



Élelmiszertudományi Kar

Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

MEMBRÁNTECHNIKAI ALKALMAZÁS ELSŐ LÉPÉSE TEJSAVÓ ÚJRAHASZNOSÍTÁSÁRA

TDK Dolgozat

KOHÁNY ZSUZSANNA
Élelmiszermérnök BSc., 3. évfolyam



Témavezető: Dr. Fogarassy Eszter, egy. tanársegéd

TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0005
TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0023

**Budapest
2012**

TARTALOMJEGYZÉK_

1.	BEVEZETÉS	3
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	4
2.1	A tejsavó definíciója, történelmi háttere	4
2.2	A tejsavó alkotóelemeinek és összetételének bemutatása.....	4
2.3	A tejsavó felhasználási területei	6
2.4	A keletkező tejsavó szennyvízként való kezelése	7
2.5	A tejsavó feldolgozásának lehetséges módjai	8
2.6	A membrán definíciója és működési elve	9
2.7	Membránműveletek csoportosítása.....	10
2.7.1	Mikroszűrés (MF)	11
2.7.2	Ultraszűrés (UF)	11
2.7.3	Nanoszűrés (NF)	12
2.7.4	Fordított ozmózis (RO)	12
2.7.5	Diaszűrés (DF).....	12
2.8	A membránokra jellemző paraméterek	13
2.9	Ellenállás-modell	14
3.	CÉLKITŰZÉSEK	16
4.	ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	17
4.1	Méréshez felhasznált anyagok.....	17
4.2	Az alkalmazott membránok jellemzői	17
4.3	Laboratóriumi kísérletekhez alkalmazott berendezés	18
4.4	Víz fluxus mérése	19
4.5	Tejsavó fluxus mérése.....	20
4.6	Eltömődött víz fluxus.....	20
4.7	Membrán tisztítása.....	21
4.8	Tükrösítés	21
5.	EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKEELÉSÜK.....	23
5.1.	Kapillárcsöves membránon végzett kísérletek	23

5.2.	Csőmembránon és statikus keverővel ellátott csőmembránnal végzett kísérletek	25
5.3.	A szárazanyag-tartalom változása a kísérletek során	29
5.4.	Az ellenállás modell alkalmazása a membrán ellenállás (R_M) az eltömődésből adódó ellenállás (R_F) és a gélréteg ellenállás (R_G) meghatározásához	33
6.	ÖSSZEFOGLALÁS	38
	FELHASZNÁLT IRODALOM	40

1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre jobban előtérbe kerül a melléktermékek újrahasznosítása, a technológiába való visszaforgatása. Az újrahasznosítás célja a Föld erőforrásainak kímélése és a természetbe kerülő hulladék mennyiségének csökkentése.

A tejipar egyik mellékterméke az általam felhasznált tejsavó. A tejsavó főleg a sajt- és túrógyártás melléktermékeként keletkezik óriási mennyiségben. A tejsavó legnagyobb mennyiségét állati takarmányozásra használják. A tejsavó újrahasznosítása több szempontból is fontos. Egyrészt a tejsavó számos értékes összetevőt tartalmaz, ide sorolhatóak a fehérjék, a laktóz, a vitaminok és az ásványi anyagok is. A sokszínű beltartalmi értéke miatt szükségeszerű újabb technológiák kifejlesztése a tejsavó feldolgozására.

Másik szempont, hogy ha a tejsavót nem hasznosítjuk újra, hanem szennyvízként csatornába engedjük, akkor minden esetben a szigorú környezetvédelmi előírásoknak kell eleget tenni, mivel a tejsavó nagymértékben terheli a környezetet a magas kémiai és biológiai oxigénigénye (KOI, BOI) miatt.

Munkám során membrántechnikát alkalmazok a tejsavó újrahasznosítására. Vizsgálom a műveleti paraméterek hatását és a keletkező permeátum értékes anyag tartalmát mikroszűrés alkalmazása esetén. Az előszűréshez kapillárcsöves, csöves és statikus keverővel ellátott csöves 0,2 μm -es mikroszűrő membránokat használok. A felhasznált membránokat összehasonlítom a műveleti paraméterek és az értékes komponensek tekintetében.

A membrántechnikában mindig fontos a membránok eltömődésének mértéke, tisztításának lehetősége és az ellenállások (membránellenállás, polarizációs réteg ellenállás) meghatározása, így ezeket is előtérbe a dolgozatban ezt is részletezem.

A mikroszűrés csak első lépése a feldolgozási technológiának. További célok az előszűrt zsírmentesített tejsavó permeátum további feldolgozása nanoszűréssel és diaszűréssel, részleges vagy teljes sóalanítás megoldása, ami az ipar számára is nagy feladat és ezáltal egy élvezhető értékes komponensekben gazdag tejsavó sűrítmény vagy porított termék előállítás.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A tejsavó definíciója, történelmi háttere

A tejsavó a túró-, a sajt- és kazeingyártás melléktermékeként keletkezik, amelyet a fejlett tejgazdaságok eddig nem hasznosítottak megfelelően, hanem inkább szennyvízként kezelték. Már őseinktől ismert a savó jótékony hatása, mind az anyagcserére, mind a teljes emberi szervezetre. A tejsavót ismerhetjük szépségápolószerként, illetve gyógyírként. A tejsavó közel 3000 éves múltra tekint vissza. Elődeink borjúgyomorban szállították a tejet, mivel ez megfelelőnek bizonyult a tárolására. Azonban észrevették, ha bizonyos ideig tárolják a tejet, akkor elkezd gélesedni, ez az *alvadás* folyamata, amely során alvadék keletkezik és az alvadékból kiszivárgó folyadék a *savó*. Attól függően, hogy a tejet savasan, oltósan vagy vegyesen alvasztjuk meg, beszélhetünk savanyú savóról és édes savóról. Savanyú savó keletkezik a túrógyártás folyamán végrehajtott savas alvasztás során, édes savó pedig a sajtgyártásnál végzett oltós- vagy vegyes alvasztáskor. A sajttej domináns részét a világon a tehéntej képezi, de ezen kívül sok országban hasznosítanak a sajtgyárak pl. bivalytejet, kecsketejet, juhtejet, tevetetejet, kancatejet, számarstejet (Hommonay és Koncz, 2005; Molnár és Molnár, 1999; Zadow, 1992).

2.2 A tejsavó alkotóelemeinek és összetételének bemutatása

A tejsavónak olyan természetes összetevői vannak, amelyek miatt alapvető fogyasztási terméként kellene kezelni úgy, mint ahogyan ezt az anyatejjel is teszik. Szem előtt kell tartanunk, hogy magas a kálium és kalcium tartalma, emellett nagy mennyiségű a szervezet számára kulcsfontosságú nyomelemet és ásványi anyagot tartalmaz, mint a vas, a cink, a magnézium vagy a réz. Gazdagon tartalmaz vitaminokat, magas a B-vitamin tartalma (B1, B2, B6 és B12), és A-, és E-vitamin forrás. A magas vitamintartalom, elsősorban a riboflavin, okozza a savó zöldessárga színárnyalatát. A tejsavónak sajátos ízvilága van, melyet a benne található tejsav, laktóz és főként az aminosavak determinálnak, ezzel kellemesen savanykás ízt biztosítanak.

