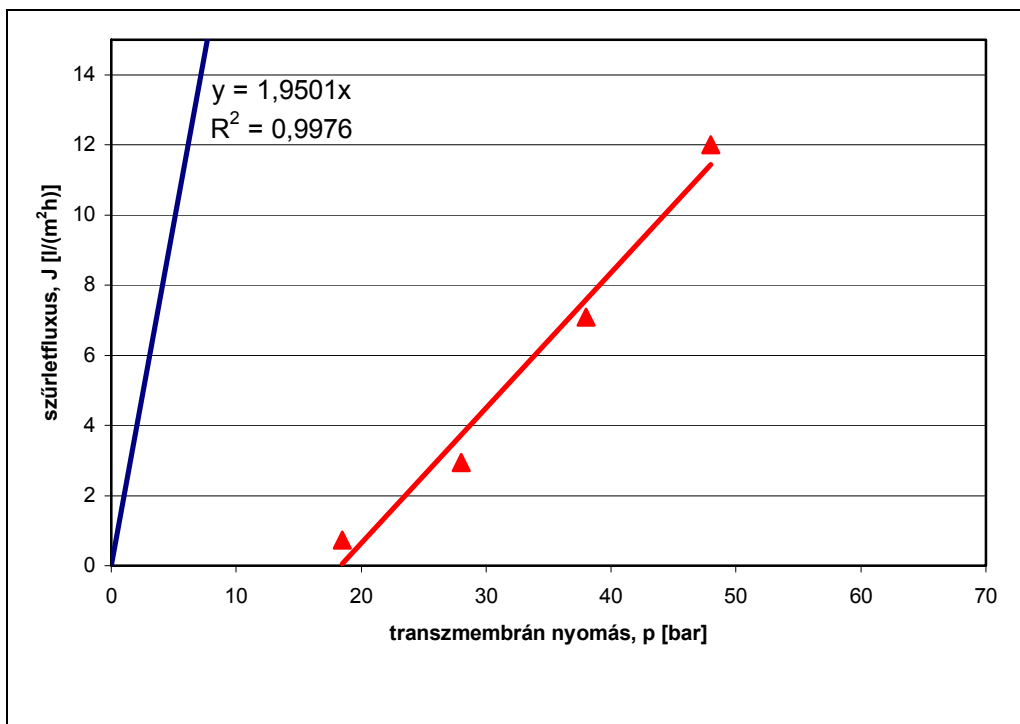
35. ábra. Sűrítmény és szűrlet laktóztartalma a sűrítési arány függvényében, MF-szűrlet nanoszűrése során

Kísérletemet a magas nyomás (30 bar) és recirkulációs térfogatáram (200 L/h) ellenére csak kb. 21 %-os laktóz tartalom eléréséig tudtam végezni. Ennél az értéknél a sűrítmény elkezdett habosodni, és a szivattyú nem tudta tovább feladatát ellátni.

5.3.2 Furmint must besűrítése nanoszűréssel

A mikroszűrés után kapott Furmint must szűrletet szűrtem nanoszűréssel a DDS Minilab 20 laboratóriumi berendezésen.

A besűrítés kezdete előtt a membrán jellemzőit vizsgáltam, először ioncserélt vízzel majd a besűrítendő musttal szűrletfluxusokat mértem különböző transzmembrán nyomásokon és 30 °C-on. A térfogatáram mindkét esetben azonos (400 L/h) volt.

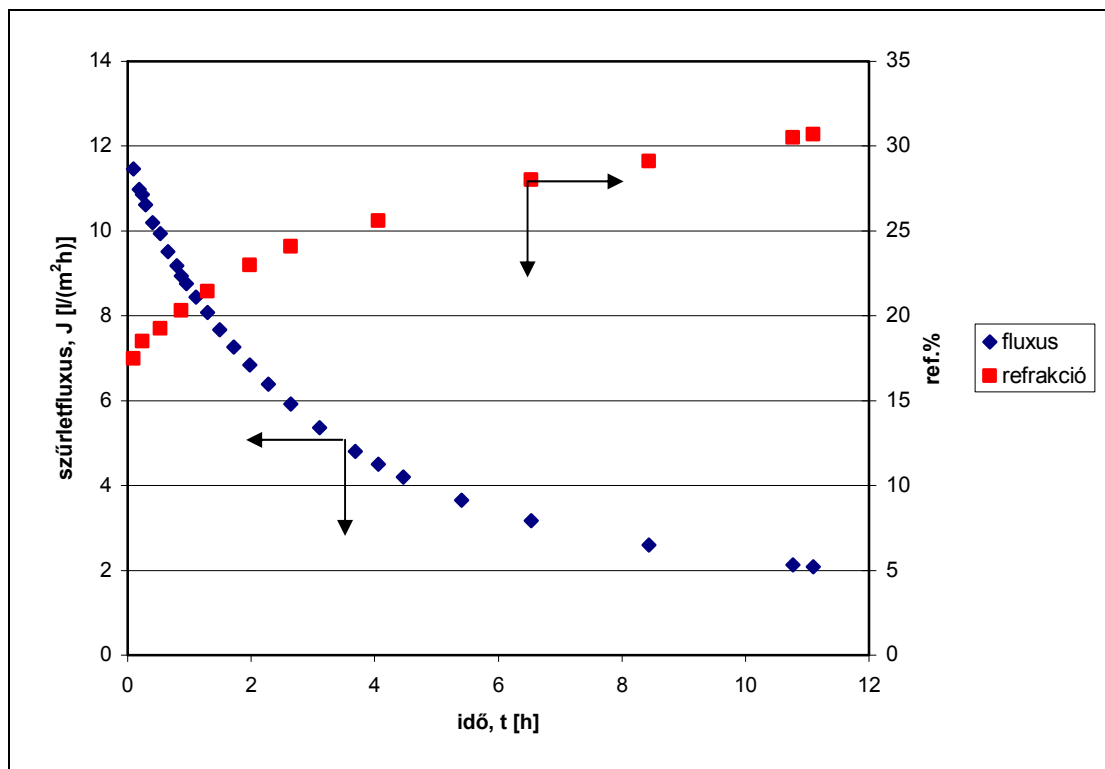


36. ábra. Víz és Furmint must szűrletfluxusa a transzmembrán nyomás függvényében

A víz szűrletfluxus értékeire egyenes illeszthető (36. ábra), amiből az következik, hogy a víz fluxusa és a transzmembrán nyomás között egyenes arányosság áll fenn. A szűrés sebessége, az alkalmazott transzmembrán nyomás mellett egyéb üzemi paraméterektől is függött (hőmérséklet, recirkulációs térfogatáram).

A must fluxusgörbéje nem az origóból indul. Ezt a jelenséget must ozmózisnyomásával magyarázhatjuk. A mustnál tapasztalható fluxus értékek sokkal alacsonyabbak, mint a vízé. A víz nem tartalmaz nagyméretű molekulákat, szerves anyagokat amik a membránt eltömíthetik, valamint a szerves anyagoknál jellemző polarizációs réteg sem alakul ki. A must ezzel szemben sok cukrot, nagyméretű molekulát és egyéb szerves anyagot tartalmaz, amik a membrán pórusaiban, valamint felületén felhalmozódnak, ezzel csökkentve a szűrés sebességét.

Besűrítés során a szűrletfluxus az idő előrehaladtával egyre csökken. A jelenség a koncentráció polarizációval és az eltömődéssel magyarázható. Ezzel egyidőben a cukorkoncentráció folyamatosan növekszik, így a mérés végére 30,7 ref%-os cukortartalmat sikerült elérnem (37. ábra).



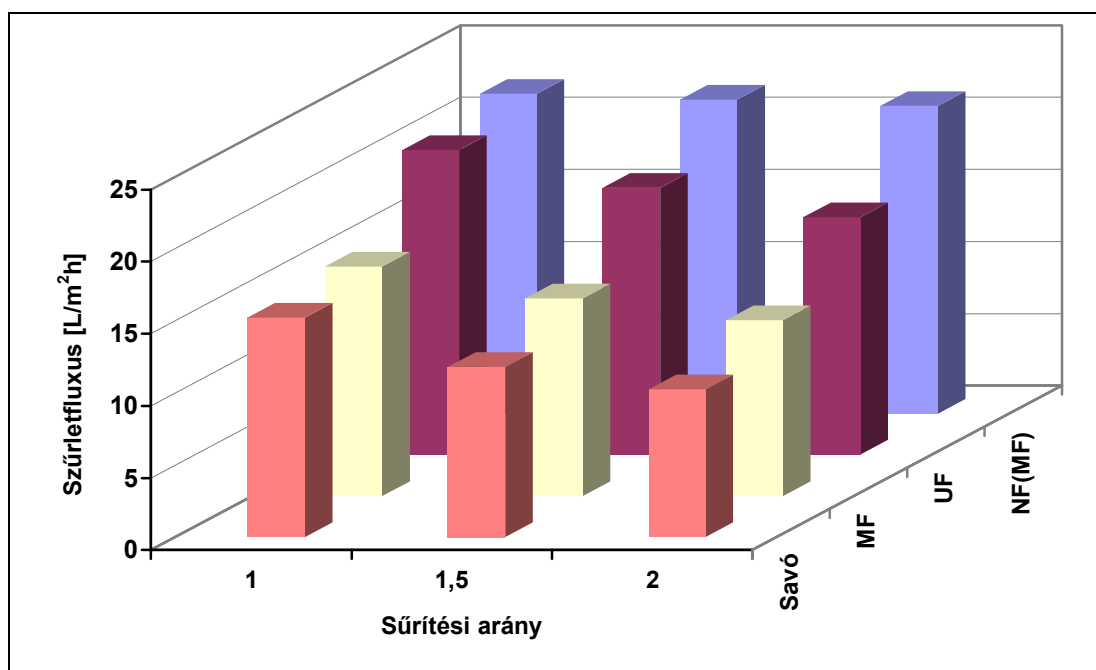
37. ábra Furmint must besűrítése (50bar, 30°C, XN-45 membrán)

Megfigyelhető még, hogy a kezdeti 12 l/(m²h) fluxus érték egészen a 2 l/(m²h) értékre csökkent, ami a rendszer maximális sűrítőképességét jelentette. Mind a két görbénél jól látható az idő múlásával fellépő jelentős intenzitás csökkenés, ami szintén a nanoszűrő berendezés korlátaiból adódik. Ilyen korlátok a maximálisan elérhető transzmembrán különbség, ami a szivattyú végteljesítményét jelenti, valamint a modul rendszer maximális nyomásállósága. Magasabb sűrítési arány esetén, nagyobb teljesítményű szivattyúra, valamint speciális modulrendszerre lenne szükség.

5.4 Besűrítés fordított ozmózissal

5.4.1 Mozzarella savó besűrítése

Kísérleteim során a mikroszűrés, az ultraszűrés és a nanoszűrés után kapott szűrleteket, valamint friss savót töményítettem be fordított ozmózissal. A műveleteket 40 bar transzmembrán nyomás, 400 L/h recirkulációs térfogatáram és 30 °C hőmérséklet mellett végeztem. Első lépésben azt vizsgáltam, hogy a különböző elegyek összetétele, milyen összefüggésben áll a szűrletfluxussal. A 38. ábra a savó és a szűrletek szűrletfluxusait mutatja be a sűrítési arány függvényében.



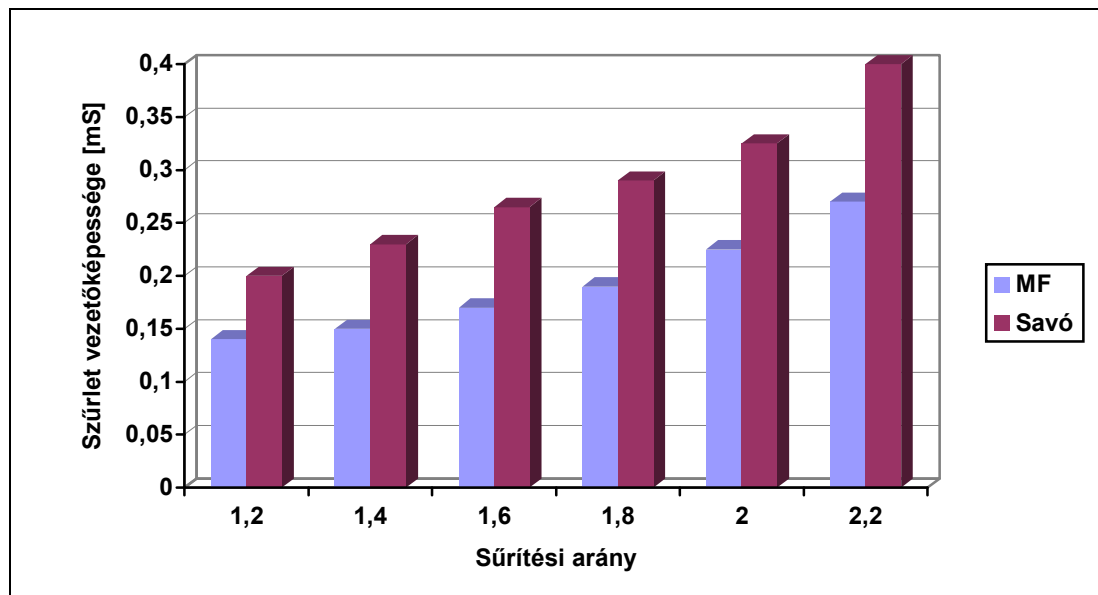
38. ábra. Különböző szűrletek és a savó szűrletfluxusai, a sűrítési arány függvényében

Legkisebb változást a szűrletfluxusban, az NF-szűrlet betöményítése során tapasztaltam. Fluxusa kétszeres sűrítési aránynál is majdnem megegyezett a kiindulási értékkel. A szűrlet zsírt és fehérjét egyáltalán nem, laktózt pedig csak jelentéktelen mennyiségben tartalmazott, ezért nem alakulhatott ki olyan gélréteg, mint a másik három szűrési műveletnél.

Az UF- és az MF-szűrlet, valamint a savó esetében viszont már nagyon egyértelmű a sűrítési arány növekedésével együtt járó szűrletfluxus csökkenés. Meglepő eredmény az, hogy azonos sűrítési arányoknál a savó és az MF-szűrlet fluxusai között kisebb különbségek voltak, mint az MF-szűrlet és az UF-szűrlet között. Ebből azt a következtetést vontam le, hogy fordított ozmózis során a zsírtartalomnak kisebb szerepe van a szűrletfluxus csökkenésében, mint a fehérje- és laktóz

tartalomnak. A zsírgolyócskák -melyek mérete mikrométeres nagyságrendű-, kevésbé szólnak bele az ozmotikus viszonyokba.

A só visszatartást a vezetőképesség mérésével vizsgáltam meg. A 39. ábra a savó és az MF-szűrlet betöményítése során kapott szűrletek vezetőképességét mutatja.



39. ábra. Szűrletek vezetőképessége a sűrítési arány függvényében

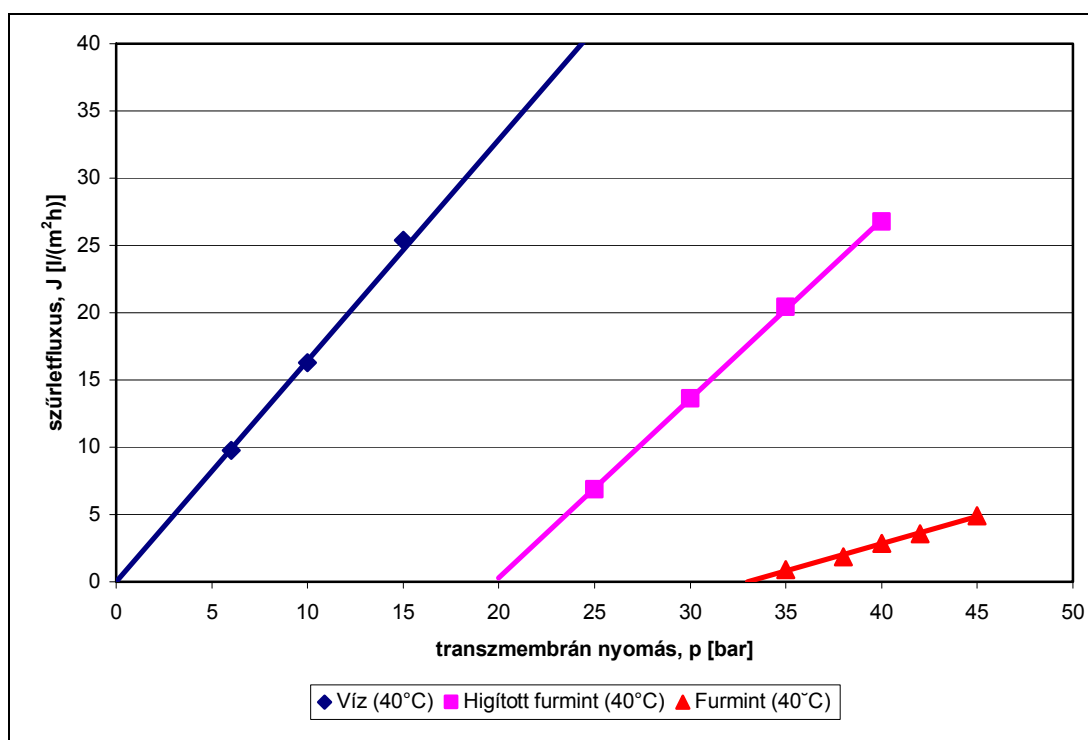
Az ábrán jól látható, hogy a sűrítési aránnyal kb. hasonló mértékben növekedett a két elegy vezetőképessége, amely a szűrlet sótartalom változására utal. Ez az átjutott só mennyiség azonban olyan kismértékű volt (mivel a kiindulási savó vezetőképesség értéke 3,1 mS, így a visszatartás még kétszeres besűrítés esetén is 90% fölötti), hogy a fordított ozmózis sikeresnek mondható a különböző összetételű folyadékok sótartalmának besűrítésénél. Kísérleteim igazolták, hogy a fordított ozmózis alkalmas a savó összes értékes komponensének eredményes besűrítésére. Az így besűrített elegy visszaforgatható a sajtgyártás folyamatába és ebből kifolyólag növelhető a sajtkihozatal.

5.4.2 Cukor oldatok és mustok besűrítése fordított ozmózissal

A mustminták előzetes besűrítését fordított ozmózissal végeztem. A minták között voltak normál, kezeletlen és már előzetesen mikroszűrőssel tükrösített és csíráltatott mustok (Furmint, Kékfrankos). Az elősűrítést azért végeztem, hogy félüzemi membránszeparációs eljárást dolgozzak ki az alacsony cukortartalmú, gyengébb évjáratú mustok feljavítására, valamint hogy a membránszétválasztással történő végleges besűrítést magasabb kiindulási cukorkoncentrációról

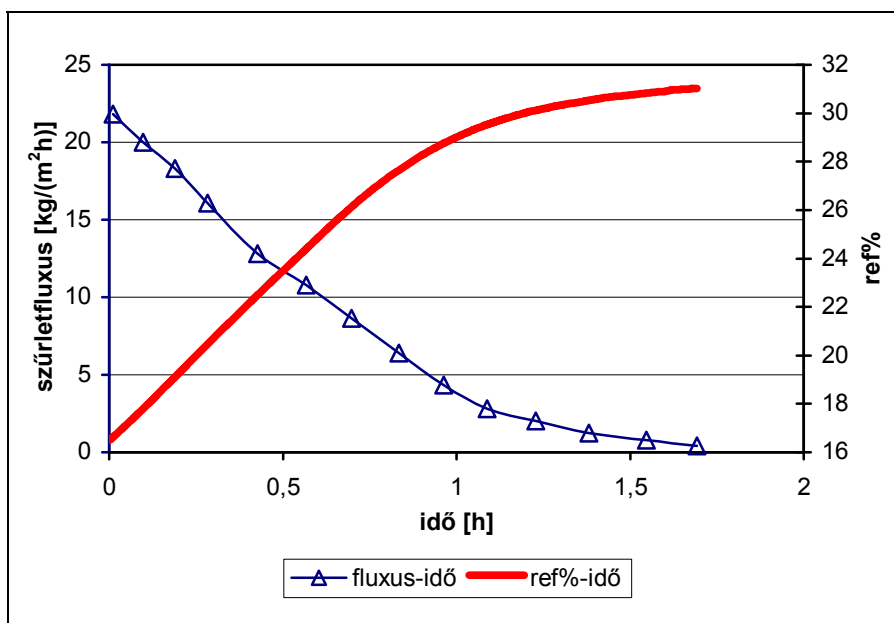
kezdhessem. A fordított ozmózis alkalmazásánál is a szűrési jellemzőket határoztam meg először. Az ioncserélt víz fluxusának mérése után a must fluxusát is mértem különböző transzmembrán nyomás értékeknél. Fordított ozmózissal hígított furmint mintát is koncentráltam. A 40. ábrán a fluxusgörbék alakulása látszik. A víz pontjaira itt is egyenest tudtam illeszteni, ebből következik, hogy egyenes arányosság áll fenn a szűrletfluxus és a transzmembrán nyomás között.