A tejsavó csekély mennyiségben tartalmaz kazeint és zsírt, azonban számottevő a savófehérje tartalma, ezek az úgynevezett albuminok és globulinok. A tejsavó bővelkedik tejcukorban is, amely közvetett módon szerepet vállal az ideális bélflóra kialakításában. Magas orotsav

tartalma fontos szerepet játszik a máj egészségének fenntartásában, mivel az orotsav gátolja a rákos megbetegedések kialakulását, mi több a betegségben szenvedők gyógyulására kedvezően hat.

A tej alvasztása során a tejfehérjék közül kicsapódik a kazein és egy kazeintérháló alakul ki, amely magába foglalja a tej további alkotóelemeit (ásványi anyagokat, tejcukrot, vizet, savakat, nyomelemeket, tejsírt). A sajtok készítése során, az alvasztáskor, számottevő tejben lévő komponens marad a tejsavóban, ezért tartalmaz nagy mennyiségben vitaminokat, nyomelemeket, ásványi anyagokat, laktózt és fehérjéket. Így például a tej fehérjetartalmának 25%-a kerül a savóba. Az 1. táblázatban is megfigyelhető, hogy különbséget teszünk édes és savanyú savó között. Az elnevezés attól függ, hogy a sajt oltós (édes savó keletkezik) vagy savas (savanyú savó keletkezik) alvasztással készült. A savanyú és az édes tejsavó között jellemző különbségek vannak a pH, az ásványi anyag tartalom, a laktóz- és a fehérjetartalom között, melyet az alábbi táblázatok szemléltetnek. A savófehérjéket az emberi szervezet 94-100%-ban képes megemészteni és feldolgozni. Ha azonban tartósan tároljuk szobahőmérsékleten, akkor minimális vitamin- és lizinveszteség lép fel a savóban (Csapó és Csapóné, Kiss, 2002).

1. táblázat A savó összetétele: (Csapó és Csapóné Kiss, 2002; Molnár és Molnár, 1999)

Megnevezés	Édes savó	Savanyú savó
Víz	93,38 %	93,52 %
N-tartalmú anyag	0,86 %	1,07 %
Zsír	0,32 %	0,15 %
Tejcukor	4,79 %	4,48 %
Hamu	0,65 %	0,78 %
Citromsav	0,10 %	0,10 %
Tejsav (g/1000ml)	1	5
Tejcukor (g/1000ml)	48	59
pH érték (mg/1000ml)	6,0	4,5
Ásványi anyagok (mg/100g)		
Ca	47	103
Fe	0,06	0,08
Mg	8	10
P	46	78
K	161	143
Na	54	48
Zn	0,13	0,43
Cu	0,004	0,003
Mn	0,001	0,002
Se (µg/100g)	1,9	1,8

2.3 A tejsavó felhasználási területei

A melléktermékként keletkező savót sokféle termék előállításánál használják fel. Savanyú savót adagolnak például a gyümölcslevek, sajtok, savanyú alkoholmentes üdítőitalok és erjesztett savóitalok előállításához. Édes savóval készülnek a csecsemőtápszerek, pudingok, szörpök és különféle fagylaltok. Készítenek savóport is, ami hasonlóan felhasználható, mint a savó. Emellett nagymértékben kerül a szépségiparba, ahol szépségápolószerek készítésére használják fel, de a legnagyobb mennyiségben állati takarmányok fehérje kiegészítőjeként

alkalmazzák (Molnár és Molnár, 1999; Szakály, 2001). A tejsavót és a belőle előállított savóport alapanyagként dolgozzák fel gyógytápszerek, tejpótló takarmánytápok, tej-por-helyettesítő készítmények és anyatej-pótló csecsemőtápszerek előállításához, magas laktóz és fehérjetartalma miatt (Szakály, 2001).

2.4 A keletkező tejsavó szennyvízként való kezelése

Mind az élelmiszeripar, mind pedig a mezőgazdaság működése során keletkeznek olyan szennyező anyagok, melléktermékek, melyek kezelése óriási összegekbe kerül a vállalatok számára. A tejsavó hasznosíthatóságát az emberi fogyasztás számára szükséges szorgalmazni, mivel az 1. táblázatban is látható, hogy nagy mennyiségben tartalmaz a szervezet számára nélkülözhetetlen anyagokat, elemeket. Mivel kb. 10 liter tejre van szükség, ahhoz, hogy 1 kg sajtot előállítson az ipar, így óriási mennyiségű savó keletkezik, mivel a sajtgyártásnál a tej szárazanyag-tartalmának jelentős hányada (kazein, zsír-, tejcukor- és ásványianyag-tartalom egy része) ill. csak a sajt jellegének megfelelő mennyiségű víz marad a sajtban. Meg kell említenünk a savó KOI és BOI értékét is, mivel ezek a magas adatok is szükségessé teszik a további feldolgozását. A KOI, a kémiai oxigénigény, mely megadja, hogy hány mg oxigén szükséges, egy liter vízminta oxidálószerrel történő eloxidálásához. A 204/2001. (X. 26.) kormányrendelet előírása szerint, ez a KOI küszöbérték szennyvíz esetén 1200 g/m^3 lehet, a savónál 80.000 mg/l , mely érték az előírtnak majdnem hetvenszerese, ezért nagymértékben terheli a környezetet. A másik jellemző paraméter a BOI, azaz a biológiai oxigénigény. A BOI megadja, hogy hány mg oxigén szükséges, egy liter vízminta-, aerob mikroorganizmusokkal történő eloxidálásához. Jóval pontosabb értéket ad, mint a KOI. Ez az érték 20°C -ra és egy adott időintervallumra vonatkozik, ez általában öt vagy húsz nap. A tejsavó BOI értéke 35.000 és 50.000 mg/l közé tehető. Ezek miatt a magas mérőszámok miatt nagyon káros a hulladékként történő elvezetése, főleg a vízi élővilágra. Mivel sok értékes anyagot tartalmaz, így nem szennyvízként, hanem mint újrahasznosítható anyagként kell kezelni (www.nrdcindia.com/agrofood.htm). Eddigi ismereteink szerint, legtöbb esetben a tejsavót állati eredetű fehérjehordozó tápokként használják fel, vagy savóporként forgalmazzák, vagy nem kezelik (Csapó és Csapóné Kiss, 2002; Molnár és Molnár, 1999; Rektor és Vatai, 2004).

2.5 A tejsavó feldolgozásának lehetséges módjai

Az egyik megoldás a savó feldolgozására a demineralizáció, amely folyamat során a tejsavóban lévő ásványi anyagokat vagy csak néhány iont részlegesen vagy teljesen eltávolítanak a savóból. Mivel ez többnyire a sókat alkotó ionokat foglalja magába, ezért a műveletet sótalanításnak is nevezik. A sótalanítás megvalósítható nanoszűrőssel és diaszűrőssel, melynek részleteivel a membránműveletek című fejezetben foglalkozok részletesebben.

Ahhoz, hogy megfelelő legyen a savó, illetve a savópor ezekhez a termékekhez szükséges a sótalanítási eljárás elvégzése, mivel a magas ásványi só tartalom nagymértékben gátolja a feldolgozást. A demineralizáció elvégzése után már alkalmazható a savó és a savópor a fent említett fogyasztói termékek előállítására (Szakály, 2001).