Mind az eredeti, mind a hígított must esetében elmondható, hogy a fluxusgörbe nem az origóból indul ki, ez a jelenség az ozmózisnyomásnak tulajdonítható. Az alkalmazott nyomásnak meg kell haladnia a must ozmózisnyomását. Ha ez nem valósul meg, akkor nem jelenik meg szűrlet a permeátum oldalon.



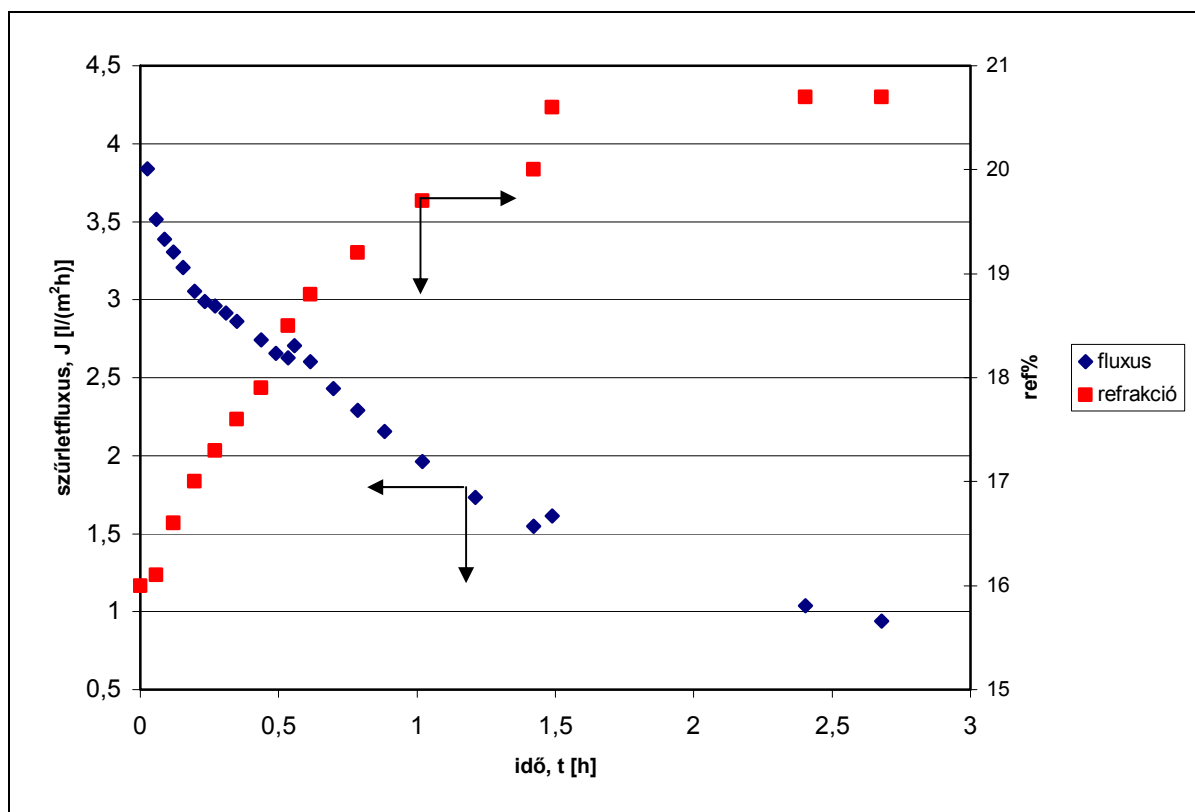
40. ábra. A víz és a Fumint must fluxusgörbéi 40°C hőmérsékleten

A szőlőmustok fordított ozmózissal történő besűrítése előtt, modell oldatokkal kísérleteztem. A 41. ábrán 16,5 ref%-os cukoroldatot töményítettem be félüzemi berendezésen (Hidrofilt MFT Köln), 40°C-os hőmérsékleten és 40 bar nyomáson.



41. ábra. 16,5 ref%-os cukor oldat besűrítése félüzemi fordított ozmózis berendezésen (40°C, 40 bar)

A besűrítés során 30% fölötti refrakciót sikerült elérni, de ekkora már nagyságrendekkel alacsonyabb fluxusértékek voltak.

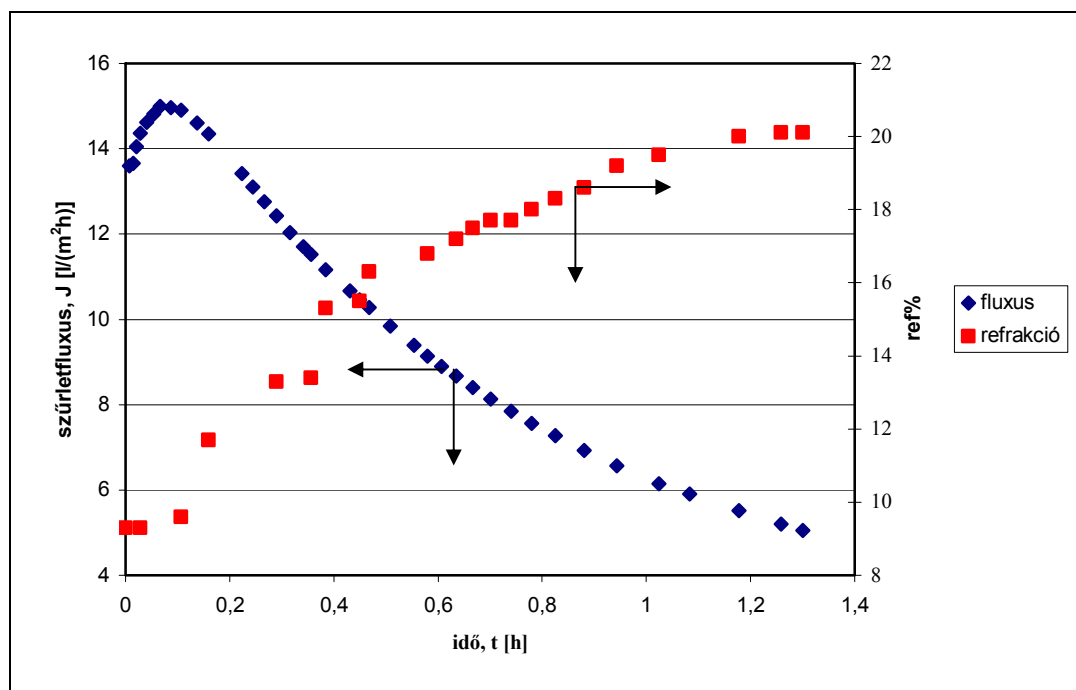


42. ábra. Furmint must besűrítése (40 bar, 40 °C, CD-1 membrán)

A 42. ábrán jól látható hogy már a kiindulási fluxus érték is elég alacsony volt, ami a besűrítés során még tovább csökkent. Ezért a mérést viszonylag rövid idő után be kellett fejezni. Így a

kiindulási 16 ref%-os cukortartalmú Furmint mustból csak 20,7 ref%-os sűrítményt sikerült előállítani.

A berendezés tisztítása után mikroszűrt, hígított Furmint mustot próbáltam besűríteni. A kiindulási anyag 9,3 ref% cukrot tartalmazott (43. ábra). A mérést ugyanúgy 40 bar üzemi nyomáson és 40 °C hőmérsékleten végeztem, mint az előző esetben.

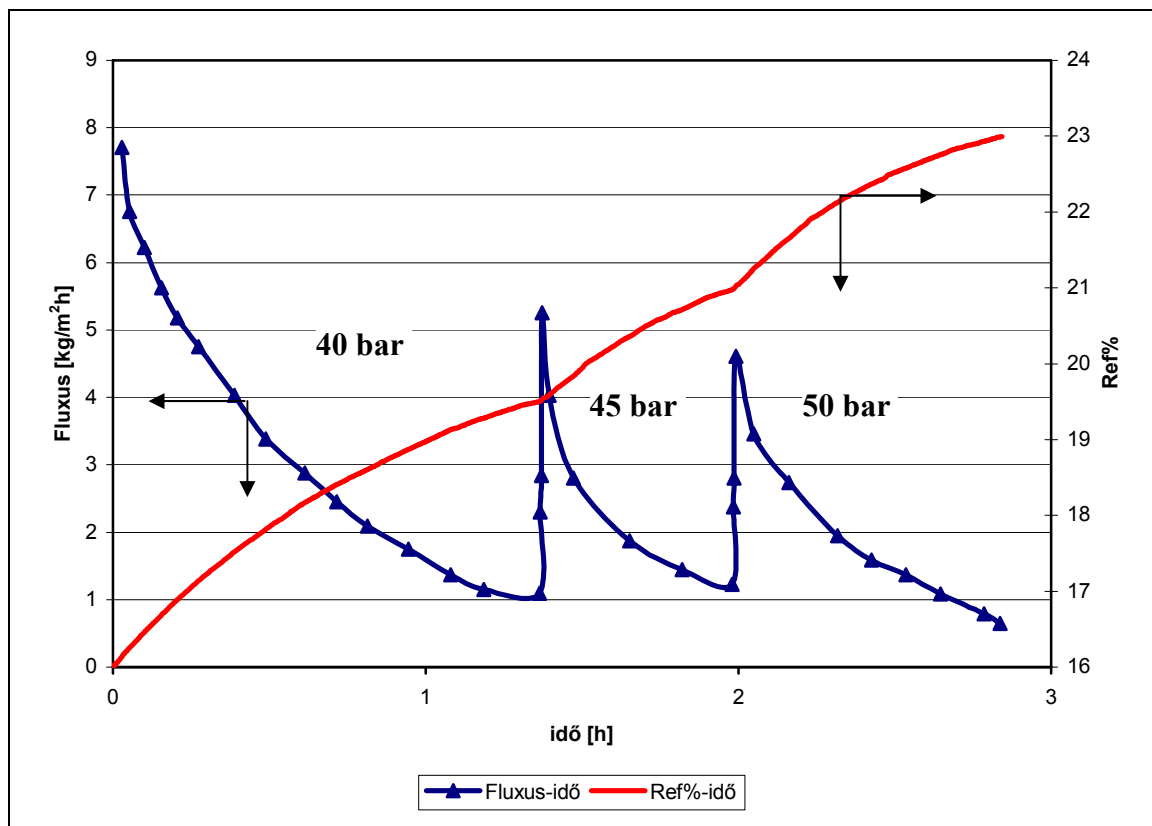


43. ábra. Hígított Furmint must besűrítése (40 bar, 40 °C, CD-1 membrán)

A mérés kezdetén fluxusnövekedés figyelhető meg, ami valószínűleg a kezdeti hőmérsékletingadozással magyarázható. Ennél a mérésnél már kettő fölötti sűrítési arányt sikerült elérnem. A sűrítmény végső cukorkoncentrációja 20,1 ref% lett.

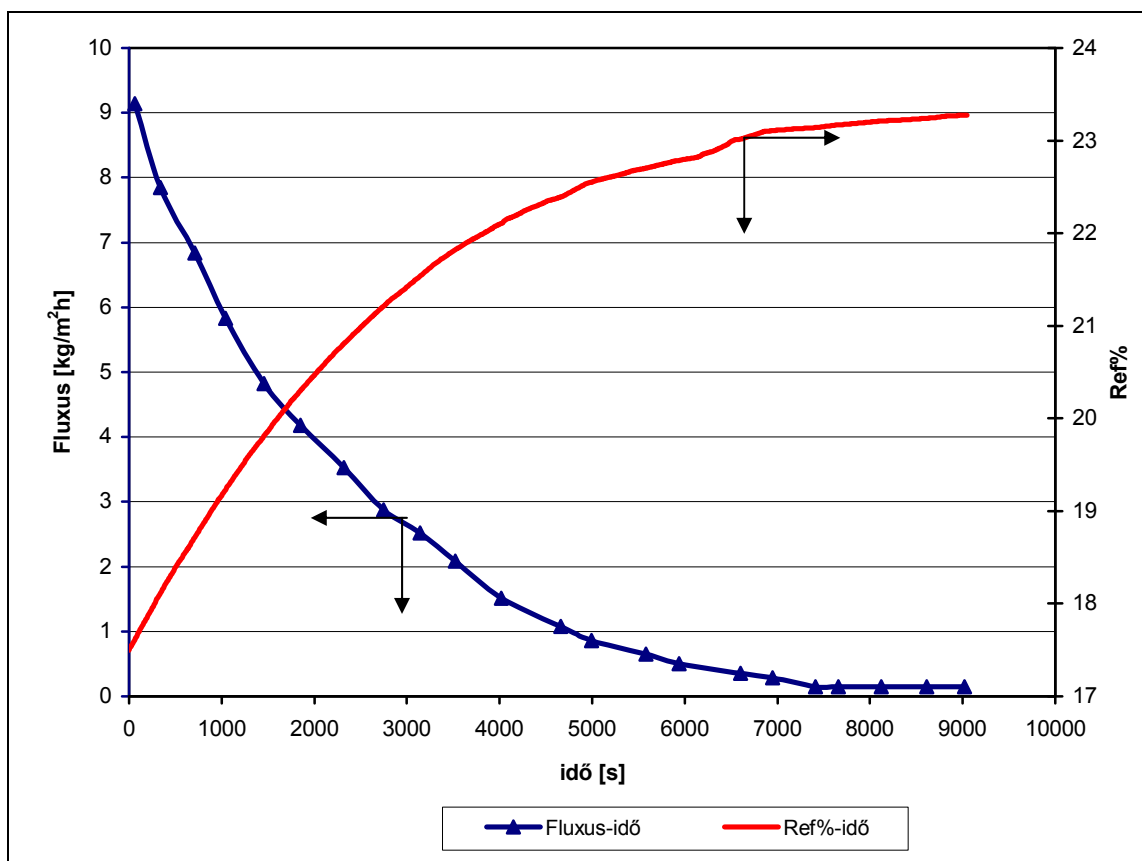
További vizsgálatok irányultak az előkezelt (mikroszűrt) mustok fordított ozmózissal történő besűrítésére, ezért a mikroszűrt Kékfrankos must sűrítésével folytattam a kísérleteimet. A modelloldat mérési paramétereit alapul véve először 16 tömegszázalékos kiindulási cukorkoncentrációjú mikroszűrt mustot sűrítettem 40 bar transzmembrán nyomáskülönbség alkalmazásával 40°C-on (42. ábra). Azt tapasztaltam, hogy a fluxus a modelloldathoz hasonlóan lecsökkent, de a besűrítendő must koncentrációja nem érte el a kívánt értéket, ezért megemeltem a nyomáskülönbséget 45 bar-ra. A nagyobb nyomáskülönbség hatására a megnövekedett permeátum fluxussal tovább lehetett töményíteni a mustot. Ezt a lépést még egyszer megismételtem és a transzmembrán nyomáskülönbséget 50 bar-ra emeltem, így sikerült 23 tömegszázalékos must sűrítményt elérni. A nyomáskülönbség további emelésére azért nem volt lehetőség, mert sem a membrán, sem a berendezés nem viselt volna el nagyobb nyomást, így az elért 23 tömegszázalékos

koncentráció a felső határ, amelyre az általam használt mustot a Hidrofilt által épített berendezéssel töményíteni lehet. A nyomások változtatásából eredő szakaszosság a koncentráció időbeni változásában is megfigyelhető (44. ábra).



44. ábra. 16 ref%-os mikroszűrt Kékfrankos must besűritése (40 °C, CD-1 membrán)

Ezen tapasztalatok alapján a további méréseket 50 bar transzmembrán nyomáskülönbséggel végeztem ugyancsak 40°C-on (43.ábra).



45. ábra. 17,5 ref%-os Kékfrankos must besűrítése (50 bar, 40 °C, CD-1 membrán)

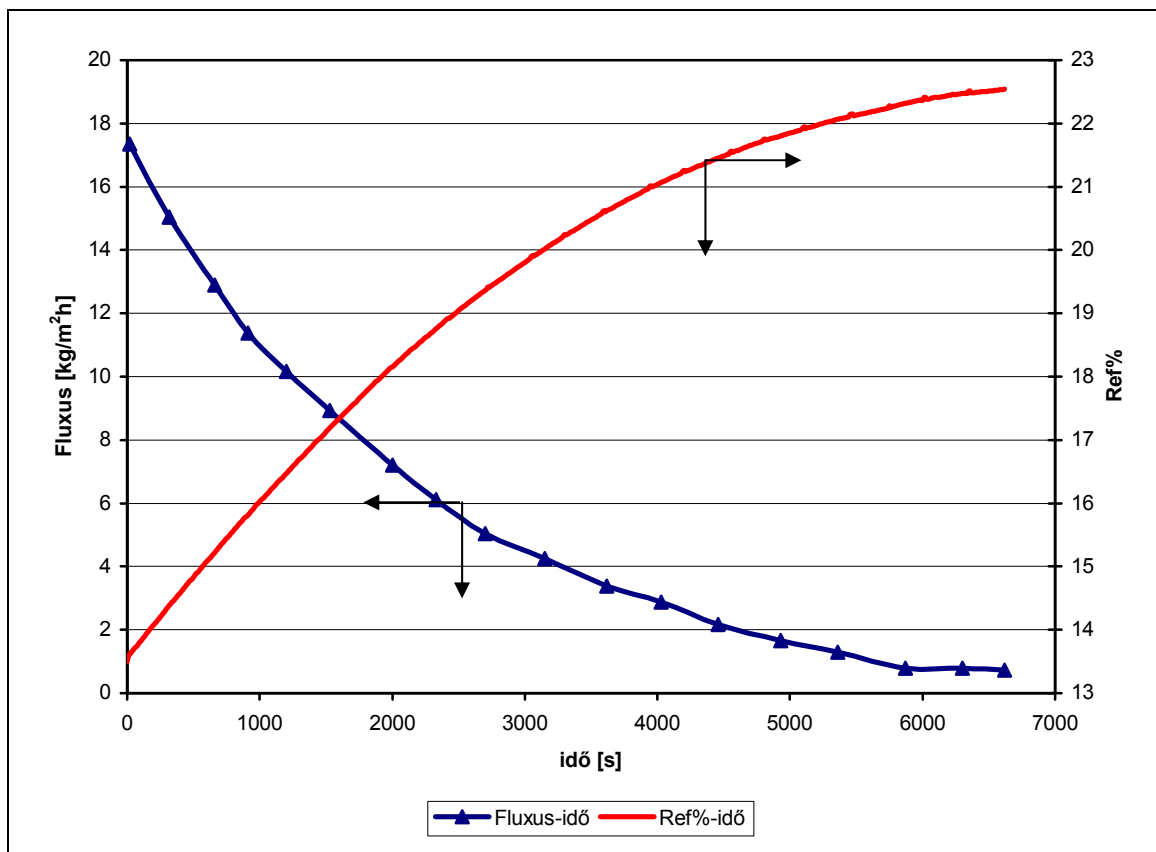
A 45. ábrán egy 17,5 tömegszázalékos kiindulási cukorkoncentrációjú kezeletlen mustminta besűrítése látható. Az ábrán jól megfigyelhető az analógia a modelloldat besűrítési diagramjával. A különbség a két eredmény között, hogy a must esetében már a kiindulási permeátum fluxus is jóval alacsonyabb volt, mint a hasonló töménységű modelloldatnál, ami azzal magyarázható, hogy míg a modelloldat csak cukrot és ioncserélt vizet tartalmaz, addig a mustban számos egyéb olyan anyag található, amelyek csökkentik a permeátum fluxusát (pl.: sók, ásványi anyagok, szerves lebegő anyagok, színyanyagok). Az alacsonyabb fluxusnak köszönhetően a kívánt töménység elérése is több időt vett igénybe.

Látható még, hogy a fluxus a besűrítés végére a kezdeti érték mintegy tizedére csökkent. Ebben az alacsony fluxus tartományban már gazdaságtalan a besűrítés, hiszen mint az az ábrán is jól látható itt alig töményedett a must és időben ez a szakasz az egész folyamat közel egy negyedét tette ki.

Ugyanezen nyomás és hőmérsékleti paramétereket használva mikroszűrt Kékfrankos musttal is elvégeztem a besűrítést (46. ábra), és azt tapasztaltam, hogy a célul kitűzött 23 tömegszázalékos must sűrítmény eléréséhez kevesebb idő volt szükséges, mint a kezeletlen must esetén. Ez azzal magyarázható, hogy ebben az esetben nem volt a folyamat végén olyan hosszas alacsony fluxusú tartomány, mint a kezeletlen must besűrítésénél. Ez pedig abból adódhat, hogy a mikroszűrt

mustban jóval kevesebb lebegő anyag található, így itt a membrán a folyamat végére kevésbé tömődik el.

Látható, hogy a kiindulási fluxus jóval nagyobb, majdnem duplája a kezeletlen must esetében tapasztalt kiindulási permeátum fluxusnál. Ez nem csak a must mikroszűrt voltából következik, hanem főleg abból, hogy ebben az esetben alacsonyabb volt a mustminta kiindulási cukorkoncentrációja.

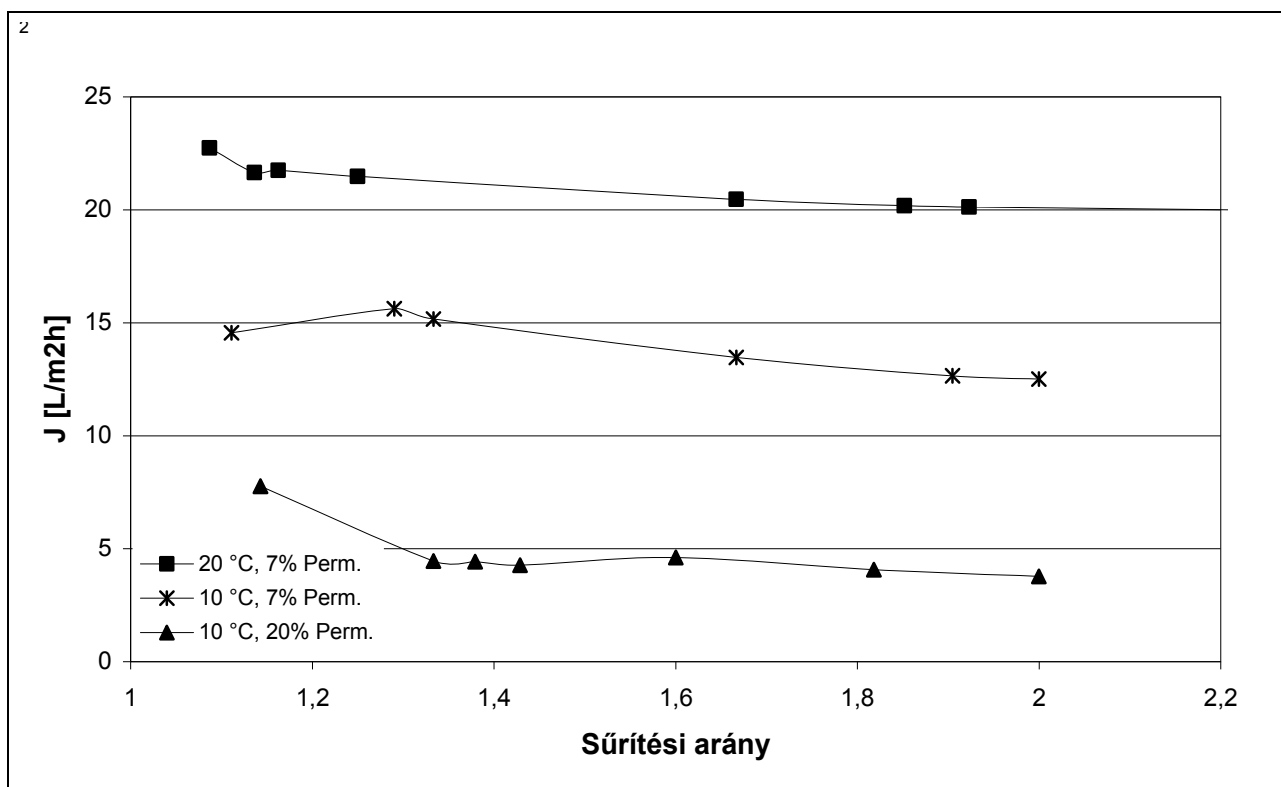


46. ábra. 13,5 ref%-os mikroszűrt Kékfrankos must besűrítése (50 bar, 40 °C, CD-1 membrán)

5.5 Membrán bioreaktor

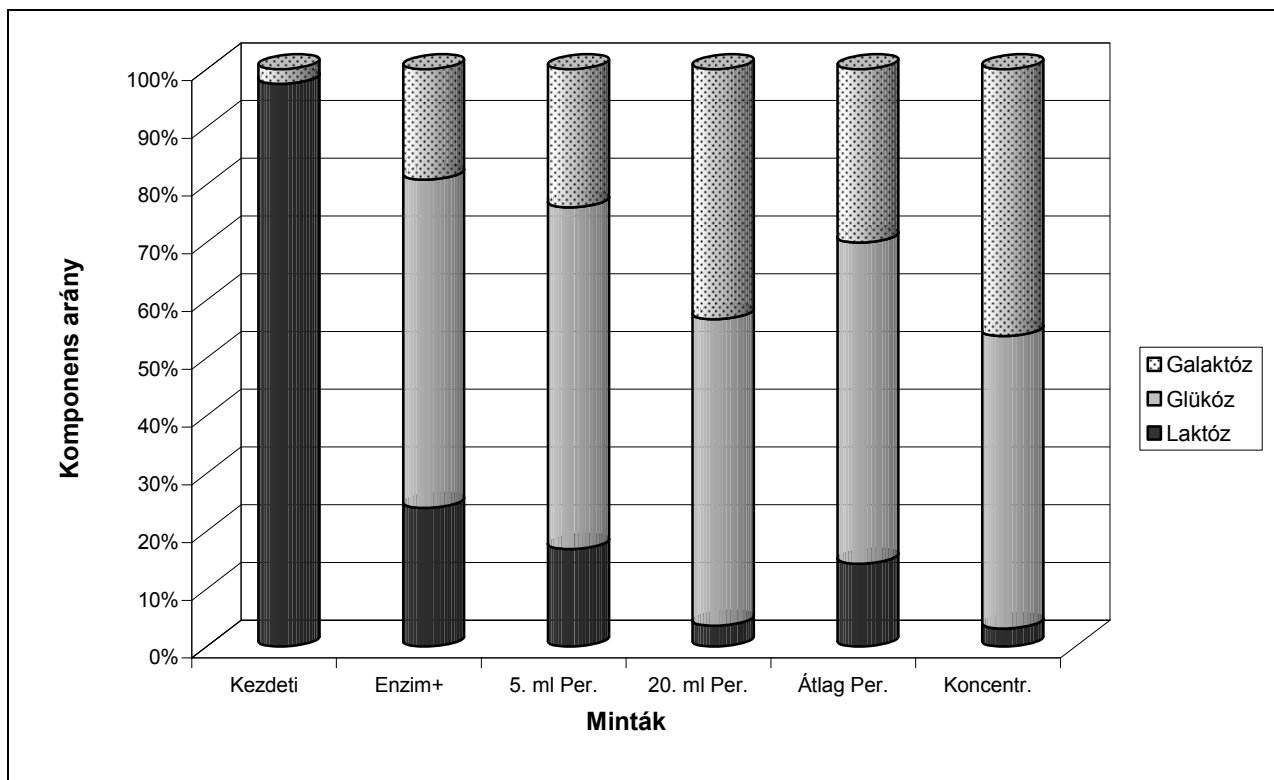
A tejsavó további feldolgozása céljából olyan, a membrántechnikát (ultarszűrés) és az enzimátikus hidrolízist kombináló módszer kidolgozását végeztem el, amellyel a savóban lévő laktóz bontása hatékonyan kivitelezhető. Előzetesen megvizsgáltam két Pall membrán (5 kDa, 10 kDa) és egy Nadir membrán (5 kDa) β -galaktozidáz enzim visszatartását. A három vizsgálat során mind a két Pall membránnál mértem enzim aktivitást a szűrletből, míg a Nadir membrán esetében ez negatív volt. Mivel a Nadir membrán visszatartása 100% volt, ezért a membrán bioreaktor kísérleteimet már erre a membránra alapoztam. A 47. ábrán a fluxusok változása látható különböző összetételű és hőmérsékletű permeátumok ultraszűrése során. Ezek a kísérletek már a második lépcsős eljárások közé tartoztak, tehát a szűréseket enzim (50 mg/L, Maxilact 2000) hozzáadása mellett végeztem. A

diagramról jól látható, hogy a hőmérsékletnek, valamint a szárazanyag tartalomnak jelentős szerepe van a szétválasztás sebességénél.

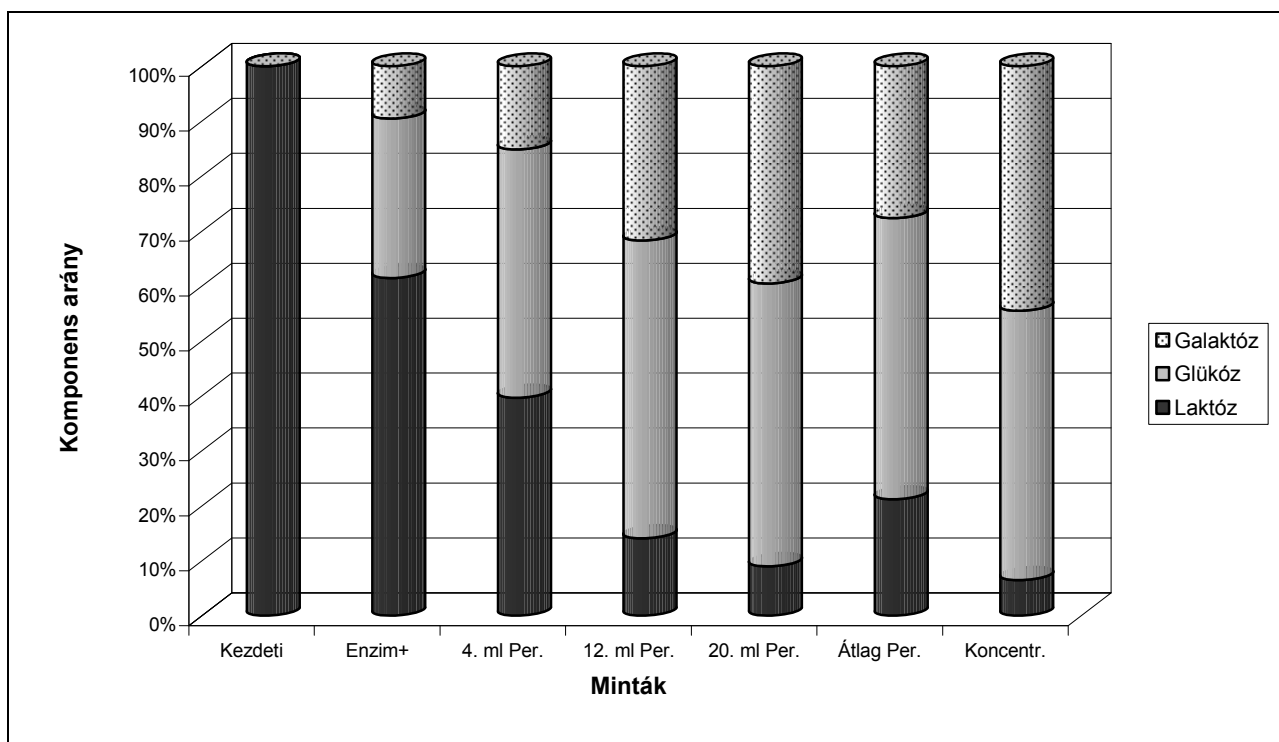


47. ábra Fluxusok változása a sűrítési arány függvényében, Nadir 5 kDa, 4 bar

Az 48. és 49. ábrák a HPLC méréseket szemléltetik. A 46. ábra a 7% szárazanyagtartalmú permeátum szűrése után kapott mintákat, a 47. ábra pedig a 20%-os mintákat értékeli. Az első oszlop (Kezdeti) közvetlenül az enzim hozzáadása előtti pillanatot mutatja, a következő oszlop (Enzim+) pedig már a reaktorba kevert enzimes minta eredménye. Az enzim hozzáadása után mintákat vettünk a reaktor permeátumaiból és így folyamatosan kísérhető volt a laktóz hidrolízis. Jól látható, hogy a koncentrátumban szinte a laktóz teljes mennyisége lebomlott, míg a permeátumok átlagából vett mintában maradt laktóz. Ebből, valamint az enzimaktivitási mérésekből is jól látszik, hogy enzim nem jutott át a második lépcső utáni permeátumba.



48. ábra HPLC eredmények I. (7% sz.a. + 50 g/L enzim)



49. ábra HPLC eredmények II. (20% sz.a. + 120 g/L enzim)

5.6 Mustok koncentrációja membrándesztillációval

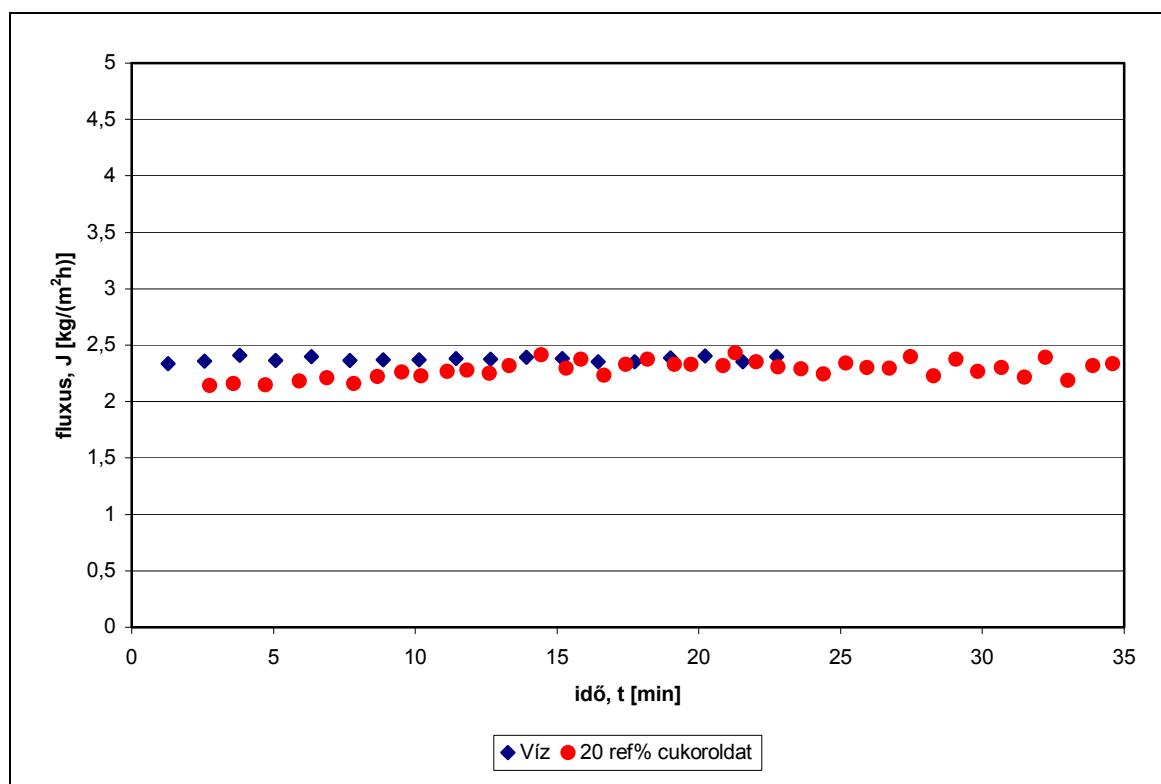
A membrándesztillációs méréseknél vízzel, szacharóz modelloldattal, a Furmint must mikroszűrése után kapott sűrítménnyel és a Kékfrankos must mikroszűrése után kapott szűrlettel dolgoztam. 15°C és 30°C-os hőmérsékletkülönbségeket alkalmaztam, de a legmagasabb hőmérséklet sem haladta meg az 50°C-ot. A mérések során a meleg oldali hőmérsékletet a lehető legalacsonyabban kell tartani, az aromaanyagok károsodásának elkerülése végett.

Indiai kutatók nádcukor oldatot koncentráltak. A cukoroldat besűrítése előtt NaCl-oldattal végeztek kísérleteket, amelyek alapján aztán meghatározták az alkalmazandó hőmérsékletkülönbséget. (Nene et al., 2002.)

Méréseik alapján ioncserélt vízzel kísérleteztem ki a megfelelő hőmérséklet-különbséget. Először 10°C, 15°C és 30°C-os hőmérséklet-különbséget alkalmaztam, de a 10°C-os hőmérséklet-különbség alkalmazását a későbbiekben elvettem, mivel így a folyamat nagyon lassúnak bizonyult.

Ezért a modell-oldattal és a musttal történő besűrítéseknél már csak a 15°C és a 30°C-os hőmérséklet-különbségeket alkalmaztam.

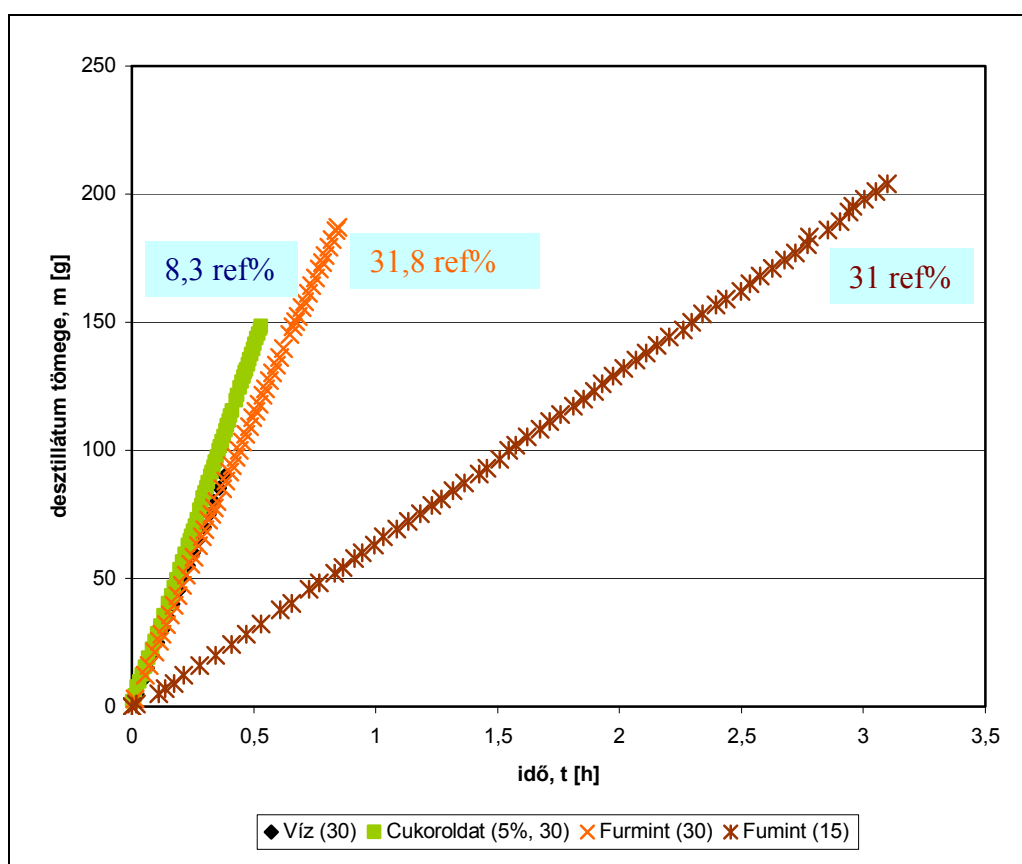
A méréseket modell-oldattal kezdtem, ami ebben az esetben 5 ref%-os és 20 ref%-os szacharóz oldat volt.