Egy új technológiát fejlesztettek ki a savó újrahasznosítására, ez az új eljárás, a mikropartikulálás. A nanopartikulálás és a mikropartikulálás során megváltoztatják a savó fehérjék tulajdonságait, ezáltal zsírokként viselkednek és így szélesítik ki a felhasználási lehetőségeit. A zsírok helyett felhasználhatók a mikropartikulált fehérjék különböző desszertekben, jégkrémekben és sajtokban, ahol is javítják az ízt és az állományt (Gülseren et. al., 2012.).

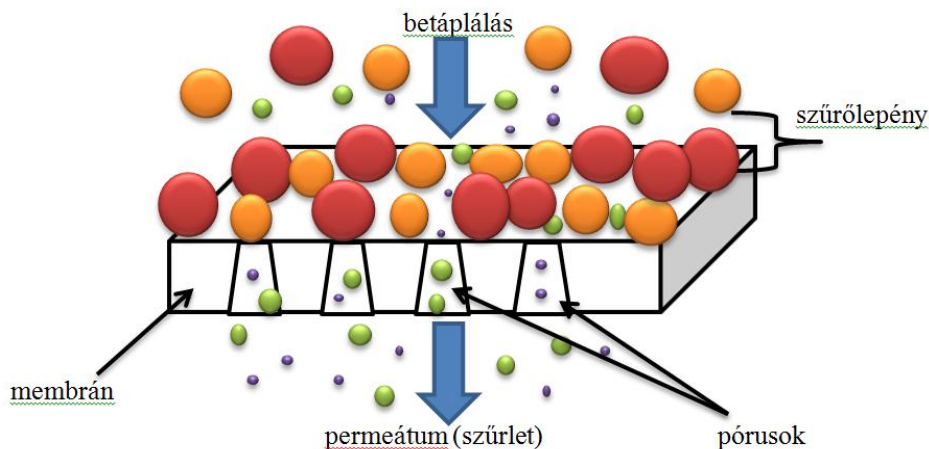
A savófehérjék besűrítésére, és belőle koncentrátum előállítására olyan technológiai eljárásokat dolgoztak ki, melyeket már a tejfehérjéből gyártott termékeknel is alkalmaztak. Ezekkel a modern módszerekkel különféle termékek állíthatók elő a savóból és a tejből is. Ezek az alábbiak: oltós vagy savas kazein, hővel koagulálódott savófehérje és ultraszűrőssel előállított savófehérje, kazeinátok, ko-precipitátumok. Az eljárások alatt értendő a mikroszűrés, ultraszűrés vagy éppen a nanoszűrés, illetve a gélfiltrálás. Ez utóbbit is koncentrátumok készítésénél alkalmazzák, illetve előfordul még, hogy gyártanak texturált fehérjéket valamely módszerrel, amit már élelmiszerekhez adagolnak (Csapó és Csapóné Kiss, 2002).

2.6 A membrán definíciója és működési elve

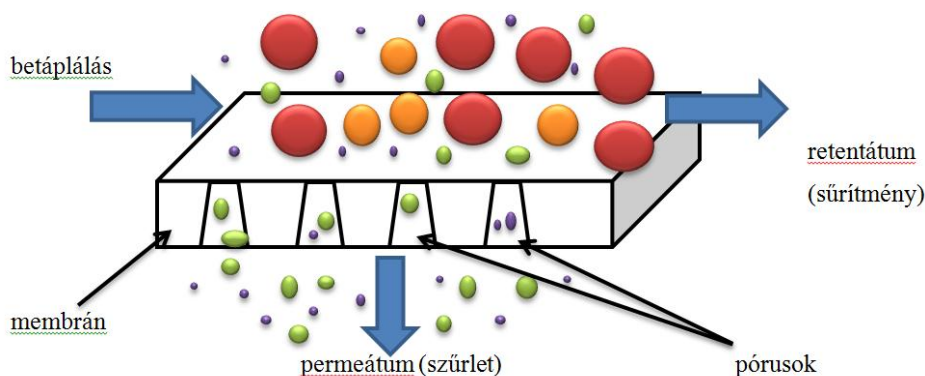
A művelet lényegét jelentő membrán (latin eredetű szó, jelentése hártya, héj), olyan válaszfal, amely szelektív áteresztőképességénél fogva az anyagok szétválasztását többnyire kémiai átalakulás nélkül teszi lehetővé.

A membránszeparációs műveletek általános elve a következő: A szétválasztandó elegyet a membrán egyik, úgynevezett betáplálási oldalára vezetjük, és kémiai potenciálkülönbséget hozunk létre a membránon keresztül. A kémiai potenciálkülönbség, mint hajtóerő hatására az elegy komponensei keresztülhaladnak a membránon és annak átellenes ún. permeátum oldalára kerülnek. Ha az elegy komponenseinek permeabilitása az adott membránra különböző, a permeátum összetétele eltérő a betáplálási összetételtől. Az általános hajtóerő a komponensek kémiai potenciálkülönbsége a membránon keresztül, de attól függően, hogy melyik változó játsza a meghatározó szerepet a kémiai potenciál létrehozásában, beszélhetünk nyomás-, koncentráció-, elektrokémiai potenciál-, és hőmérséklet-különbség által létrehozott membránszeparációs műveletről (Fonyó és Fábry, 2004).

A membránok működését az 1. és a 2. ábrák szemléltetik.



1. ábra „Dead-end” membránszeparációs eljárás modell



2. ábra „Cross flow” membránszeparációs eljárás modell

A membránműveletek közt megkülönböztetünk két alkalmazási területet, az 1. ábrán lévő, hagyományos szűrési (dead-end) eljárást és a vele ellentétes, keresztáramú módszert, melyet az 2. ábra mutat be.

Az 1. ábrán látható „dead end” eljárás során, az ábrán is megfigyelhető, hogy a betáplálás a membránra merőlegesen történik. Ezáltal bizonyos idő elteltével a membrán pórusai eltömődnek és csökken a szűrés hatékonysága, mivel egy szűrőlepeny alakul ki a membrán felszínén. Így ez az eljárás csak szakaszos üzemen alkalmazható, mivel a folyamat során a membránt tisztítani kell (Fonyó és Fábry, 2004).

A keresztáramú eljárás (cross flow) során, a betáplált elegyet, mely lehet folyadék vagy gáz is, párhuzamosan áramoltatják a membrán felületével, ezáltal kiküszöbölhető a szűrőlepeny kialakulása. Így a cross flow módszer használható folyamatos üzemen, ennek ellenére ennél az eljárásnál is szükség van a membrán rendszeres tisztítására, karbantartására (Fonyó és Fábry, 2004).

Minkét esetben keletkezik retentátum és permeátum. A retentátum, más néven sűrítmény, tartalmazza a membrán által visszatartott komponenseket. A permeátum, azaz a szűrlet, pedig a membránon átjutott komponensekben gazdag anyag.

2.7 Membránműveletek csoportosítása

A membránműveleteket az alkalmazott membránok típusa, pórusmérete, a hajtóerő, mechanizmus és az alkalmazási terület alapján csoportosíthatjuk.