50. ábra. A víz és a modell-oldat fluxusa az idő függvényében, $\Delta T=30^\circ\text{C}$

A víz és a modell-oldat fluxusát összehasonlítva egyértelműen megállapítható, hogy a desztilláció sebessége nem függ az anyagtól. A fluxusok értéke azonos volt mindkét anyag esetében. Megfigyelhető továbbá az is, hogy a fluxusok értékei a mérés során nem változtak jelentős mértékben.

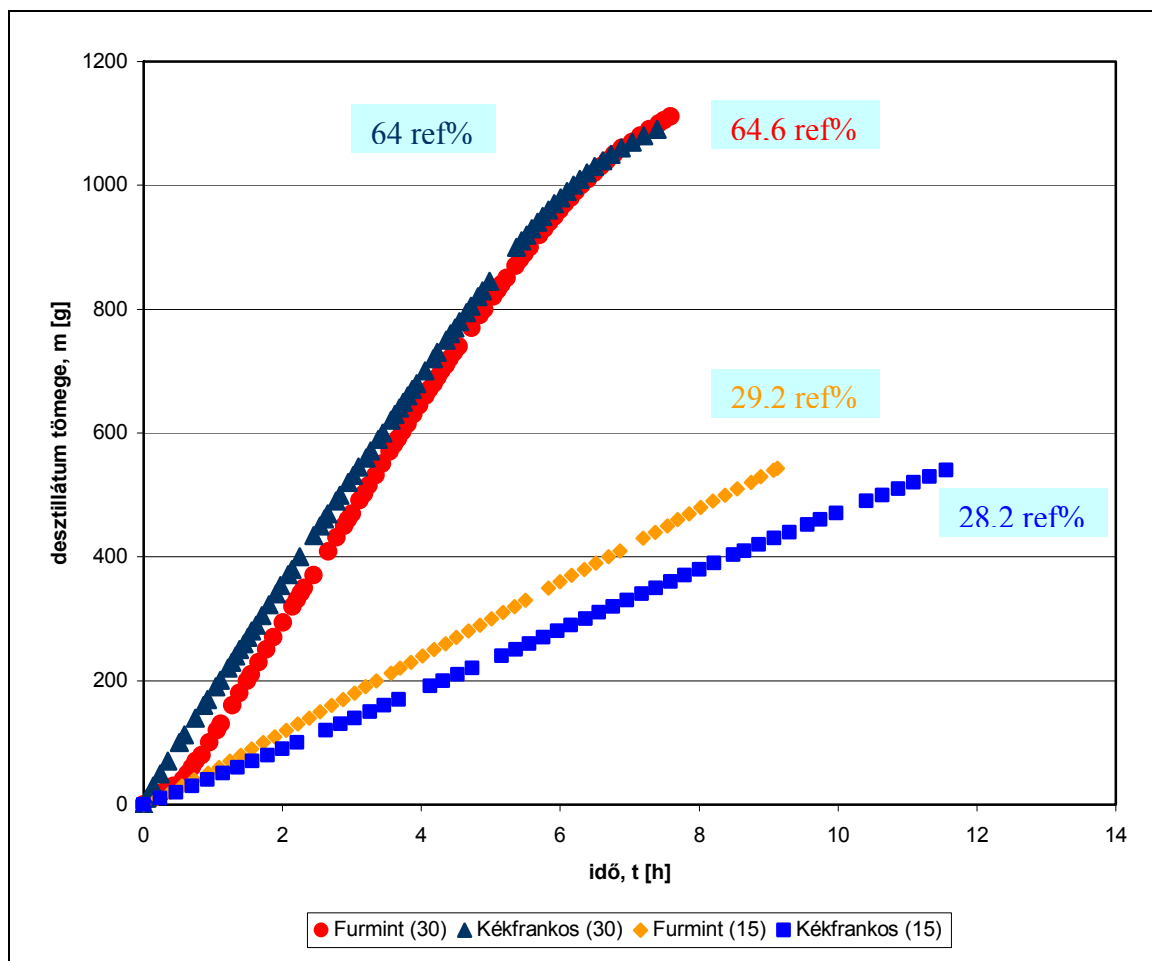
A besűrítési kísérleteknél minden esetben ugyanakkora volt a kiindulási anyag tömege (500 g). Először a membránon keresztüli fluxusokat mértem ioncserélt vízzel. A 50. ábrán jól látható, hogy a víz, a modelloldat és a must besűrítésekor észlelt fluxusok között nincs jelentős különbség. A desztillátum egyenletes sebességgel haladt át a membránon, a fluxus nem csökkent. A mérési pontokra minden esetben egyenes illeszthető, amiből az következik, hogy a desztilláció sebessége csak az alkalmazott hőmérséklet-különbség függvénye.



51. ábra. Víz, modell-oldat és Furmint must besűrítése membrándesztillációval, különböző hőmérséklet-különbség alkalmazásával

Mivel a fenti kísérleteknél a kis kiindulási mennyiség miatt csak kb. 30 ref%-os sűrítményt tudtam előállítani (51. ábra) - és a cél 60 ref% volt - ezért nagyobb kiindulási tömegekkel (1500 g) is végeztem méréseket (52. ábra).

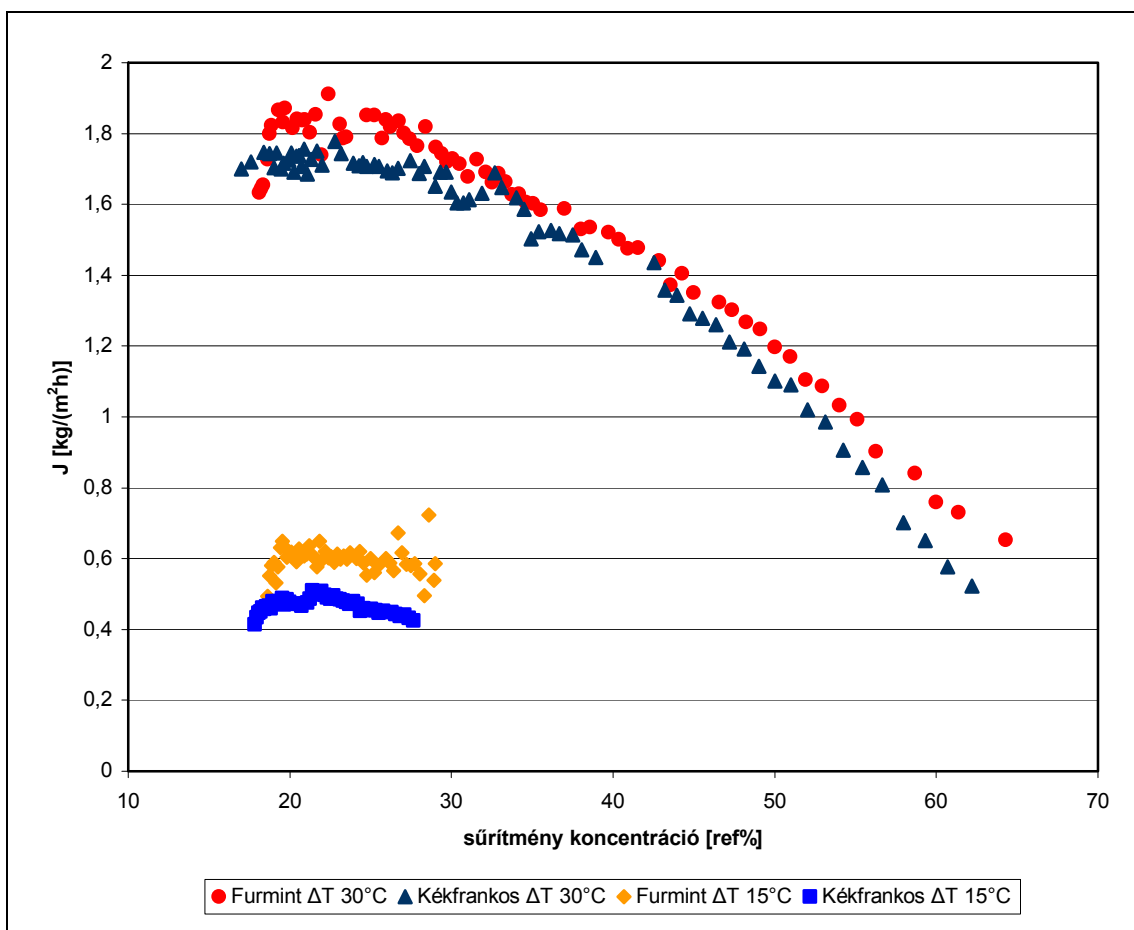
Ezeknél a méréseknél is kétféle hőmérséklet-különbség alkalmazásával sűrítettem be a mustokat (15°C és 30°C). Az eredményekből látható, hogy a mustok besűrítése nem függ a mustok fajtájától. A besűrítés sebessége és az alkalmazott hőmérséklet-különbség között egyenes arányosság áll fenn.



52. ábra. Furmint és Kékfrankos must besűrítése membrándsztillációval különböző hőmérséklet-különbségek alkalmazásával.

A 15°C-os hőmérséklet-különbségű méréseknél azért látható különbség a kétféle must besűrítésénél, mert a kékfrankos mustnál másik, kisebb teljesítményű szivattyút használtam, így a desztilláció lassabban tudott lejárni.

Magasabb cukorkoncentrációt elérve a folyamat sebessége csökkenni kezdett. Ez azzal magyarázható, hogy a sűrítmény viszkozitása hirtelen megnőtt, így a szivattyúk már lassabban tudták szállítani az anyagot. Ezért a desztilláció sebessége csökkent.



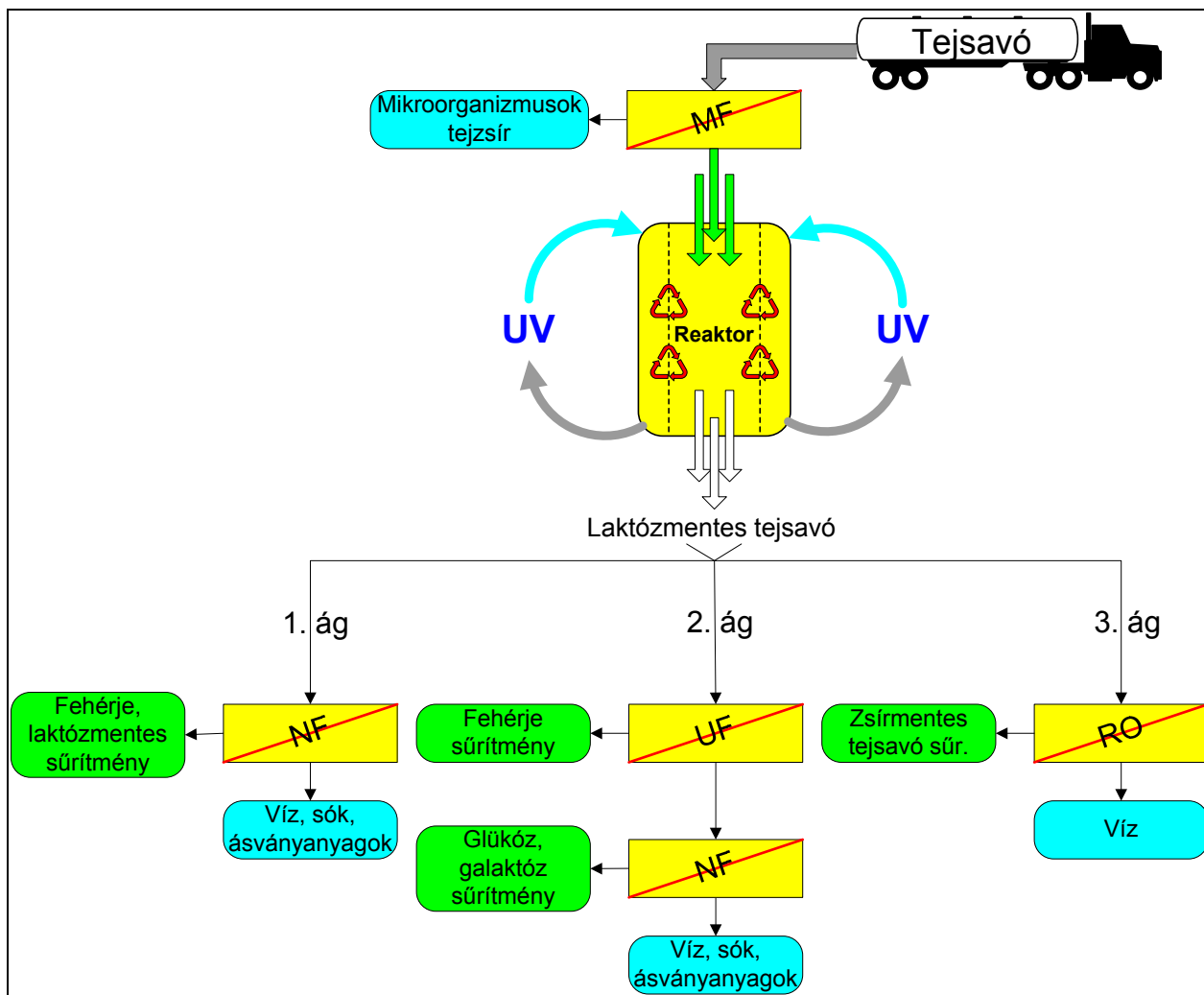
53. ábra. Kékfrankos és Furmint must besűrítése membranedesztillációval

Az 53. ábrán is jól látható, hogy a mustok besűrítésénél körülbelül 30 ref% cukortartalom eléréséig a szűrletfluxus gyakorlatilag állandó. Majd, miután a cukortartalom 30 ref% fölé emelkedik a fluxus csökkenni kezd. Mindkét hőmérséklet-különbség esetében végeztem ismételt vizsgálatokat, hasonló eredményekkel. Ezek alapján megállapítható, hogy ha a hőmérsékletkülönbséget a kétszeresére emelem, akkor a folyamat sebessége a háromszorosára nő. Minden mérésnél vizsgáltam a desztillátum cukortartalmát is, de mérhető mennyiségű cukrot soha nem találtam a desztillátumban. Arra vonatkozólag, hogy a vízen kívül milyen és mekkora mennyiségű anyagok kerültek a desztillátumba, további vizsgálatok szükségesek.

Mivel az aromaanyagok védelmében a meleg oldali hőmérsékletet minél alacsonyabb értéken kell tartani, viszont a besűrítés sebességének gyorsítása érdekében minél magasabb hőmérsékletkülönbséget kellene alkalmazni, ezért elsősorban a hideg oldali hőmérséklet lehető legalacsonyabb tartását kell megoldani ennél az eljárásnál.

5.7 Komplex eljárások kidolgozása

Kísérleteim eredményei és az irodalmi adatok (2.3.2. és 2.7.2. fejezetek) alapján új, komplex eljárást dolgoztam ki a tejsavó feldolgozására (52. ábra). A kapcsolt membrántechnikai módszerekkel elkerülhető az értékes komponenseket tartalmazó savó hulladék termékké való minősítése.



54. ábra. Új, komplex membránszeparációs eljárások a tejsavó felhasználására

A 54. ábra három olyan általam felépített eljárást tartalmaz, amelyek alkalmasak lehetnek a savó kis- és közepüzemi felhasználására.

Kezdeti lépésként mikroszűrjük a tejsavót. Ezzel a művelettel két hagyományos eljárást egyesíthetünk:

- Szeparálás: a savó zsírmentesítésére szolgál.
- Pasztörözés: csírátlanítjuk vele az alapanyagot.

A mikroszűrés egyik előnye az, hogy jóval kíméletesebb módszerrel csíráatlaníthatunk, és ezáltal nem érik erős hőhatások a tejsavóban lévő komponenseket, továbbá a szűrés energiaszükséglete jelentősen kisebb, mint a pasztörizálás során. Az egyesítés során nem utolsó szempont az, hogy így csak egy berendezésre van szükség, így a beruházási költségek nagymértékben csökkenthetők.

A tejsavó mikroszűrése után a membránreaktorba kerül a főlözött és csíráatlanított termék, ahol megtörténik annak laktóz mentesítése. A reaktor lényege a folyamatos működés, így elkerülhetők a leállásoknál szükséges takarítási és fertőtlenítési műveletek, mellyel időt és pénzt takaríthatunk meg. A csíráatlanított, zsírtalanított és laktózmentes savó három módon töményíthető tovább:

1.ág: Nanoszűrést alkalmazva a savóban lévő fehérjék és laktóz betöményíthetők. Az így kapott sűrítmény tökéletesen alkalmas a fagylaltgyártás egyik alapanyagaként. Ez a komplex ág főleg kisüzemek számára lehet igen gazdaságos megoldás, mert ha a pasztörizálást és a szeparálást mikroszűréssel helyettesítik, akkor csak egy nanoszűrő berendezés jelentene beruházási többletköltséget.

2. ág: Ha a mikroszűrés utáni szűrletet ultraszűréssel, majd nanoszűréssel töményítjük be, két végterméket kaphatunk. Az ultraszűrés után savófehérje sűrítmény, az UF-permeátumot nanoszűrve pedig tiszta laktóz koncentrátum keletkezik. Az így kapott elegyek további töményítésével (pl. bepárlás, kristályosítás, porlasztva szárítás, stb.), por alapú termékeket kaphatunk, melyek értékes anyagok a gyógyszeripar és a táplálék-kiegészítő termékeket gyártók számára. Ezt az ágat inkább közép- és nagyüzemek tudják gazdaságosan alkalmazni, mert a kétlépcsős eljárás miatt nagyobb mennyiségű alapanyagra van szükség, továbbá a beruházási és üzemeltetési költségek is jóval magasabbak.

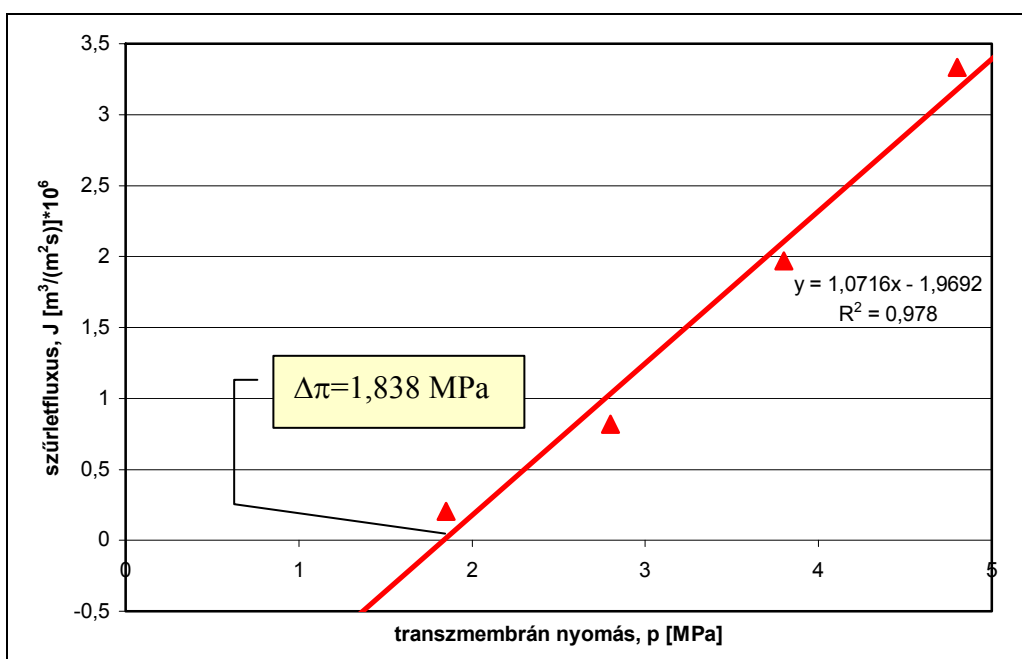
3. ág: Ez a komplex membránszűrési alkalmazás ideális lehet a kisüzemek számára. Fordított ozmózis segítségével a zsír- és csírámentes tejsavó összes komponensét besűríthetjük. Az így kapott sűrítményt pedig visszavezethetjük a sajtgyártás folyamatába és ezzel növelhetjük a sajtmennyiséget. A keletkezett szűrlet pedig alacsony KOI és BOI értékei miatt, már a csatornába vezethető vagy egyéb célokra (pl. öntözés) felhasználható.