2. táblázat A legfontosabb membránszeparációs műveletek (Fonyó és Fábry, 2004)

Művelet	Membrán-típus	Hajtóerő	Mechanizmus	Alkalmazási terület
Mikroszűrés [MF]	0,1...10µm	nyomás-különbség, 10...500kPa	konvekció, szitahatás	baktériumok, lipidek eltávolítása
Ultraszűrés [UF]	5...500nm	nyomás-különbség, 0,1...1MPa	konvekció, szitahatás	Fehérjék elválasztása oldatban
Nanoszűrés [NF]	1...10nm	nyomás-különbség, 0,6...4MPa	oldódás, diffúzió, szitahatás	Sűrítés, betöményítés (cukrok, többértékű ionok)
Fordított ozmózis [RO]	0,1...1nm	nyomás-különbség, 2...10MPa	Oldódás és diffúzió	Sók, mikrorészecskék elválasztása oldatban
Diaszűrés [DF]	0,01...1µm	nyomás-különbség 2...10MPa	szitahatás	Sók és kisméretű molekulák elválasztása makro- molekuláktól

2.7.1 Mikroszűrés (MF)

A mikroszűrés egy olyan membránszeparációs eljárás, amely a klasszikus szűrés módszerekhez közé tartozik, a művelet hajtóereje a nyomáskülönbség, ez a meghatározó paraméter az eljárás során. Az oldatlan formában lévő, azaz a lebegő részecskéket és egyes összetapadt zsírgömböket nem engedi át a membrán, a többi, oldott anyagot átengedi (Fonyó és Fábry, 2004, Espina et al., 2010a; Espina et al., 2010b; Rezaei et al., 2011).

Alkalmazási területei:

- tej vagy tejsavó tükrösítése, tej vagy tejsavó hideg sterilizálása, tej vagy tejsavó zsírtalanítása, savófehérje-izolátumok és – koncentrátumok gyártása

2.7.2 Ultraszűrés (UF)

Az ultraszűrő membrán pórusmérete kisebb, mint a mikroszűrő membráné. Az ultraszűrés módszerével, kiszűrhetőek egy adott oldatból a lebegő anyagok mellett a fehérjék. Mivel a fehérjék óriásmolekulák, így nem jutnak át a membrán pórusain, ellentétben a mikroszűréssel. A pórusokon képesek átjutni különböző sók, ionok, víz és a laktózmolekulák. Sikeresen használták fel az ultraszűrés műveletét túró készítésére és különböző sajtok előállítására

(Mozarella, Roquefort, Feta sajt, lágy sajtok, félkemény sajtok és Cheddar sajt, Cottage sajt, Ricotta) (Csapó és Csapóné, 2002; Fonyó és Fábry, 2004, Atrá et al., 2005; Sanmartín et al., 2012).

Alkalmazási terület:

- tejfehérje és tejsavó besűrítése, fehérjében gazdag sűrítmények előállítása, savófehérjék frakcionálása

2.7.3 Nanoszűrés (NF)

A nanoszűrő pórusmérete miatt nagyon kevés anyagot enged át, ilyen a víz és néhány nagyon kisméretű só, a többi anyag a retentátumba kerül. A nanoszűrés a fehérjék mellett a tejcukrokat sem engedi át, és ezt a tulajdonságát a tejfeldolozó ipar hasznosította, főként laktózmentes tejtermékek előállítására (Fonyó és Fábry, 2004; Román et al., 2009).

Alkalmazási terület:

- tejsavó és tej laktózmentesítése, savó besűrítése és részben sótalanítása

2.7.4 Fordított ozmózis (RO)

Fordított ozmózis művelete során, adott egy nagyon vékony hártya, mely szelektív és csak az egyértékű ionokat, ezen kívül a vizet engedi át, a többi összetevőt visszatartja. A működésének alapja, hogy adott egy vékony hártya, melynek egyik oldalán egy koncentrált oldat van, a másikon egy híg. A híg oldal felől addig áramlik át a hártyán az oldószer, amíg a két oldal között nem alakul ki az ozmotikus nyomásegyensúly. Az RO művelete ezt használja ki, és nagy nyomást alkalmazva a koncentrált oldat oldalán, ennek hatására pedig az oldószer a híg oldal felé áramlik (Fonyó és Fábry, 2004).

Alkalmazási terület:

- elsősorban tengervizek sótalanítása, ivóvíz nitrátmentesítése, tejporok készítése előtti tejbessűrítés

2.7.5 Diaszűrés (DF)

A diaszűrés művelete során, a 3. táblázatban is látható, hogy az alapját az eljárásnak a szitahatás képezi, így a membrán pórusméreténél kisebbnek kell lennie a kiszűrendő komponenseknek. Olyan membrántechnika a diaszűrés, amelynek alkalmazása során kisméretű molekulákat és sókat távolíthatunk el a betáplálási elegyből, illetve választhatunk el nagyobb molekuláktól. Diaszűrőskor alkalmazandó egy ún. dializáló oldószer, mellyel hígítva a betáplált elegyet, az eltávolítandó komponensek folyamatosan kimosódnak, míg az értékesek egyre koncentráltabbá válnak (Fonyó és Fábry, 2004, Baldasso et al., 2011).

Alkalmazási terület:

- tejiparban fehérje-koncentrátumok készítése és sóatlanítása, nagy tisztaságú termékek, művese kezelés

2.8 A membránokra jellemző paraméterek

Transzmembrán nyomáskülönbség: a membrán betáplálási oldala és a permeátum oldala közötti nyomáskülönbséget értjük ez alatt. Mértékegysége: [bar]

$$\Delta p_{TM} = \frac{(p_{be} + p_{ki})}{2} - p_0 \quad (1)$$

Δp_{TM} : transzmembrán nyomáskülönbség [bar], p_{be} : membrán előtti nyomás [bar], p_{ki} : membrán utáni nyomás [bar], p_0 : légköri nyomás [bar]

Fluxus: egységnyi idő alatt, egységnyi membránfelületen áthaladó permeátum mennyisége. Mértékegysége: [L/(m²·h)]

$$J = \frac{V}{(A \cdot t)} \quad (2)$$

J : fluxus [L/(m²·h)], V : t idő alatt a membránon átáramlott térfogat [L], t : az az idő, mely alatt V térfogat átáramlott a membránon [h], A : membrán felülete [m²]

Visszatartás: jellemezhető vele az elválasztás teljesítménye és szelektivitása. Mértékegysége: [%]

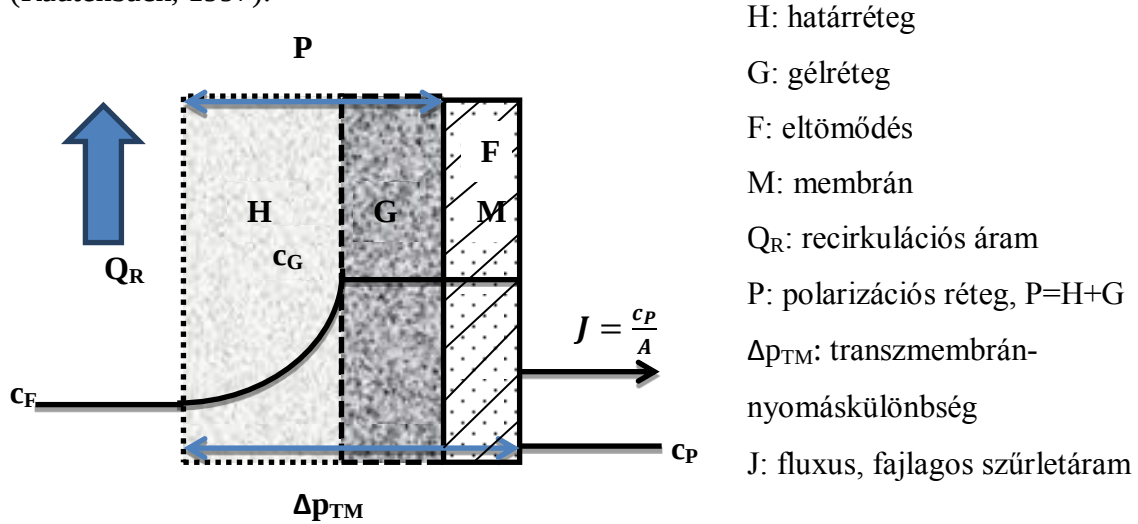
$$R_i = \left(\frac{c_{Ri} - c_{Pi}}{c_{Ri}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

R_i : az i -dik komponens visszatartása [%], c_{Ri} : i komponens koncentrációja a retentátumban [g/L], c_{Pi} : i komponens koncentrációja a permeátumban [g/L] (Bélafiné, 2002).