5.8 A nanoszűrés a fordított ozmózis modellezése mustoknál

A kísérleti adatok alapján modellezéssel olyan egyenletek és állandók meghatározása volt a cél, melyekkel később összetett, ismeretlen rendszerek tervezhetők. A modellezés során először a vízfluxusból membrán ellenállást számoltam a következő egyenlet segítségével:

$$J_V = \frac{\Delta p_{TM}}{\eta_V \cdot R_M}; \quad R_M = \frac{\Delta p_{TM}}{\eta_V \cdot J_V} \quad 1.$$

Az így kapott membránellenállás nem függ a hőmérséklettől. Ezután a Furmint must szűrletfluxus görbéjének segítségével meghatároztam a must ozmózisnyomását. Az ozmózisnyomást grafikusan határoztam meg az 55. ábra segítségével. A must ozmózisnyomása az az érték, ahol a fluxusgörbe metszi az x tengelyt. A must ozmózisnyomása hasonló értéket mutatott CHERYAN (1998) munkájában tapasztalattal, így igazolható, hogy a szőlőmust összetétele miatt jellemző ozmózisnyomással rendelkezik.



55. ábra A must fluxusgörbéje nanoszűrésnél (30°C)

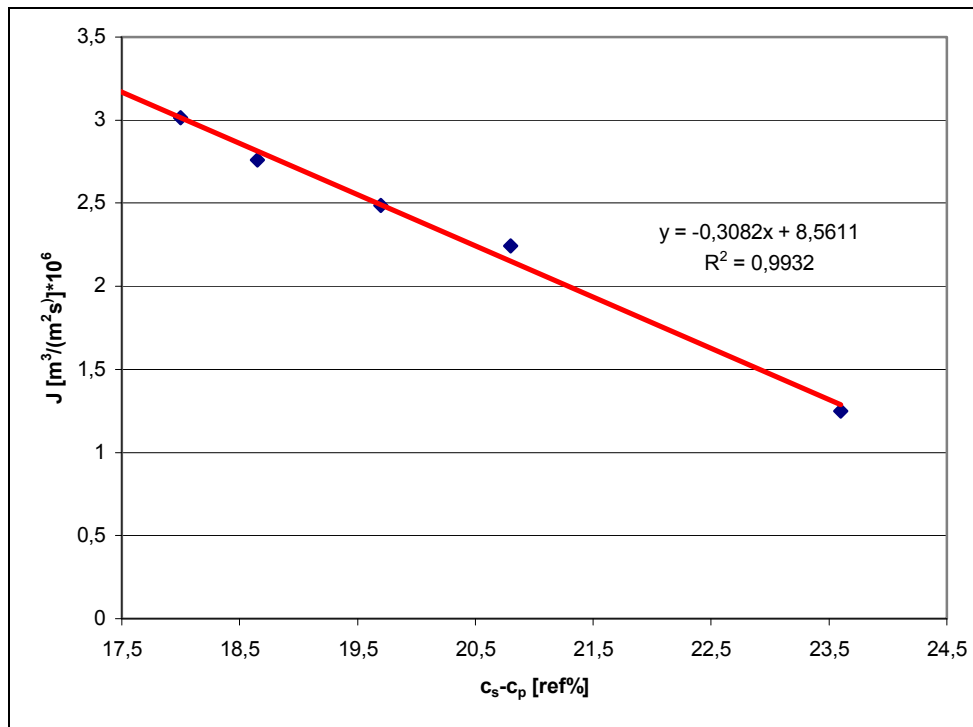
A Rautenbach egyenlet segítségével meghatározhatjuk a különböző mustok és modell oldatok a konstansait, melyekkel már a különböző mustokhoz tartozó rendszerek modellezhetőek.

$$J = \frac{1}{R_{\bar{o}} \cdot \eta} \cdot \Delta p_{TM} - \frac{a}{R_{\bar{o}} \cdot \eta} \cdot (c_s - c_p) \quad 2.$$

Ahol:

- J - a must fluxusa a besűrítés során
- $R_{\ddot{O}}$ – az összes ellenállás
- Δp_{TM} - a transzmembrán nyomás
- η - a víz, illetve szűrlet dinamikai viszkozitása
- a - konstans
- c_s - a sűrítmény koncentrációja
- c_p - a szűrlet koncentrációja

A Rautenbach egyenletből számítható fluxushoz szükségünk van az összes ellenállás meghatározására. Az 56. ábra a szűrletfluxust ábrázolja a refrakció-különbség függvényében, melynek egyenlete alapján további következtetéseket tudunk levonni.



56. ábra. A szűrletfluxus a retentátum és a permeátum koncentrációjának függvényében nanoszűrésnél (Furmint must)

A pontokra illesztett egyenes függvényéből és a 0-ás refrakció-különbség értékeiből, megállapítható az összes ellenállás az ismert víz dinamikai viszkozitás ($\eta_{V30^\circ C}$) érték mellett:

$$J = \frac{\Delta p_{TM}}{\eta_{V30^\circ C} \cdot R_{\ddot{O}}} ; \quad R_{\ddot{O}} = \frac{\Delta p_{TM}}{\eta_V \cdot J} \quad 3.$$

Ha egyenlőséget teszünk a pontokra illesztett egyenes függvénye és a Rautenbach egyenlet közé, akkor a tengelymetszetek alapján felírható:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{R_{\odot} \cdot \eta_V}$$

Amelyből kifejezhető a konstans értéke:

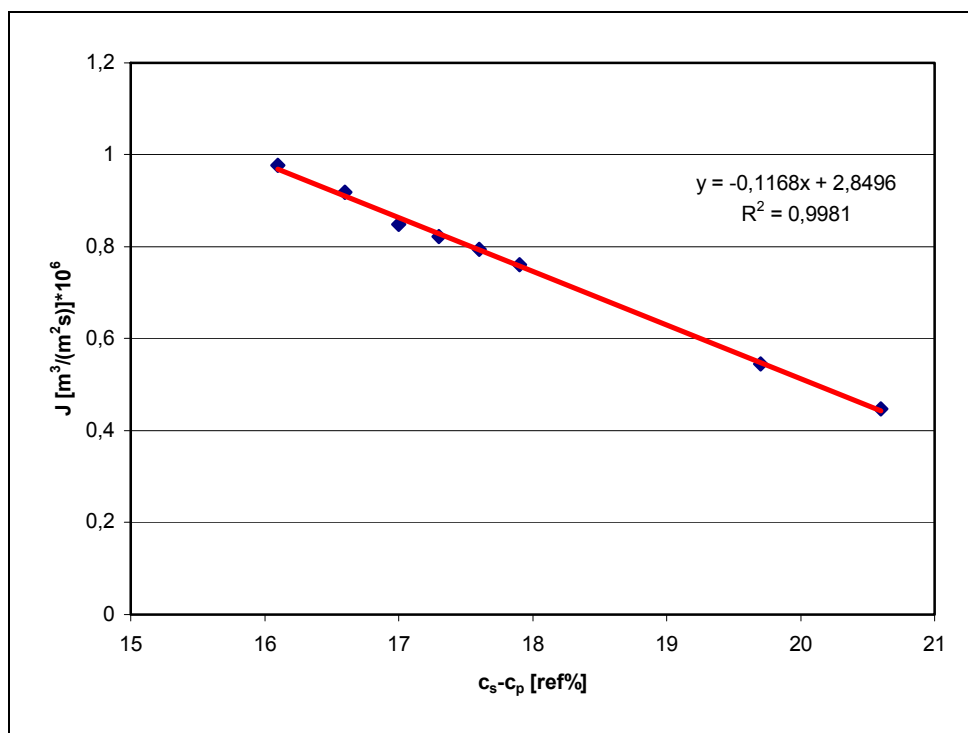
$$a = \operatorname{tg} \alpha \cdot \eta_V \cdot R_{\odot}$$

Az ábráról meghatározható az összes ellenállás, ami magában foglalja a membrán ellenállását és a polarizációs réteg ellenállását.

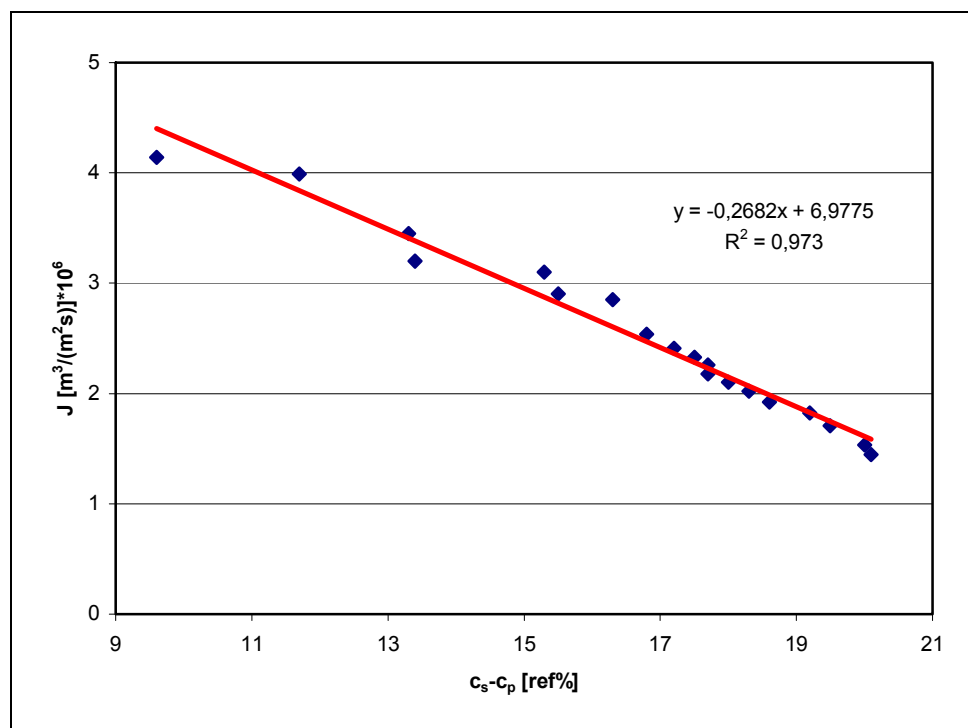
A fordított ozmózis modellezését hasonlóan végeztem, mint a nanoszűrését. Azzal a különbséggel, hogy itt két féle must és egy modell oldat besűrítése alapján végeztem a számításokat.

A víz fluxusból számoltam a membrán ellenállását, majd a víz dinamikai viszkozitását is figyelembe véve meghatároztam egy olyan membrán ellenállás értéket, ami nem függ a hőmérséklettől. Ezután ábrázoltam a must fluxusát a sűrítmény és a szűrlet cukorkoncentrációjának különbségének függvényében. A diagramról meghatározható a Rautenbach modell a konstansa. Továbbá meghatározható az összes ellenállás, aminek értékéből a polarizációs ellenállás értéke számítható. Az összellenállást a membrán ellenállás és a polarizációs ellenállás összege adja. A membránellenállás értékek természetesen azonosak, mivel ugyanazon a berendezésen, membránon és ugyanolyan körülmények között mértem a víz szűrletfluxusát, amiből később az ellenállásokat számítottam.

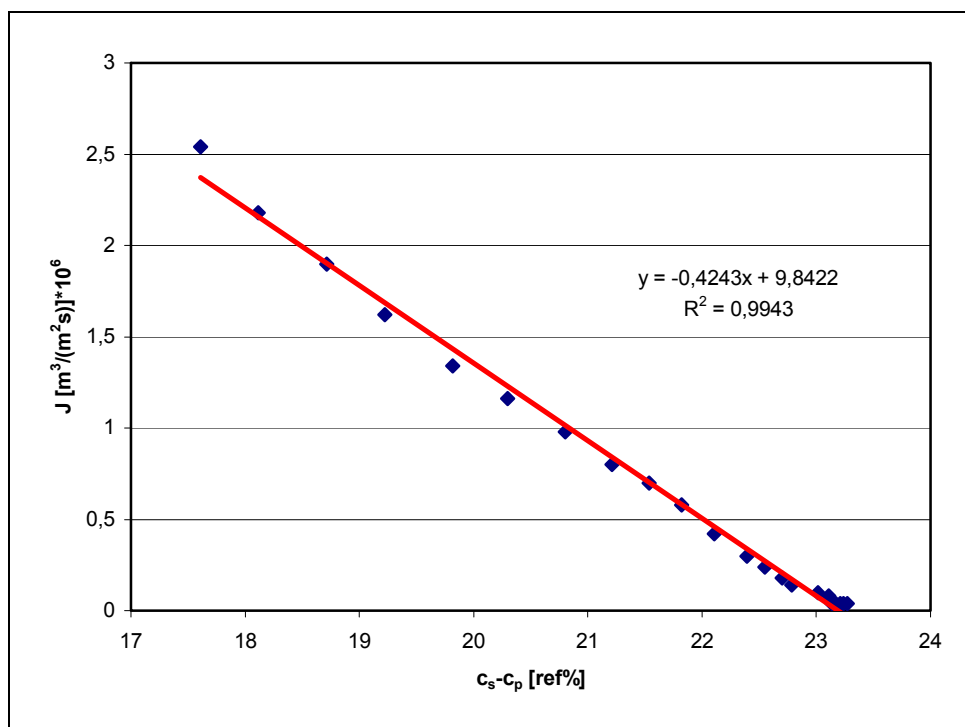
Az 57-61. ábrák a fordított ozmózisok szűrletfluxusát ábrázolja a refrakció-különbség függvényében, amely pontokra illesztett egyenes egyenlete kiindulási alapul szolgál a 9. táblázatban feltüntetett paraméterek kiszámításához.



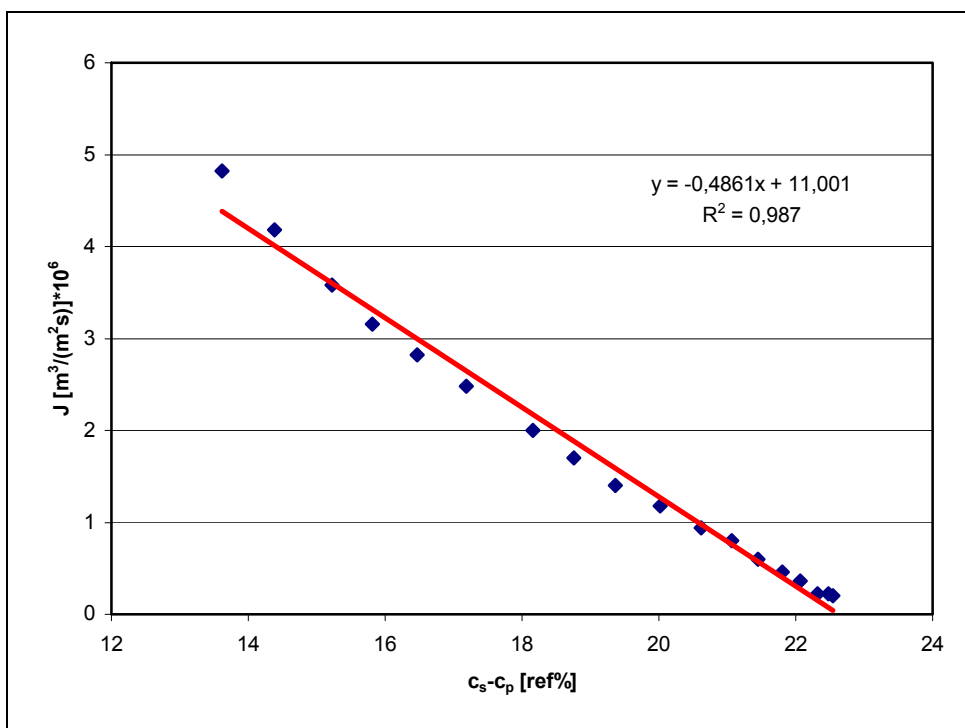
57. ábra. A szűrletfluxus a retentátum és a permeátum koncentrációjának függvényében fordított ozmózisnál (Furmint must)



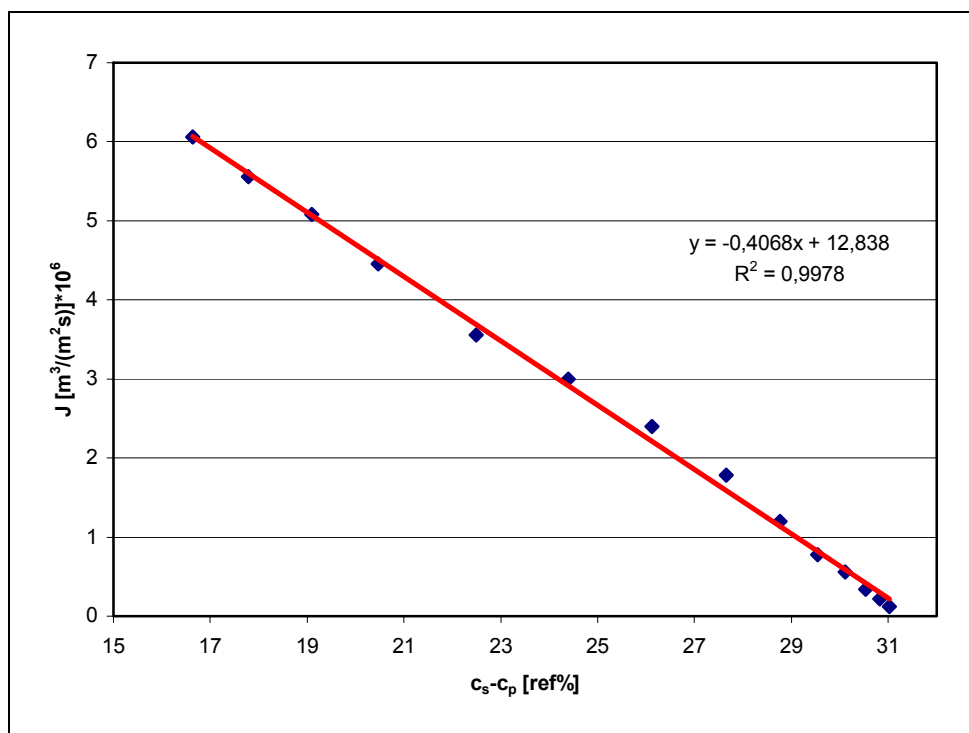
58. ábra. A szűrletfluxus a retentátum és a permeátum koncentrációjának függvényében fordított ozmózisnál (mikroszűrt, hígított Furmint must)



59. ábra. A szűrletfluxus a retentátum és a permeátum koncentrációjának függvényében fordított ozmózisnál (Kékfrankos must)



60. ábra. A szűrletfluxus a retentátum és a permeátum koncentrációjának függvényében fordított ozmózisnál (mikroszűrt, Kékfrankos must)



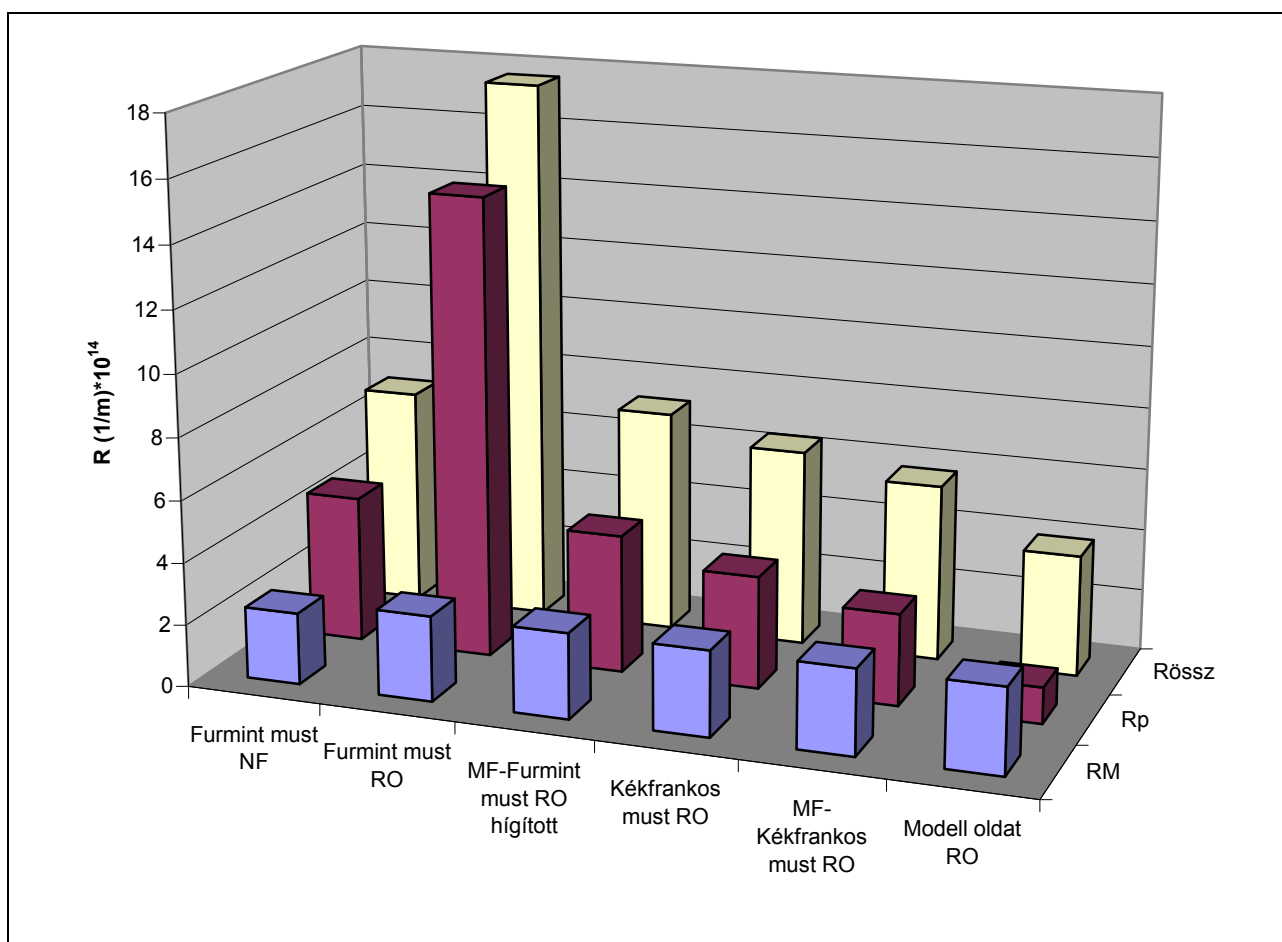
61. ábra. A szűrletfluxus a retentátum és a permeátum koncentrációjának függvényében fordított ozmózisnál (modell oldat)

10. táblázat. A Rautenbach-modell alapján számított ellenállások és konstansok

Anyag, szűrés	Kiindulási elegy (ref%)	R_M (1/m)	$R_{össz}$ (1/m)	R_p (1/m)	a (bar/ref%)
Furmint must NF	17,5	$2,31 \cdot 10^{14}$	$7,035 \cdot 10^{14}$	$4,725 \cdot 10^{14}$	1,728
Furmint must RO	16	$2,748 \cdot 10^{14}$	$17,61 \cdot 10^{14}$	$14,864 \cdot 10^{14}$	1,639
MF-Furmint must RO	9,3	$2,748 \cdot 10^{14}$	$7,193 \cdot 10^{14}$	$4,445 \cdot 10^{14}$	1,537
Kékfrankos must RO	17,5	$2,748 \cdot 10^{14}$	$6,37 \cdot 10^{14}$	$3,626 \cdot 10^{14}$	2,15
MF-Kékfrankos must RO	13,5	$2,748 \cdot 10^{14}$	$5,703 \cdot 10^{14}$	$2,954 \cdot 10^{14}$	2,2
Modell oldat RO	16,5	$2,748 \cdot 10^{14}$	$3,91 \cdot 10^{14}$	$1,161 \cdot 10^{14}$	1,268

A 10. táblázat adatait a jobb szemléltetés érdekében a 62. ábrán tüntettem fel. Az ábráról jól látható, hogy a membránellenállások (R_M) közel azonosak a nanoszűrés és a fordított ozmózis esetén. A Furmint must nanoszűrésénél azonban már jól elkülöníthető tulajdonságaiban egymástól a két membrán, mivel a fordított ozmózis összes ellenállása több mint kétszer nagyobb a nanoszűrés értékeinél. Az is jól kiolvasható az ábrából, hogy a Furmint must fordított ozmózissal történő besűrítésénél az összes ellenállás négyötödét teszi ki a polarizációs réteg ellenállása. Ezt a tetemes különbség a kezeletlen Furmint must magas lebegőanyag tartalmával magyarázható, és ezt támasztja alá az is, hogy a mikroszűrt, hígított Furmint mustnál már csak az "átlagos" ellenállás arányok jelentkeztek.

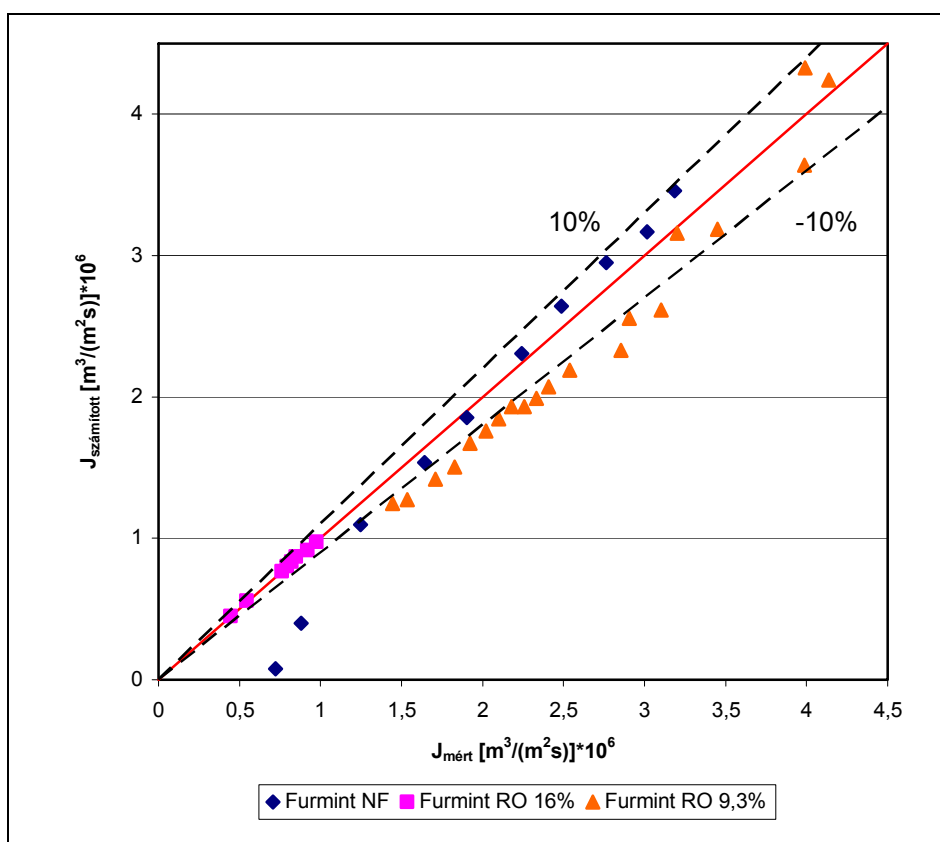
A Kékfrankos mustok esetén már nem jelentkezik ez a nagyarányú különbség és jól látható, hogy sem a mikroszűrés, sem az alacsonyabb cukor koncentráció nem eredményeztek drasztikus ellenállás csökkenést, mint ahogy az a Furmint must esetén tapasztalható volt. Ez egyértelműen a Kékfrankos must magas fokú tisztaságával magyarázható.



62. ábra. Az ellenállások alakulása nanoszűrésnél és fordított ozmózisnál

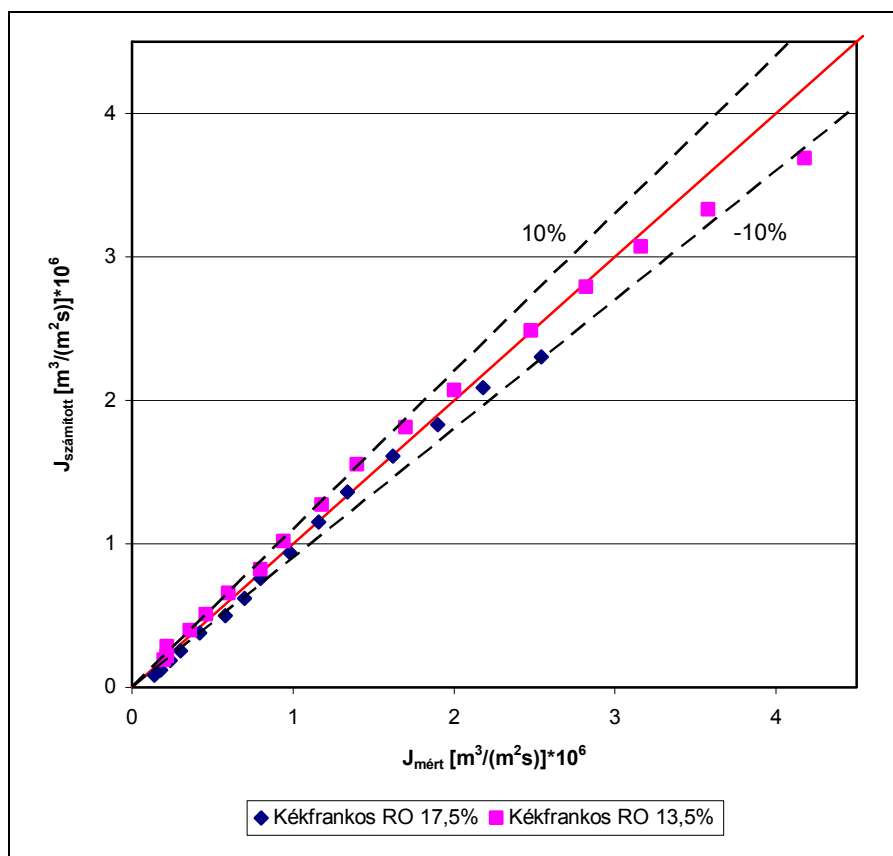
A legalacsonyabb összes ellenállás a modell oldatnál volt, ami a várt értékekkel összhangban volt. A modell oldat besűrítése után kapott adatok bizonyítják azt, hogy a mustokat nem lehet egyszerűen egy beállított cukros oldattal modellezni, mivel azok egy jóval összetettebb rendszert képviselnek, de a mustok sem egy halmazt alkotnak, mert a jellemző konstans értékeik alapján sikeresen elkülöníthetők egymástól.

A kapott átlagos konstans értékek és a meghatározott egyenletek alapján, összehasonlítottam a kísérletekben mért szűrletfluxus értékeket a számítottakkal. A 63. ábra a Furmint must mért és számított értékeinek a felezőtől való eltérését szemlélteti, ahol jól látható, hogy a pontok a 10%-os határhoz közel vagy azon belül találhatók, ami a modellezés sikerességét igazolja.

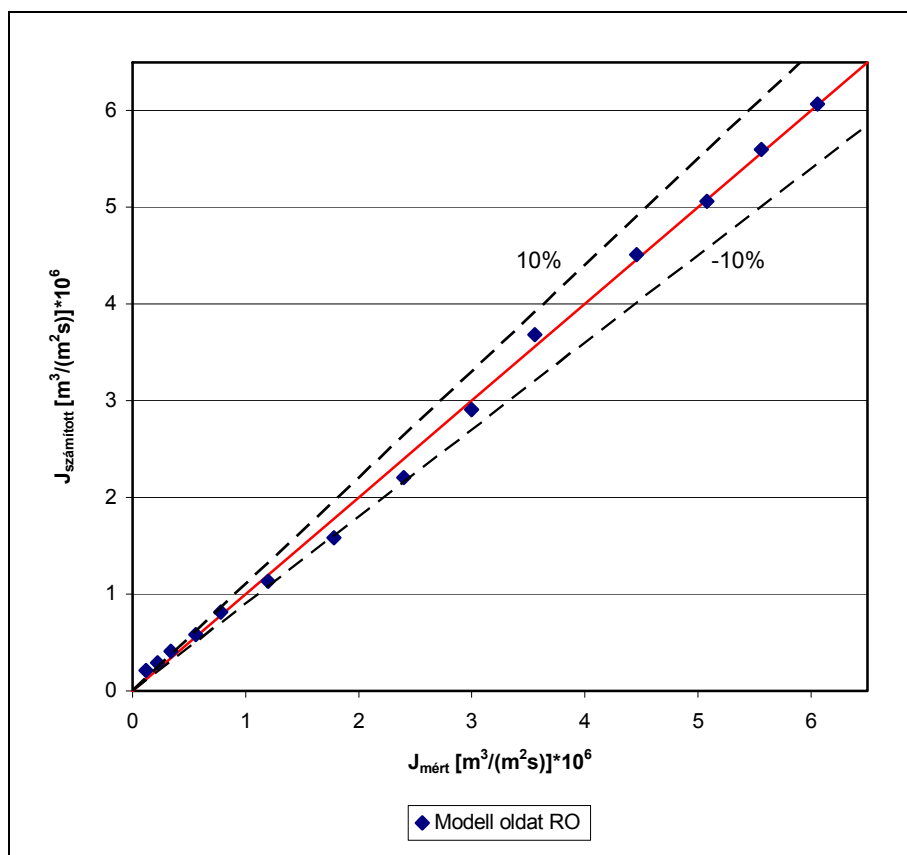


63. ábra. Mért és számított fluxus értékek összehasonlítása (Furmint must)

A 64. és 65. ábrák szintén a modellezés sikerességét igazolják, mivel a Kékfrankos must, valamint a modell oldat esetében is az erős 10%-os tűrési határon belül maradtak a mért és a számított értékekből kalkulált pontok.



64. ábra. Mért és számított fluxus értékek összehasonlítása (Kékfrankos must)



65. ábra. Mért és számított fluxus értékek összehasonlítás (modell oldat)

5.9 Kisüzemi berendezés méretezése

A mérések és a modellezések alapján egy integrált kisüzemi berendezés tervezése volt az egyik célom. A tervezett rendszer egy fordított ozmózis berendezésből és egy membrán desztillációs berendezésből állna.

Első lépésben kb. 10 ref%-os mustot fordított ozmózissal elősűrítünk 25 ref%-ra. Második lépésben ezt a sűrítményt egy membrándesztillációs berendezésbe vezetve tovább sűríthetjük 65 ref%-ra. Így ez a sűrítmény már hűtés nélkül is eltartható lesz.

A fordított ozmózisnál egy MFT-Köln típusú berendezést alkalmazunk. A besűrítéseket 50 bar üzemi nyomáson, $5,4 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$ fluxus mellett végzik, a besűrítési arány pedig 2,5. A berendezésben egy modul található, amelynek felülete 9 m^2 . A berendezést 3 műszakban üzemeltetik, mégpedig úgy, hogy 6 órán keresztül folyik a besűrítés, ezután 2 órán keresztül tisztítják a berendezést.

A membrán desztilláció egy szakaszos berendezésben történik, ebben egy Microdyn típusú modul található, amelynek felülete 10 m^2 . Az alkalmazott hőmérséklet-különbség 20°C . A hűtővíz hőmérséklete 10°C . A membrándesztillációs berendezés napi 20 órát, működik, majd 4 órán keresztül tisztítják.

Első lépésként a 20°C -os hőmérséklet-különbséghez tartozó szűrletfluxus értékét becsültem, ami $0,85 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$ volt. Ezt a 10°C , 15°C és a 30°C -os hőmérséklet-különbségű vízfluxus méréseim alapján tettem meg. Azért használtam a víz adatait, mert az előzőekben már megállapítottam, hogy nincs szignifikáns eltérés a vízzel és a musttal végzett kísérletek szűrletfluxus értékei között.

A hőmérséklet-különbségek és a hozzájuk tartozó átlag fluxusok segítségével kiszámítottam a 20°C hőmérséklet-különbséghez tartozó fluxus értéket. Ez után azt határoztam meg, hogy egy nap alatt mennyi sűrítményt lehet az adott körülmények között előállítani, és ehhez mennyi kiindulási anyag szükséges (a kiindulási anyag itt a fordított ozmózissal előállított retentátum).

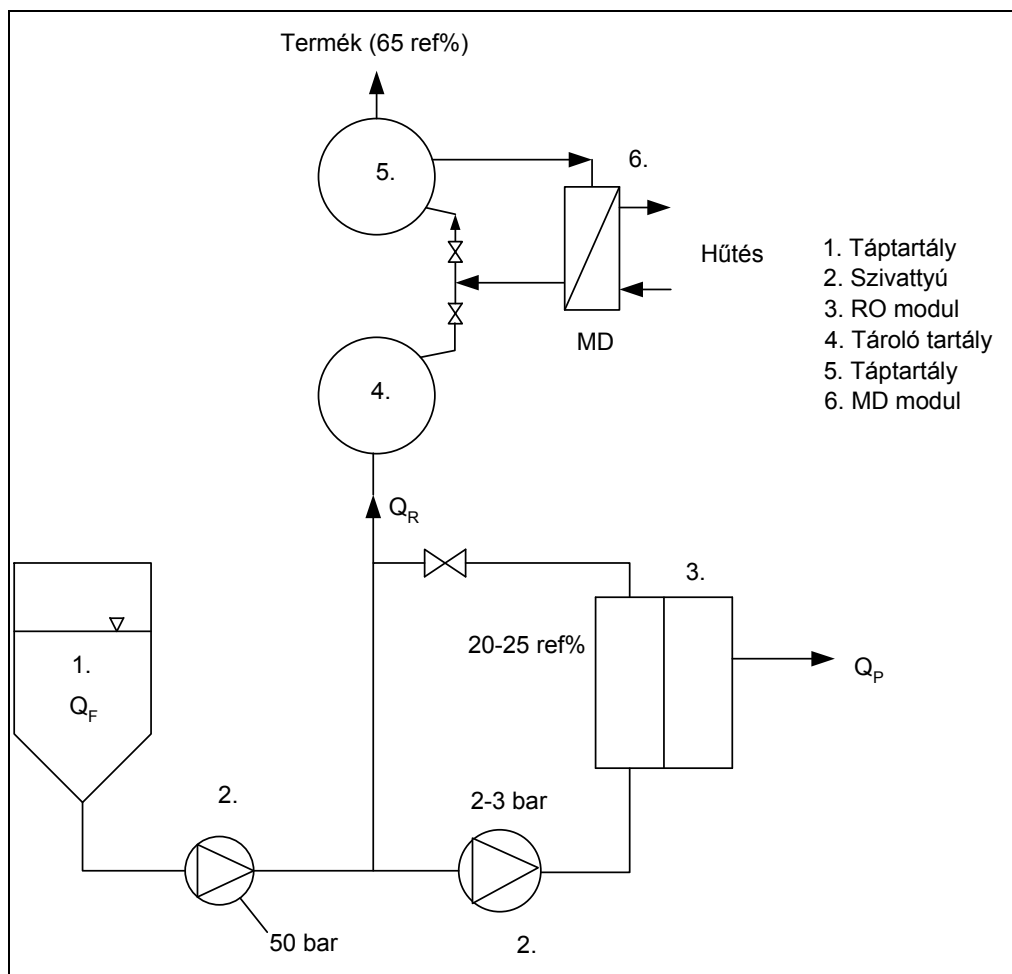
A membrándesztillációs berendezés méretezése után a fordított ozmózis berendezést méreteztem. Itt már az előző számításaimból tudtam, hogy mi az a minimális mennyiségű retentátum, amit elő kell állítanom.

A méretezést a fordított ozmózis modellezése alapján végeztem. Először a szűrletfluxust határoztam meg a modell alapján, majd ebből kiszámoltam, hogy mekkora membránra lenne szükség a megfelelő mennyiségű sűrítmény előállításához.

Számításaim alapján a szükséges membránfelület $6,2 \text{ m}^2$, ami kisebb, mint a rendelkezésre álló 9 m^2 , így a fordított ozmózis során előállított sűrítmény több lesz, mint amit a membrándesztilláció során azonnal fel tudunk használni. A felesleget tartályban tárolhatjuk, de ezt tartósítani kell a

felhasználásig. Ez megoldható szén-dioxid nyomás alatti tárolással, vagy steril körülmények közötti tárolással. Ezek előnye, hogy nem károsodnak az aromaanyagok.