Vágási érték: alkalmas a membránok jellemzésére, és azt a molekulatömeget jelenti, amelyet 90%-ban visszatart a membrán.

2.9 Ellenállás-modell

A 3. ábrán látható modell szemlélteti, hogy a membrán által visszatartott komponensek feldúsulnak a membrán felületén, így kialakítják a gélréteget, mely egy második szűrőréteggént viselkedik. A gélréteg és a határréteg együtt alkotják a polarizációs réteget (Rautenbach, 1997).



3. ábra Ellenállás modell

Az Ohm-törvényt alkalmazva a 3. ábrának megfelelően, a permeátum fajlagos szűrletárama (fluxus) az alábbi összefüggéssel írható fel:

$$J_{savó} = \frac{\Delta p_{TM}}{\eta_{savó} \cdot (R_G + R_F + R_M)} \quad (4)$$

ahol $J_{savó}$ tejsavó fluxus ($m^3/(m^2s)$), Δp_{TM} transzmembrán nyomáskülönbség (Pa), $\eta_{savó}$ a tejsavó dinamikai viszkozitása (Pa·s), R_G a gélréteg ellenállása (1/m), R_F a membrán pórusainak eltömődéséből adódó ellenállás (1/m), R_M a membrán ellenállása (1/m).

A membránszűrés előtt tiszta víz fluxus mértem mindhárom membránon. A szűrés során nem keletkezett gélréteg, így a méréssel meghatározott fluxus (J_{vz}) és nyomáskülönbség értékekből az 5. egyenlet alapján számítható a membrán ellenállása, amely független a szűrési paraméterektől.

$$R_M = \frac{\Delta p_{TM}}{\eta_{vz} \cdot J_{vz}} \quad (5)$$

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

R_F értékét úgy határozom meg, hogy a szűrés után a membránt ionmentes vízzel kiöblítem és a még meg nem tisztított membránon eltömődött víz fluxust ($J_{evíz}$) mérek ionmentes vízzel. Az így mért fluxus értékből és az R_M értékéből R_F értéke a következőképpen határozható meg:

$$R_F = \frac{\Delta p_{TM}}{\eta_{v\acute{e}z} \cdot J_{ev\acute{e}z}} - R_M \quad (6)$$

Ha a szűrendő oldatban az alkalmazott membrán által visszatartott molekulák is jelen vannak, akkor kialakul a gélréteg (R_G). Korábban kiszámolt R_M és R_F értékéből számítható R_G :

$$R_G = \frac{\Delta p_{TM}}{\eta_{savó} \cdot J_{savó}} - R_M - R_F \quad (7)$$

Az ellenállásmodell az összes membránszűrési eljárásra alkalmazható, fordított ozmózis esetében kiegészítve az ozmotikus nyomással (Bélafiné, 2002).

3. CÉLKITŰZÉSEK

Munkám során mikroszűrést (MF) alkalmaztam tejsavó tükrösítésére. Céлом, hogy a kapillárcsöves, csöves és statikuskeverővel ellátott csöves membránon a műveleti paraméterek hatását és az értékes komponensek (fehérje, laktóz) visszatartását vizsgáljam.

A mikroszűrés alkalmazásával a tejsavóban található lebegő anyagok illetve a további feldolgozást nehezítő zsírgolyócskák eltávolítása a cél, úgy, hogy közben a nagy szűrletfluxust és kicsi értékes komponens (fehérje, laktóz) visszatartást érjek el.

Statikus keverőelem alkalmazásával a szűrletfluxus növelését, a tükrösítés során közel állandó értéken való tartását és minél kisebb gélréteg kialakítását próbálom megvalósítani. A gélréteg kialakulása hatással van az eltömődésre és így ez az ipari alkalmazást megnehezíti.

Vizsgálom az eltömődés mértékét, meghatározom a membránok ellenállásértékeit és a polarizációs réteg ellenállását. A membránok minél hatékonyabb és gyorsabb tisztítási eljárásait is kikísérletezem tejsavó esetén.

További célok

További céljaim a mikroszűréssel előállított permeátum további feldolgozása nanoszűréssel és diaszűréssel úgy, hogy közben az ásványi anyag tartalmat csökkentsem, egyrészt a kellemetlen mellékíz, másrészt a túlzott sóbevitel miatt, és egy tejsavó koncentrátumot tudjak előállítani, amely alkalmas porított termék előállítására.

4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Kísérletemet a Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszékén végeztem.

4.1 Méréshez felhasznált anyagok

Az alapanyagul szolgáló édes tejsavót a budapesti Soma-sajt biztosította. A membránok tisztításához, Ultraszilt, citromsavat és ionmentes vizet használtam.

4.2 Az alkalmazott membránok jellemzői

A mérésekhez mikroszűrő membránokat használtam, melynek jellemzőit a 3. táblázat tartalmazza. Az egyik berendezésben kapillárcsöves membránon, a másikban csőmembránon és statikus keverővel ellátott csőmembránon végeztem el a méréseket.

Mindhárom membrán pórusmérete 0,2 μm -es volt, amit azért választottam, mert több vizsgálat is igazolta, hogy tejsavóval végzett kísérletekhez ez a pórusméret a legmegfelelőbb. Ennél a pórusméretnél alacsony a fehérje visszatartás, illetve a membrán eltömődése nem olyan nagymértékű (Gáspár et al., 2008; www.pall.com).

3. táblázat Laboratóriumi membránok jellemző tulajdonságai

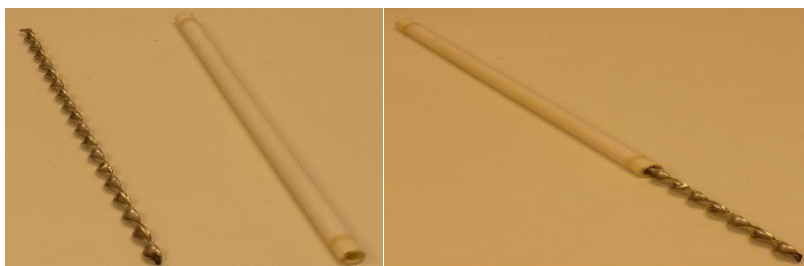
Paraméterek	Kapillárcsöves membrán	Csőmembrán
Típus	M20-011-0.04	T1-70-20-Z
Gyártó	Hyflux TM	Membralox
Anyag	$\alpha\text{-AlO}_3$	ZrO ₂
Pórusméret	0,2 μm	0,2 μm
Szűrőfelület	0,04 m ²	0,005 m ²

A két berendezés működési elve azonos, különbségek a berendezés méretében, a csővecskék számában, a csőhosszban a belső átmérőben és a szűrőfelület méretében vannak.