A méretezett berendezés elvi ábráját a 66. ábra mutatja.



66. ábra. A méretezett integrált berendezés elvi rajza

A méretezés során meghatározott tömegáramokat a következő táblázatban foglaltam össze:

11. táblázat. A különböző tömegáramok összefoglaló táblázata

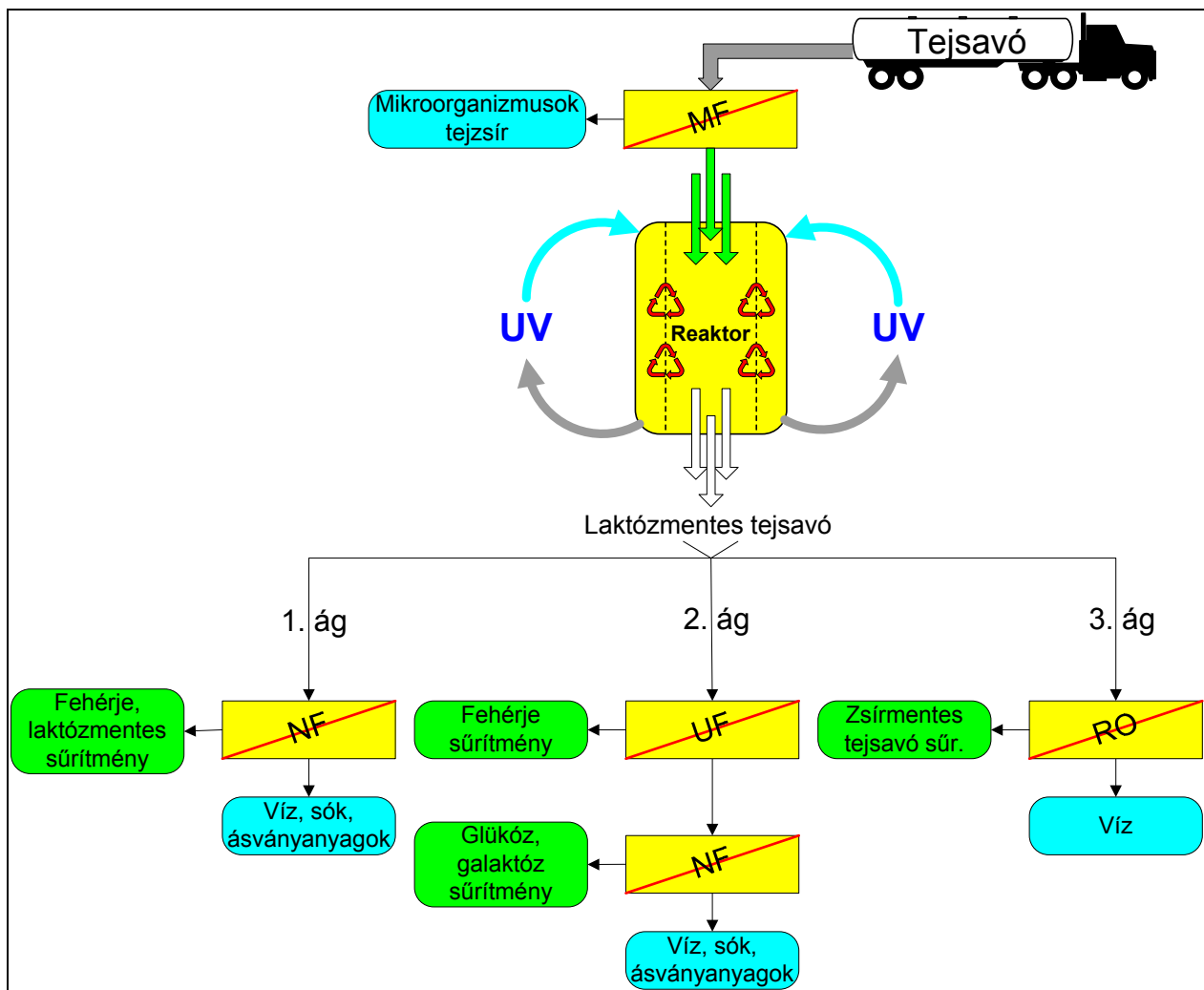
	QF (kg/nap)	QP (kg/nap)	QR (kg/nap)
Fordított ozmózis	1005	603	402
Membrándesztilláció	276	170	106

5.10 Új tudományos eredmények

1. Félüzemi kerámia és félüzemi kapillárcsöves mikroszűrő berendezésekkel mozzarella sajt savóját és különböző mustokat szűrtem. A szűrések elsődleges célja a tejsavó zsírtartalmának szeparálása, valamint a mustok lebegőanyag tartalmának eltávolítása (előkezelés) volt. A szűrések másodlagos célja a tejsavó csírátlanítása és a must érzékszervi paramétereinek javítása volt. A kísérletek eredményei alapján megállapítottam:
 - A 0,2 μm pórusméretű mikroszűrő a tejsavóban lévő zsírok 98,7 %-át, a mikroorganizmusoknak pedig a 100 %-át visszatartotta, így a művelet sikeresen alkalmazható a tejsavó zsírtalanítására és csírátlanítására.
 - A 0,2 μm pórusméretű Microdyn kapillárcsöves modul az érzékszervi eredmények alapján több szempontból ajánlott eljárás a besűrítések első lépéseként. A kapillárcsöves modullal szűrt must külső megjelenésére 73,6 pontot kapott a 100-ból, míg a kezeletlen változat 64-et, ami a tükrösítés sikerességét igazolja. Íz preferencia alapján a bírálók 75,75 ponttal a kapillárcsöves modul szűrletét sorolták az első helyre és a kezeletlen musttal való összehasonlításnál az íz és illat intenzitásokban is csekély különbség adódott. Több vizsgált paraméter alapján megállapítható, hogy a 0,2 μm pórusméretű Microdyn kerámia modul nem alkalmas a mustok előkezelésére.
2. A membrándeztillációs vizsgálatok során 0,2 μm pórusméretű, MD 020 CP 2N típusú hidrofób membránt használtam modell oldat (víz - cukros víz) és különböző mustok besűrítésére. A kísérletek során megállapítottam, hogy a nanoszűréssel és a fordított ozmózissal ellentétben a besűrítés sebessége állandó és kevésbé függ a besűrítendő anyag összetételétől, mivel a desztillált víz és a 20ref%-os cukros víz esetében is azonos, 2,4 $\text{kg}/(\text{m}^2\text{h})$ volt a fluxus 30°C-os hőmérséklet-különbség mellett. A kékfrankos és furmint mustok besűrítésénél azonos paraméterek mellett (kiindulási mennyiség és ref%, ΔT), 64 ref%-os sűrítményeket kaptam, megegyező idő alatt.
3. Membrán reaktor kísérleteim során igazoltam, hogy az 5 kDa-os Nadir membrán 100% -ban visszatartja a β -galaktozidáz enzimeket (ellentétben az 5 és 10 kDa-os Pall membránokkal), mivel a membrán reaktor szűrletében enzimaktivitást nem lehetett mérni. HPLC vizsgálatokkal igazoltam, hogy a membrán bioreaktorban a 7% szárazanyag tartalmú tejsavó 50 g/L enzim, valamint a 20% szárazanyag tartalmú tejsavó 120 g/L enzim melletti hidrolízise sikeresen kivitelezhető a β -galaktozidáz enzim 100%-os visszatartása mellett.

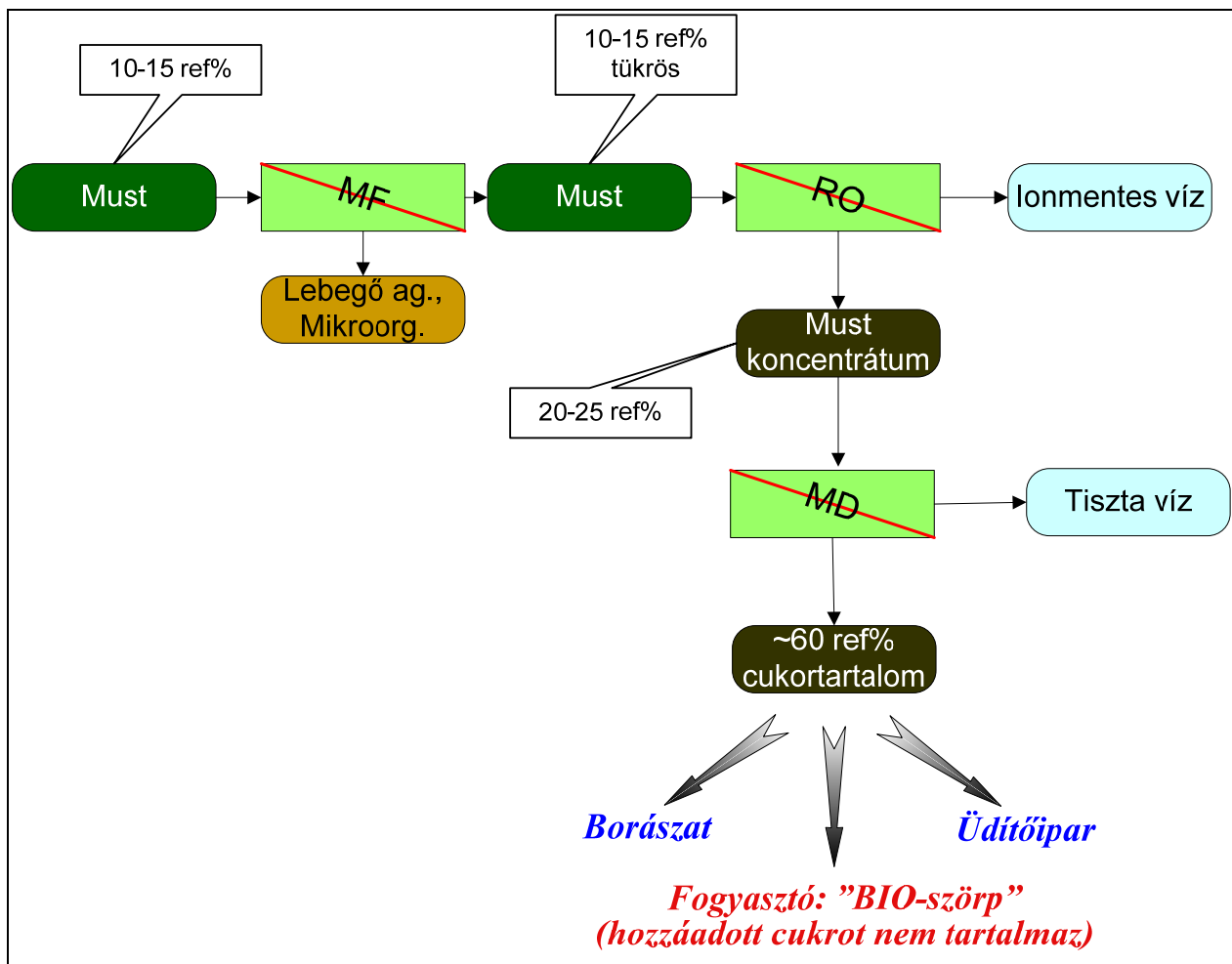
4. Komplex eljárást dolgoztam ki a tejsavó, mint tejipari melléktermék feldolgozására (67. ábra). Az eljárást, melynek lényege a membrántechnikai műveletek kombinációja, a következő eredményeim alapján dolgoztam ki. Kezdeti lépésként a tejsavót 0,2 μm pórusméretű kapillárcsöves félüzemi berendezéssel csíráatlanítottam és a zsírok 98,7%-át szeparáltam. Ezzel a művelettel két hagyományos eljárást egyesítettem. Ezután membrán-bioreaktorban laktózmentesítettem a tejsavót, majd az ultraszűrést, a nanoszűrést és a fordított ozmózist alkalmazva három párhuzamos ágat képeztem a tejsavó hasznos végtermékekké alakítása céljából:

- A mikroszűrés utáni szűrletet ultraszűréssel, majd nanoszűréssel betöményítve, két végterméket kapunk. Az ultraszűrés során a 100 kDa vágási értékű membrán a fehérjék 75%-át tartotta vissza, ami a kisebb molekulaméretű savófehérjékkel magyarázható. Az UF-permeátumot nanoszűrve pedig magas laktóztartalmú koncentrátum keletkezik. Az így kapott elegyekből port készítve értékes anyagok nyerhetők a gyógyszeripar és a táplálék-kiegészítő termékeket gyártók számára.
- A mikroszűrt savó nanoszűrésénél a 400 Da vágási értékű, R75A Millipore membránnal, 4-szeres sűrítési arány mellett a 92%-os laktóz visszatartást értem el. A tejsavóban lévő laktóz tartalmat 21%-ig növeltem. Nanoszűrést alkalmazva a savóban lévő fehérjék és laktóz betöményíthetők. Az így kapott sűrítmény tovább hasznosítható a fagylaltgyártás egyik alapanyagaként.
- Az RO kísérletek során megállapítottam, hogy a zsírmentes szűrletnél 16%-os, a fehérje- és zsírmentes szűrletnél 57%-os, míg a nanoszűrés permeátumánál 84%-os fluxus növekedés várható a besűrítés során a kiindulási savóhoz viszonyítva. Így igazoltam, hogy fordított ozmózis során a zsírtartalomnak kisebb szerepe van a szűrletfluxus csökkenésében, mint a fehérje- és laktóz tartalomnak. A zsírgolyócskák -melyek mérete mikrométeres nagyságrendű-, kevésbé szólnak bele az ozmotikus viszonyokba. További kísérleteim igazolták, hogy a fordított ozmózis alkalmas a savó összes értékes komponensének eredményes besűrítésére, mivel a vezetőképesség csökkenés még kétszeres besűrítés esetén is 93% volt az MF-szűrlet RO permeátumánál. Ez a komplex membránszűrési alkalmazás ideális lehet a kisüzemek számára, mivel a sűrítmény visszavezethető a sajtgyártás folyamatába, ezzel növelve a sajtkihozataalt.



67. ábra. Új, komplex membránszeparációs eljárások a tejsavó felhasználására

5. Komplex eljárást dolgoztam ki a mustok besűrítésére (68. ábra). Az eljárást, melynek lényege a fokozatos besűrítés, a következő eredményeim alapján dolgoztam ki. Első lépésként a rossz évjáratú mustot 0,2 μm pórusméretű kapillárcsöves mikroszűrővel csíráatlanítottam és tükrösítettem, majd a szűrletet MFT-Köln CD-1 félüzemi fordított ozmózis berendezésen 22,5 ref% értékig koncentráltam. Ezután a kiindulási anyagot membrán-desztillációval, amelynél egy 0,2 μm pórusméretű hidrofób típusú membránt használtam, 64 ref%-ra végsűrítettem, így olyan végterméket kaptam, amely borászati, üdítőipari, valamint fogyasztói felhasználásra egyaránt alkalmas.



68. ábra. Új, komplex membránseparációs eljárások mustok besűritésére

6. Következtetések és javaslatok

6.1. Következtetések

Kutatásaim során komplex eljárást dolgoztam ki a sajtgyártás során keletkező savó feldolgozására és laktózmentesítésére.

- A 0,2 μm pórusméretű mikroszűrő alkalmas a savóban lévő zsír hatékony szétválasztására, valamint eredményesen használható a tejsavó csírátlánítására.
- A 100 kDa vágási értékű membrán a savóban lévő fehérjetartalom 75%-át képes visszatartani. Magasabb visszatartás esetén alacsonyabb vágási értékű membránt kell alkalmazni.
- A nanoszűrés még négyszeres besűrítés esetén is képes volt a tejsavó 91%-át visszatartani, így az eredményekből következik, hogy a tejsavóban lévő laktóz visszatartására a 400 Da-hoz közeli vágási értékű membrán az ideális választás.
- A β -galaktozidáz enzim visszatartása nem csak a vágási értéktől függ, hanem meghatározó a membrán típusa is. Jó membránválasztással, a β -galaktozidáz enzim 100%-osan visszatartható, így a membrán-bioreaktor gazdaságosan üzemeltethető.

Kutatásaim során komplex eljárást dolgoztam ki a szőlőmust besűrítésére.

- A 0,2 μm pórusméretű mikroszűrő alkalmas a must csírátlánítására és sikeresen alkalmazható előkezelésként tükrösítésre.
- Fordított ozmózissal sikerült 20 ref% fölötti sűrítményt elérni, ami alkalmas az alacsony cukortartalmú (gyenge évjárat) mustok feljavítására. Ilyen sűrítmény már a minőségi bor készítésére alkalmas mustok kategóriájába tartozik.
- Membrándeszillációval a mustot tovább lehet töményíteni a 60 ref% cukorkoncentráció fölé. A besűrítés gyorsaságát nagyban meghatározza a membrán két oldal oldala között lévő hőmérséklet különbség, mely folyamat a helyes hőmérséklet választással optimalizálható.

6.2. Javaslatok

1. A tejsavó komplex membrántechnikai feldolgozása során további félüzemi és üzemi kísérletek és azok számításai szükségesek a különböző lépések optimálására és összehangolására.

2. A tejsavó laktózmntesítése membrán-bioreaktor segítségével csak egy laboratóriumi vizsgálat eredménye, ami a membrántechnikai megoldások sikerességére mutat rá. További kísérletek szükségesek a módszer folyamatos és ipari méretű megvalósításához.

3. A szőlőmust komplex membrántechnikai feldolgozása során további félüzemi és üzemi kísérletek és azok számításai szükségesek a különböző lépések optimalására és összehangolására.

7. Összefoglalás

Értekezésemben szőlőmust és tejsavó kéméletes feldolgozásának megvalósítására alkalmas membránműveletek elemzésével, kísérleti vizsgálatával, modellezésével és tervezhetővé tételével foglalkoztam. A műveleteket és berendezéseket olyan új típusú folyamatokká kapcsoltam össze, amelyek az alapanyagok beltartalmi értékeinek megőrzése mellett jutnak el a végtermékig, egyes esetekben újrahasznosítva a végtermék előállítása közben keletkezett hulladékot.

Az új kéméletes és környezetbarát folyamatok gerincét az újszerű és rendkívül energiatakarékos membránműveletek és berendezések képezik:

- mikroszűrés, ultraszűrés, nanoszűrés és fordított ozmózis,
- és membrándeztilláció.

A mikrobiológiai kísérletek során bebizonyosodott, hogy a mikroszűrés alkalmas a tejsavóban és a szőlőmustban lévő mikroorganizmusok eltávolítására. A kiindulási anyagokban lévő nagyon magas kezdeti mikrobaszám ellenére a mikroorganizmusok nem jutottak át a permeátumba. A kísérleteim során alkalmazott mikroszűrés legfontosabb célja a kéméletes csírátlanítás, zsírtalanítás volt és nem elhanyagolandó az eljárás során megtakarított energiaköltség sem.

Az ultraszűrés során magas fehérjekoncentrációt lehet elérni a sajtavónál. A szűrés eredményességét befolyásolja a savó zsírtartalma, ezért az üzemekben célszerű szeparált anyagot szűrni és ezzel elkerülhetők a membránmodulok gyors eltömődése. A fehérjékben gazdag retentátumot további műveletekkel (diaszűrés, bepárlás, szárítás) tovább lehet töményíteni és így értékes savófehérje port kaphatunk, ami gyógyszerek, táplálék kiegészítők és különböző értékes, egészséges élelmiszerek alapanyagaként szolgálhat.

Kísérleteim igazolták, hogy a tejsavó nanoszűrése magas fehérje és laktóztartalmú sűrítmények előállítására alkalmas. A szőlőmust viszonylag magas szűrletfluxus és végkoncentráció mellett eredményesen besűríthető nanoszűréssel, melynek sűrítménye membrándeztillációval tovább töményíthető olyan állapotba, amely végtermék magas cukortartalma miatt a szokványos tartósítási műveletek nélkül, kis helyen eltartható. Fordított ozmózis alkalmazásával kisebb arányú és lassúbb elősűrítést lehet elérni, de mivel visszatartása a nanoszűrésnél is magasabb, ezért jobb minőségű végterméket kaphatunk a membrándeztillációs sűrítések után.

A tejsavó mikroszűrése után alkalmazott membránreaktor sikeresen alkalmazható a tejsavó laktózmentesítésére. A reaktor folyamatos üzemű, így elkerülhetők a leállásoknál szükséges takarítási és fertőtlenítési műveletek, valamint az enzim veszteség, mellyel időt és pénzt takaríthatunk meg.

A kísérleti eredmények felhasználásával olyan korszerű, komplex membránszűrési eljárások alapjait dolgoztam ki, amelyek a must kéméletes feldolgozására és tartósítására alkalmazhatók, továbbá a tejsavóból, mint melléktermékből értékes végtermékek állíthatók elő.

Conclusions

In my dissertation the membrane operations fit to process grape must and mozzarella whey were analysed, experimentally investigated, modelled and made designable. The procedures and devices were connected to have processes which result end-products while preserving the inner value of the elementary substances.

The essence of the new spare and environmental-friendly processes is the modern and exceedingly energy-saving membrane operations and devices:

- microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration and reverse-osmosis
- and membrane distillation.

It was proved true in the course of microbiological experiments that microfiltration is fit to remove microorganisms in whey and grape must. In spite of the very large number of microbes in starting materials, microorganisms did not get over to the permeate. The most important aim of microfiltration adopted in my experiments was spare sterilisation and degreasing, and energy expenses saved during procedure are not to be neglected.

In ultrafiltration high protein concentration is to be achieved in case of cheese whey. The fat content of whey influences the successfulness of filtering, for this reason it is expedient to filter separated material in factories and with this fast blocking of membrane modules could be evaded. The retentate rich in proteins can be further concentrated by additional procedures (dia-filtration, evaporation, drying), and in this way whey protein powder of high value is to be obtained which can serve as elementary substance of medicines, food supplementary and various valuable, healthy food-products.

My experiments proved that concentrates with high protein and lactose contents is to be produced by nanofiltration of whey. Grape must could be concentrated successfully by nanofiltration with relatively high filtrate flux and end density the concentrate of which can be further thickened by membrane distillation into such state which end-product is to be kept without the customary preservation operations in a small place because of its high sugar content. Smaller proportion and slower pre-concentration could be attained by adopting reverse osmosis but because the retention of it is higher than nanofiltration, end-product of better quality is to be obtained after membrane distillation concentrations.

Membrane reactor used after microfiltered whey is to be successfully adopted to make whey devoid of lactose. The reactor operates semi-continuously, so the cleaning and sterilisation procedures needed for standstills and enzyme loss can be avoided, and by this means time and money are saved.

Using the experimental results, the basis of such modern and complex membrane filtration procedures was worked out that is to be used to sparely process and preserve must, besides with this valuable end-products can be produced from whey as by-product.

Az értekezés témakörében megjelent közlemények

Impakt faktoros cikkek

A. Rektor, Á. Kozák, Gy. Vatai, E. Békássy-Molnár: Pilot plant RO-filtration of grape juice, Separation and purification technology, 57 (2007) 473-475

Á. Kozák, **A. Rektor**, Gy. Vatai: Integrated large-scale membrane process for producing concentrated fruit juices, Desalination, 200 (2006) 540-542

A. Rektor, Gy. Vatai, E. Békássy-Molnár: Multi-step membrane processes for the concentration of grape juice, Desalination, 191 (2006) 446-453

A. Rektor, N. Pap, Z. Kókai, R. Szabó, Gy. Vatai, E. Békássy-Molnár: Application of membrane filtration methods for must processing and preservation, Desalination, 162 (2004) 271-277

A. Rektor, Gy. Vatai: Membrane filtration of Mozzarella whey, Desalination, 162 (2004) 279-286

Lektorált cikkek

Rektor A.: Tejsavó laktózmentesítése membrános eljárás és enzimes hidrolízis kombinációjával, Membrántechnika, Budapest, 2005. március, p. 2-8

Rektor A.: EUROMEMBRANE 2004, konferencia beszámoló, Membrántechnika, Budapest, 2004, p. 71-73

Rektor Attila, Koroknai Balázs, Bélafiné Bakó Katalin: Gyümölcslevek koncentrációja membrános műveletekkel, Membrántechnika, Budapest, 2004, p. 8-15

Rektor A.: XX. EMS Nyári Egyetem, konferencia beszámoló, Membrántechnika, Budapest, 2003, p. 53-56

Konferencia kiadványokban megjelent teljes terjedelmű közlemények

A. Rektor, Á. Kozák: Enrichment of the sugar content in the grape juice by osmotic distillation. VI. International Food Science Conference, 20-21. May 2004., Szeged, Hungary, Agrártudományi Szekció 11., ISBN 963 482 677 6

A. Rektor, I. Burján: Membrane distillation application for concentration of must. VI. International Food Science Conference, 20-21. May 2004., Szeged, Hungary, Agrártudományi Szekció 10., ISBN 963 482 677 6

A. Rektor, S. Novalin, Gy. Vatai: New membrane reactor technology for enzymatic hydrolysis of lactose in whey. CEFood Second Central European Congress on Food, 2004, Budapest, Hungary, CD-ROM Diamond Congress Ltd. P-T-19

A. Rektor, N. Pap, Gy. Vatai, E. Békássy-Molnár: Application of membrane filtration methods for must processing and preservation, PERMEA 2003, International membrane science and technology conference, Slovakia, P3.6, ISBN 80-227-1922-6

A. Rektor, Gy. Vatai: Membrane filtration of Mozzarella whey, PERMEA 2003, International membrane science and technology conference, Slovakia, P3.7, ISBN 80-227-1922-6

Rektor A., Burján I.: Komplex membránszűrési eljárás alkalmazása mustok tartósítására (2. lépés: Előszűrés), Műszaki Kémiai Napok '04, Veszprém, 2004, p. 133-137

Rektor A., Pap N., Vatai Gy., Békássyné Molnár E.: Komplex membránszűrési eljárás alkalmazása mustok tartósítására (1. lépés: Mikroszűrés), Műszaki Kémiai Napok '03, Veszprém, 2003, p. 67-72

Rektor A.: Mozzarella sajt tejsavójának membránszűrése, MÉTE – XIX. TDK, Szeged, 2002., p.

Konferencia előadások összefoglalóval

Á. Kozák, **A. Rektor**, Gy. Vatai: Integrated large-scale membrane process for producing concentrated fruit juices, Desalination, 200 (2006) 540-542

A. Rektor, Á. Kozák, Gy. Vatai, E. Békassy-Molnár: Pilot plant RO-filtration of grape juice, PERMEA 2005, International membrane science and technology conference, Poland, p. 27, ISBN 83-7085-888-0

A. Rektor, Gy. Vatai, E. Bekassy-Molnar: Multi-step membrane processes for the concentration of grape juice. ICOM 2005 Congress, August 21-26. 2005., Seoul, Korea, p. 223 SW-167

A. Rektor, Gy. Vatai, E. Bekassy-Molnar: Grape juice concentration by recent membrane processes. EUROMEMBRANE 2004 Congress, 28.September-1.October 2004., Hamburg, Germany

A. Rektor, N. Pap, Gy. Vatai, E. Békassy-Molnár: Must concentration analysis and modelling of membrane filtration, XX. EMS Summer School and Conference, Norway-Trondheim, 2003, p. 67

Kozák Á., **Rektor A.**: Komplex membránszűrési eljárás alkalmazása mustok tartósítására (3. lépés: Végsűrés), Műszaki Kémiai Napok '05, Veszprém, 2005, pp: 113-114

Kozák Á., **Rektor A.**: Szőlőmust cukortartalmának növelése fordított ozmózis és ozmotikus desztilláció alkalmazásával, poszter, „Lippay-Ormos-Vas” Tudományos Ülésszak, Budapest, 2005, p. 264-265

Vatai Gy., Kiss I., **Rektor A.**, Békássyné Molnár E.: Must sűrítmény előállítás integrált membrán rendszerrel, XII. Membrántechnikai Konferencia, Budapest, 2004, p. 25

Rektor A., Vatai Gy.: Membránszeparációs műveletek alkalmazása tejsavó újrahasznosítására, előadás, „Lippay-Ormos-Vas” Tudományos Ülésszak, Budapest, 2003., p. 234-235

Rektor A., Pap N., Vatai Gy., Békássyné Molnár E.: Must tartósítása membránszűréssel, „Lippay-Ormos-Vas” Tudományos Ülésszak, Budapest, 2003., p. 236-237

Rektor A., Vatai Gy.: Mozzarella sajt savójának feldolgozási lehetőségei különböző membránszűrési műveletek összekapcsolásával, Műszaki Kémiai Napok '03, Veszprém, 2003, p. 90

Rektor A.: Mozzarella sajt savójának membránszűrése (A savó hasznosításának lehetőségei), XXVI. OTDK, Agrártudományi Szekció, Kaposvár, 2003., p. 162-163

Rektor A., Pap N.: Must feldolgozása és tartósítása komplex membránszűrési eljárással, XXVI. OTDK, Agrártudományi Szekció, Kaposvár, 2003., p. 151-152

Pap N., **Rektor A.**: Must feldolgozása és tartósítása komplex membránszűrési eljárással, Egyetemi TDK, Élelmiszertechnológia szekció, SZIE Budapest, 2002., p. 22

Irodalomjegyzék

- BALATONI M. (1978): Tejipari táblázatok. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- BÁNHÉGYI J. (1980): Mikrobiológiai praktikum. Tankönyvkiadó, Budapest.
- BÍRÓ G., MARTON T., WÁGNER A. (1981): Higiénia a tejiparban, Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BOUNOUS, G., BATIST, G., GOLD, P. (1991): Whey proteins in cancer prevention. Cancer letters, 57, 91-94.
- 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.
- CASSANO, A., DRIOLI, E., GALAVERNA, G., MARCHELLI, R., DI SILVESTRO, G., CAGNASSO, P. (2003): Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane processes. Journal of Food Engineering. 57 (2003) 153-163.
- CHERYAN, M. (1998): Ultrafiltration and microfiltration handbook. Technomic Publishing Co., Lancaster.
- CHRISTIAN T., DR. HEINRICH MAIR-WALDBURG, FRIEDRICH-WILHELM E. (2001): Sajtok nagy könyve. Aréna 2000 Kiadó, Budapest.
- CLARK, P. J. (2005): Concentrating proteins from milk and meat. Food technology, 59, 80-83.
- CZERMAK AND BAUER, (1990) P. CZERMAK AND W. BAUER,: Optimization of the continuous hydrolysis of lactose in the dialysis enzyme membrane reactor, DECHEMA Biotechnol. Conf. 4 (1990) (B), pp. 763–766. Abstract + References in Scopus | Cited By in Scopus
- CZERMAK, P., EBERHARD, G., KÖNIG, A., TRETZEL, J., REIMERDES, E.H., BAUER, W., (1988): Dialysis membrane reactors for enzymatic conversions in biotechnical processes: functional principles and examples for application. In: Behrens, D. (Ed.), DECHEMA. Biotechnol. Conf. 2, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, New York, pp. 133–145.
- CSAPÓ J., KISS ZS. (1998): Tej és tejtermékek az emberi táplálkozásban. Pannon Agrártudományi Egyetem, Kaposvár.
- DÍAZ, O., PEREIRA, C. D., COBOS, A., (2004): Functional properties of ovine whey protein concentrates produced by membrane technology after clarification of cheese manufacture by-products. Food Hydrocolloids, 18, 601-610.
- SPREER, E. (1998): Milk and Dairy Product Technology, Marcel Dekker, USA
- EPERJESI I., KÁLLAY M., MAGYAR I., (1998): Borászat. Budapest, Mezőgazda Kiadó.
- ETZEL, M. R. (2004): Manufacture and use of dairy protein fractions. Journal of Nutrition, 134, 996S – 1002S.
- EYERS, A. (2001): Höhere Wirtschaftlichkeit und Anlagenverfügbarkeit. Tetra Pak Processing GmbH, Glinde.

FERRARINI, R. VERSARI, A. GALASSI. S. (2001): A preliminary comparison between nanofiltration and reverse osmosis membranes for grape juice treatment. *Journal of Food Engineering*. 50 (2001) 113-116.

FONYÓ ZS., FÁBRY GY. (1998): *Vegyipari művelettani alapismeretek*. Tankönyvkiadó, Budapest.

FUKUMOTO, L.R., DELAQUIS, P., GIRARD, B. (2007): Microfiltration and Ultrafiltration Ceramic Membranes for Apple Juice Clarification. *Journal of Food Science*. Volume 63 Issue 5, Pages 845 – 850.

GAENZLE, M. G., HAASE, G., JELEN, P. (2008): Lactose – Crystallization, hydrolysis and value-added derivatives. *International Dairy Journal*. This issue, doi:10.1016/j.idairyj.2008.03.003

GASPER, H. (1990): *Handbuch der industriellen Fest/Flüssig-Filtration*. Hüthig Buch Verlag, Heidelberg.

GEKAS V., LOPEZ-LEIVA M., (1985): Hydrolysis of lactose: a literature review, *Process Biochem*. 20, pp. 2–12.

HIBBEY CS. (1992): *Élelmiszer-analitikai gyakorlat III*. Mezőgazdasági Kiadó Kft, Budapest

HOFFMANN, K. F. (1961): A tejsavó gyógyítás története a 17. 18. és 19. században. *Medizinische Monatsschrift*, 15, 411-414 (német kiadás).

HOMONNAY ZS., KONCZ K-né (2005): A tejsavóról másképpen 3. rész, *Élelmészeti ipar*, 59, 10, 278-285.

ISO 8589:1988 Sensory analysis - General guidance for the design of test rooms

JELEN, P. (2003): Whey processing – Utilization and Products. In H. Roginski, J. W. Fuquay, & P. F. Fox (Eds.), *Encyclopedia of dairy sciences* (pp. 2739-2745). London, UK: Academic Press.

KAPDAN, I. K., KARGI, F. (2006): Bio-hydrogen production from waste materials. *Enzyme and Microbial Technology*, 38, 569-582.

KARGI, F., OZMIHCI, S. (2006): Utilization of cheese whey powder (CWP) for ethanol fermentations. Effects of operating parameters, *Enzyme and Microbial Technology*, 38, 711-718.

KELLY, P. M., KELLY, J., MEHRA, R., OLDFIELD, D. J., RAGETT, E., O'KENNEDY, B. T. (2000): Implementation of integrated membrane processes for pilot scale development of fractionated milk components. *Lait*, 8, 139-153.

KETTING F. (1977): *Tejipari technológia II*. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Kecskemét.

KISS I. (1977): *Mikrobiológiai vizsgálati módszerek az élelmiszeriparban*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

KÓKAI Z., HESZBERGER J., KOLLÁR-HUNEK K., KOLLÁR G. (2002): A new VBA software as a tool of food sensory test. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry, Veszprém*, 30, 235-239.

KÜMMEL, R., ROBERT, J. (2000): Application of membrane processes in food technologies, In: Bélafi-Bakó K., Gubicza L., Mulder, M. (eds.), *Integration of membrane processes into bioconversions*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

- MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV = CODEX ALIMENTARIUS HUNGARICUS (2004): Tej és tejtermékek, 2-51. számú irányelv. Magyar Élelmiszerkönyv Bizottság, Budapest
- MAHONEY, R.R., (1985): Modification of lactose and lactose-containing dairy products with β -galactosidase. In: P.F. Fox, Editor, Developments in Dairy Chemistry-3, Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Amsterdam, pp. 69–108.
- MARÁZ A., FARKAS CS. (2000): Mikrobiológiai gyakorlatok, Agrárszakoktatási Intézet, Budapest.
- MIETTON-PEUCHOT, M., MILISIC, V., NOILET, P. (2002): Grape must concentration by using reverse osmosis. Comparison with chaptalization. Desalination. 148 (2002) 125-129.
- MSZ ISO 11035:2001 Hungarian Sensory Analysis.
- MULDER, M. (1996): Basic principles of membrane technology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- NENE, S., KAUR, S., SUMOD, K. JOSHI, B., RAGHAVARAO, S., S., M., S. (2002): Membrane distillation for the concentration of raw cane-sugar syrup and membrane clarified sugarcane juice. Desalination. 147 (2002) 157-160.
- NOVÁK Á. (2001): Az alapanyag összetételének módosítása, In: Szakály S. (szerk.), Tejgazdaságtan, Dinasztia Kiadó, Budapest, pp. 154-171.
- OZMIHCI, S., KARGI, F. (2008): Ethanol production from cheese whey powder solution in a packed column bioreactor at different hydraulic residence times. Biochemical Engineering Journal, 42, 180-185.
- PATIL G., RAGHAVARAO K.S.M.S. (2007): Integrated membrane process for the concentration of anthocyanin. Journal of Food Engineering, Volume 78, Issue 4 , 1233-1239.
- PINTADO, M. E., MACEDO, A.C., MALCATA, F. X., MACEDO, A. C., & MALCATA, F. X. (2001): Rewiev: Technology, chemistry and microbiology of whey cheeses. Food Science and Technology International, 7, 105-116.
- QURESHI, N., MADDIX, I. S. (2005): Reduction in Butanol Inhibiton by Perstraction: Utilization of Concentrated Lactose / Whey Permeate by Clostridium acetobutylicum to Enhance Butanol Fermentation Economics, Trans IChemE, Part C, Food and Bioproducts Processing, 83 (C1), 43-52.
- RAUTENBACH R. (1997): Membranverfahren / Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung. Springer-Verlag, Berlin.
- REIMERDES, E.H., (1985): Entwicklung von Enzymreaktoren zur Lactasebehandlung von Milch- und Folgeprodukten. Abschlußbericht BM f. Forschung und Technologie, Reference number 038491, Follow up report PTB 0382628, Bonn, 3–63.
- RUTTLOFF, H., (1994): Lactase. Industrielle Enzyme (second ed.). Behrs Verlag, 766–777.
- SABOYA, L. V., MAUBOIS, J.-L. (2000): Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. Lait, 80, 541-553.
- SCHÄFFER B. (2001): A tejfeldolgozás általános műveleteinek tudományos és gyakorlati alapjai. In: Szakály S. (szerk.), Tejgazdaságtan, Dinasztia Kiadó, Budapest, pp. 425-447.

SCHMIDT, C. H. (2000): Filtrationstechnik in der Käseherstellung. Tetra Pak Processing GmbH, Glinde.

SCOTT, K. (1995): Handbook of industrial membrane technology. Elsevier, Oxford.

SOMOGYI G. (1992): Kémiai laboratóriumi gyakorlatok II. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó.

STRATHMANN, H. (1989): Stand der Membrantechnik und ihre wirtschaftliche Bedeutung, Swiss Biotech 7(1): 13-25.

SZAKÁLY S. (2001): Tej és tejtermékek a táplálkozásban. In: Szakály S. (szerk.), Tejgazdaságtan, Dinasztia Kiadó, Budapest, pp. 425-447.

TEUBNER, C., MAIR-WALDBURG H., FRIEDRICH-WILHELM E. (2005): Das große Buch vom Käse

VAILLANT, F., CISSE, M., CHAVERRI, M., PEREZ, A., DORNIER, M., VIQUEZ, F., DHUIQUE-MAYER, C. (2005): Clarification and concentration of melon juice using membrane processes. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 6, 213–220.

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

WU, M. L., ZALL, R. R., TZENG, W. C., (2006): Microfiltration and Ultrafiltration Comparison for Apple Juice Clarification. Journal of Food Science. 55 (2006) 1162 – 1163.

www.LPVnet.de

ZADOW, J. G. (1994): Utilization of milk components: Whey. In R. K. Robinson (Ed.), Modern dairy technology, advances in milk processing. Vol. 1 (2nd ed.) (pp. 313-373). London, UK: Chapman & Hall.

ZADOW, J. G. (Ed.). (1992): Whey and lactose processing. New York, NY, USA: Elsevier 489pp

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőmnek Dr. Vatai Gyulának, a hosszú évek során nyújtott áldozatkész segítségét és mindazt a pluszt, mely PhD éveimet színesebbé tette.

Köszönet illeti Békássyné Dr. Molnár Erikát, aki témavezetőmmel egyetemben, nagyban hozzájárult disszertációm elkészüléséhez.

Köszönöm az Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék dolgozóinak, valamint volt diákjainak, Pap Nórának, Burján Ibolyának és Kozák Áronnak, hogy lelkiismeretes munkájukkal a segítségemre voltak.

Végül szeretném megköszönni családomnak és barátaimnak, hogy mindvégig mellettem álltak, biztattak, és hittek benne, hogy be tudom fejezni disszertációmat.