A kapillárcsöves membrán (4. ábra) hossza 106 mm, 40db csővecskét tartalmaz, belső átmérője 3 mm, a csőmembrán (5. ábra) hossza 250 mm, 1 db csővecskét tartalmaz és belső átmérője pedig 7 mm.



4. ábra Kapillárcsöves membrán

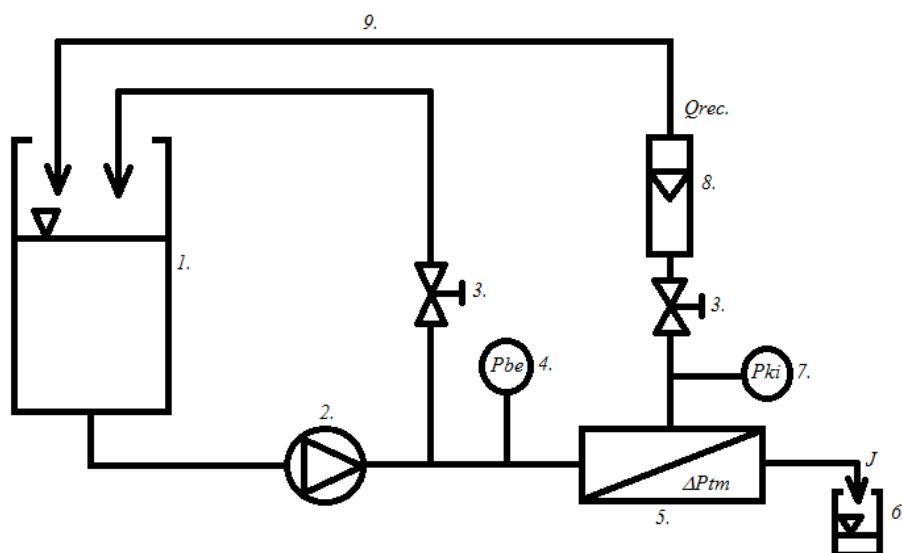


5. ábra Csőmembrán és a Helix típusú statikus keverőelem

A csőmembránban alkalmazott statikus keverő (5. ábra) egy Helix típusú fémkeverő, amelynek hossza 250 mm, menetemelkedése 0,006 m és a keverő belső sugara 0,0035 m. A statikus keverővel való mérést azért végeztem el, hogy összehasonlíthassam a statikus keverő nélküli mérésekkel és magasabb fluxus értékeket és kisebb értékes anyag visszatartást érjek el, mivel a keletkező permeátumot szeretném tovább hasznosítani. Elméletben a statikus keverő alkalmazásával kiküszöbölhető a polarizációs réteg kialakulása, mivel a vizsgálandó folyadék áramlása más irányú, örvénylő a statikus keverővel ellátott membránban, mert a folyadék a keverő meneteiben áramolva érintkezik a membránnal. A keverő nélküli csőmembrán esetén viszont számolnunk kell a polarizációs réteg kialakulásával, melynek kialakulása látható a 3. ábrán az ellenállás-modellen.

4.3 Laboratóriumi kísérletekhez alkalmazott berendezés

A kísérleteimet laboratóriumi membránszűrő berendezésen végeztem, melynek folyamatábráját az 6. ábra mutatja be és fényképe a 7. ábrán látható.



1. tartály, 2. szivattyú, 3. nyomásszabályozó szelep, 4. nyomásmérő a modul előtt, 5. membránszűrő modul, 6. permeátum elvétel, 7. nyomásmérő a modul után, 8. rotaméter, 9. retentátum

6. ábra Laboratóriumi membránszűrő berendezés folyamatábrája

A berendezés tartályába (1.) töltöm a szűrni kívánt folyadékot, melyet a szivattyú (2.) juttat el a membránszűrő modulba (5.), ahol a kapillárcsöves- vagy a csőmembrán van elhelyezve, amely elvégzi a folyadékelegy komponenseinek szétválasztását. A szétválasztás hajtóereje a modul előtti és a modul utáni (4. és 7.) nyomásmérők értékeinek átlaga (transzmembrán nyomáskülönbség), melyet a nyomásszabályozó szeleppel lehet beállítani (3.). A művelet során a retentátumot visszavezetjük a tartályba (9.), a permeátumot fluxusméréskor visszavezetjük a tartályba, besűrítéskor elvezetjük a rendszerből (6.). A térfogatáramot a rotaméterről (8.) olvashatjuk le és állíthatjuk be rajta a kívánt értéket a nyomásmérők szabályozásával.



7. ábra Kapillárcsővel és csőmembránnal rendelkező berendezések

4.4 Víz fluxus mérése

A savó vizsgálata előtt mindegyik mérés során, mindkét berendezésen tiszta, ionmentes desztillált víz fluxusát mértem, hogy meggyőződjek a membrán tisztaságáról és meghatározzam a membrán ellenállását (R_M). A fluxusmérést úgy végeztem el, hogy stopper használatával mértem az adott térfogat elvételéhez szükséges időt. Ismerve a membrán szűrőfelületét és a mért értékeket a fluxusértékek számolhatók a 2. egyenlet alapján. A transzmembrán nyomáskülönbséget 0,5-3 bar között változtattam. Majd a tejsavóval végzett kísérleteket követő tisztítás után is mértem a vízfluxust, hogy eredményes volt-e a tisztítás.

4.5 Tejsavó fluxus mérése

A savó fluxus mérése során különböző recirkulációs értékeket választottam, amelynek értékelése révén megkaptam, hogy melyik recirkulációs térfogatáramon és transzmembrán nyomáskülönbségen a legideálisabb a tükrösítést elvégezni.

A tejsavó vizsgálata során, a kapillárcsőves membránon a választott recirkulációs térfogatáram 500 L/h, 1000 L/h és 1300 L/h volt.

A csőmembránon és a statikus keverővel ellátott csőmembránon 50 L/h, 100 L/h és 150 L/h recirkulációs térfogatáramon végeztem el a fluxusméréseket.

A savó és a víz esetében is ugyanaz a módszer a fluxusok meghatározásánál. Első lépésben feltöltöm a tartályt a vizsgálandó anyaggal, majd a berendezés elindítása után beállítom a szelepekkel a kívánt recirkulációs térfogatáramot, és a transzmembrán nyomáskülönbséget, lépegetve 0,5 és 3 bar között. Egy mérőhenger és egy stopper segítségével lemérem, hogy egy általam meghatározott térfogat mennyi idő alatt vehető el a permeátum oldalról, adott transzmembrán nyomáskülönbségen és az ahhoz tartozó recirkulációs térfogatáramon. A fluxusméréseket és a mosásokat, mindkét berendezésen hasonlóan végeztem el.

Minden esetben mintákat vettem adott időközönként a fluxusmérés folyamán, mind a retentátumból, mind pedig a permeátumból.

A kapott eredményeket ábrázoltam diagramban, a fluxusértékeket a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében. Így a víz esetén egy meredek egyenest kell kapnunk, mely szerint, ahogyan növeljük a nyomáskülönbséget, úgy nő a víz fluxusa is. A savó esetében viszont a fluxusérték egy bizonyos nyomáskülönbséig növekszik, aztán a nyomáskülönbség növelésével nem vagy csak kis mértékben változik. Erre a lépésre energia megtakarítás szempontjából van szükség. Itt tudjuk meghatározni a működéshez szükséges műveleti paramétereket, hogy a lehető legkevesebb energia-befektetéssel a legnagyobb fluxusértéket tudjuk elérni.

4.6 Eltömődött víz fluxus

A tejsavó fluxusmérése után mértem eltömődött vízfluxust. A lépései ugyanazok, mint a víz vagy a savó esetén. A tejsavóval végzett kísérlet után a berendezésből a savót kiöblítettem és desztillált vizet öntöttem a rendszerbe és mértem a transzmembrán nyomáskülönbség növelésével a fluxus változását. Erre a mérésre azért került sor, mert a

tiszta víz fluxusának ismeretében, meghatározható az eltömődésből származó ellenállás (R_F) és a gélréteg ellenállás (R_G). A polarizációs réteget a 3. ábra szemlélteti, amely, ha kialakul, akkor nagyban csökkenti a membrán áteresztőképességét.

4.7 Membrán tisztítása

Az eltömődött vízfluxus mérése után megtisztítottam a membránt. Először tiszta vízzel átöblítettem, majd a csőmembránnál készítettem egy 1%-os ultrasil oldatot. Mivel 2 liter oldattal mostam ki a berendezést, ezért az 1%-os oldathoz 20g szilárd ultrasilt oldottam fel, és hígítottam 2 literre. Ezután feltöltöttem vele a berendezést és 1 bar transzmembrán nyomáskülönbségen 1 órán át tisztítottam. Majd többszöri vizes öblítés után 1%-os citromsav oldatot készítettem, szintén 2 litert, feltöltöttem vele a berendezést és 1 óra hosszáig mostam a membránt 1 bar nyomáskülönbségen.

A kapillárcsöves membránnál ugyanezeket a lépéseket végeztem el, de ott 10 liter 1%-os ultrasil oldatot készítettem 100g szilárd anyag bemérésével, és ebben az esetben 3 óráig végeztem a tisztítást. Itt is 1 bar nyomáskülönbségen történt a mosás.

Mindkét berendezésnél a tisztítást követően ismét tiszta vízzel öblítettem át többször a membránt, majd feltöltöttem desztillált vízzel és megmértem a fluxusát. Ha azt értékek egyeztek vagy esetleg jobbak voltak a kiindulási értékektől, akkor hatékony volt a tisztítás és következhetett a savó vizsgálata, ha nem, akkor ismételt ultrasiles mosást végeztem.

4.8 Tükrösítés

A besűrítési kísérleteimet is tiszta víz fluxusmérésével indítottam. Mindkét berendezésnél ugyanazzal a módszerrel végeztem el a besűrítéseket.

A kapillárcsöves berendezésnél 1000 L/h recirkulációs térfogatáramon és 2 bar transzmembrán nyomáskülönbségen végeztem a besűrítést, friss 15 liter tejsavóból. Ebben az esetben 200 ml-ként vettem el a permeátumot és stopperrel mértem az ehhez tartozó időket. A kísérletnél vettem mintákat a retentátumból és permeátumból és mértem a hőmérsékletet adott időközönként, ami itt is állandó 30°C volt. Itt szükség volt hűtést alkalmazni. A hűtést egy kis hőcserélő segítségével oldottam meg, a hűtőközegnek a hálózati vizet használtam.

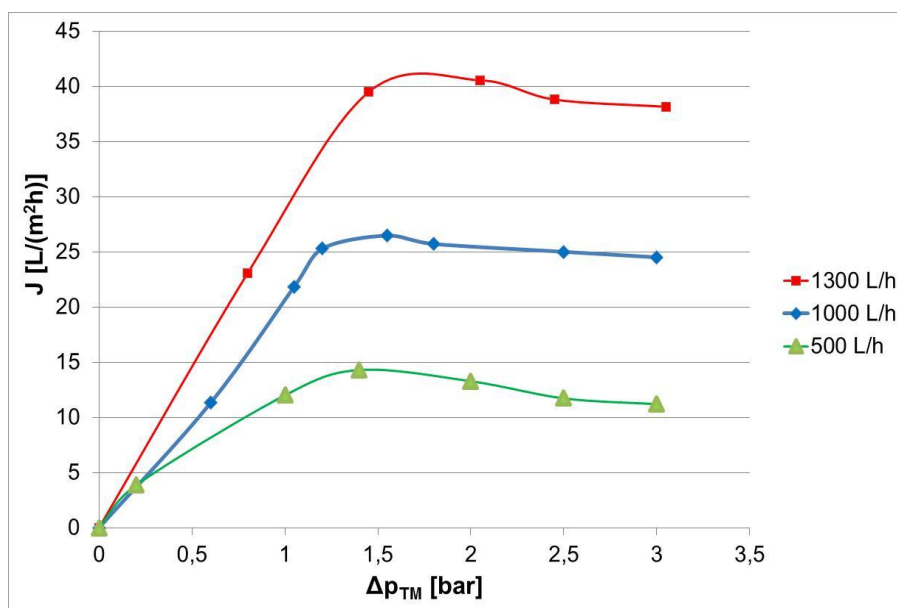
A csőmembrán és a statikus keverővel ellátott csőmembrán esetén 2 liter savóból indultam ki, majd állandó 2 bar transzmembrán nyomáskülönbségen és állandó 100 L/h recirkulációs értéken, 50 ml-ként elvettem a permeátumot és közben mértem az időt, ami alatt

50 ml lecsepeg. Bizonyos időközönként mintát vettem a sűrítményből és a szűrletből is. Fontos időközönként a hőmérséklet mérése is, mert zavarhatja a mérést a minta nagy hőmérsékletemelkedése. A hőmérséklet a mérés során állandó értéket mutatott 30°C volt. A minták szárazanyag-tartalmát kézi refraktométerrel vizsgáltam, amiből meghatározhatjuk a tükrösítés hatékonyságát.

5. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

5.1. Kapillárcsöves membránon végzett kísérletek

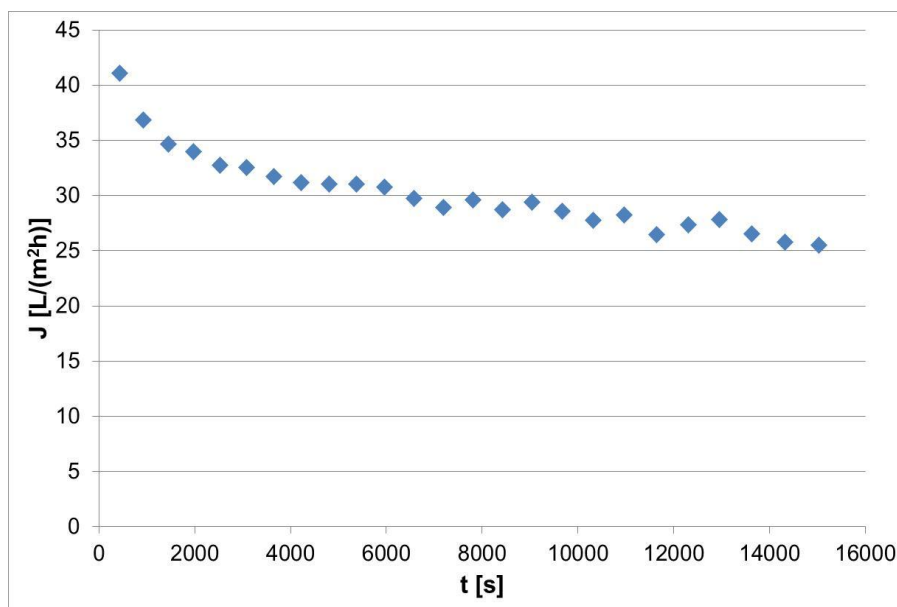
A 8. ábrán a kapillárcsöves membránon mért fluxusokat (J) ábrázoltam a transzmembrán nyomáskülönbség (Δp_{TM}) függvényében. Látható, hogy 500 L/h, 1000 L/h és 1300 L/h között változtattam a recirkulációs térfogatáramot. Minél nagyobb recirkulációs térfogatáramon végeztem a mérést a kapillárcsöves membránon, annál magasabb fluxus értékeket kaptam, és kb. 1,5 bar és 2 bar transzmembrán nyomáskülönbség alkalmazásakor a fluxus közel állandó értékre állt be. A magyarázata a fluxus növekedésének magasabb térfogatáram esetén az, hogy hosszabb idő szükséges a gélréteg kialakulásához a membrán felületén. Ezáltal kevésbé lesz gátolt a permeátum áramlása, így rövidebb idő alatt történik az átáramlás 1300 L/h-n, mint például 500 L/h recirkuláción. 1300 L/h-n a maximális fluxus érték 40 L/(m²h), 1000 L/h-n 25 L/(m²h) és 500 L/h-n 14 L/(m²h) értékre állt be.



8. ábra Kapillárcsöves membránon mért fluxusértékek

A fluxusmérés alapján elmondható, hogy elég 2 bar körüli transzmembrán nyomáskülönbséget alkalmazni, mivel a fluxus érték a nyomás növelésével nem növekszik.

A kapillárcsöves membránon végzett tükrösítést szemlélteti a 9. ábra, amelyen a tejsavó fluxus értékeinek időbeli változását ábrázoltam.

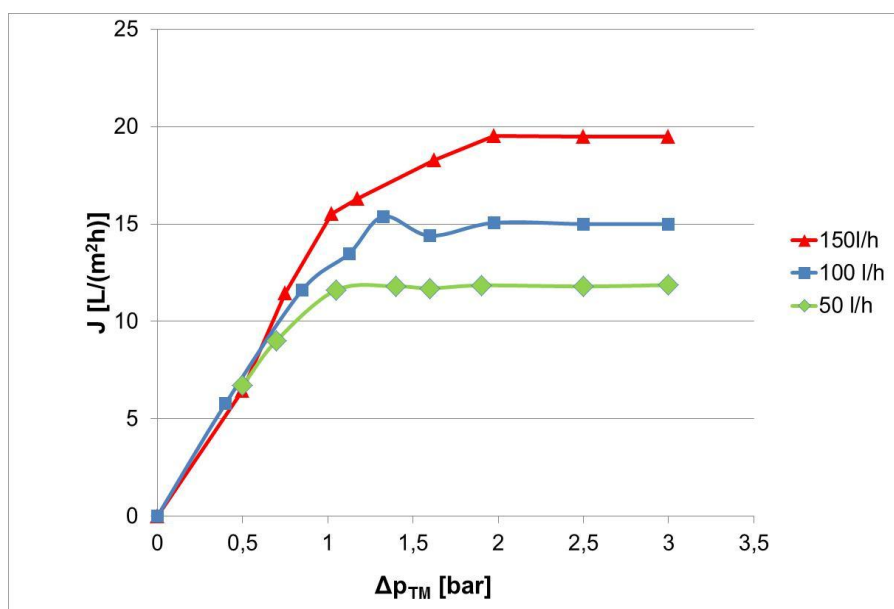


9. ábra Kapillárcsöves membránon végzett tükrösítési kísérlet ($Q_R=1000\text{L/h}$, $\Delta p_{TM}=2\text{ bar}$)

A fluxus mérés alapján a kísérletet állandó 2 bar transzmembrán nyomáskülönbségen végeztem el és állandó 1000 L/h recirkulációs térfogatáramon. 200 ml-ként vettem el a permeátumot, miközben mértem az ehhez szükséges időt. A 9. ábrán látszik, hogy a fluxusértékek csökkenést mutatnak az idő előrehaladtával, a fluxus 42 L/(m²h)-ról 25 L/(m²h)-ra csökkent. A görbe lefutásából látszik, hogy a mérés elején a fluxus csökkenése nagyobb mértékű, aztán a csökkenés lelassul, ami a membrán eltömődésének köszönhető. A fluxus mérésnél és a tükrösítési kísérletnél is folyamatosan mintát vettem a permeátum és retentátum oldalról is.

5.2. Csőmembránon és statikus keverővel ellátott csőmembránnal végzett kísérletek

A következő lépésben a csőmembránnal mért kísérleti eredményeimet mutatnám be. A csőmembrán fluxusait (J) ábrázoltam a transzmembrán nyomáskülönbség (Δp_{TM}) függvényében a 10. ábrán. A kísérleteket három különböző recirkulációs térfogatáram mellett végeztem el (50 L/h, 100 L/h és 150 L/h), úgy hogy mindhárom esetben a transzmembrán nyomáskülönbséget 0,5 és 3 bar között változtattam. A permeátumot minden esetben visszatöltöttem a tartályba, így a kiindulási elegy minden nyomásértéken ugyanaz volt. A fluxus mérés során mind a retentátumból mind a permeátumból mintát vettünk.

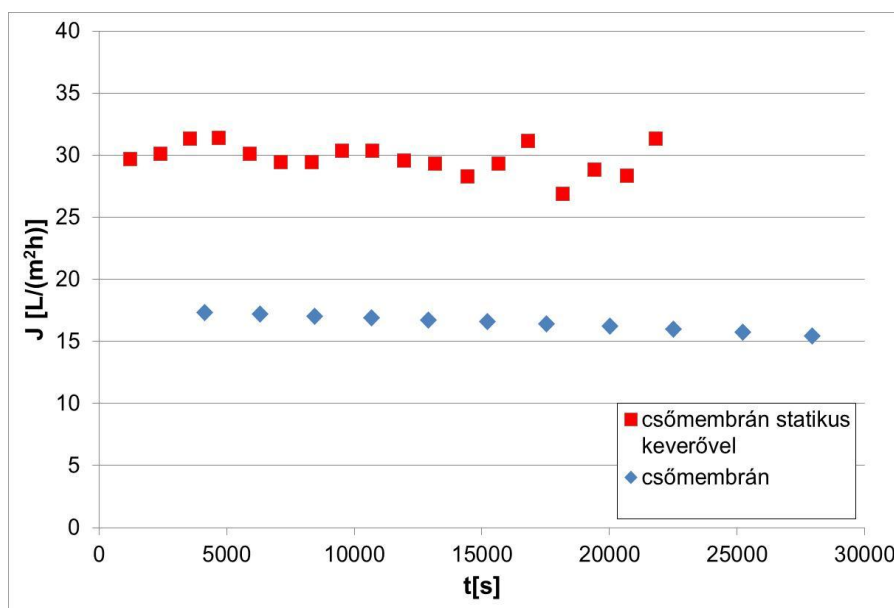


10. ábra Csőmembránon mért fluxus értékek

. Hasonló következtetésre jutottam, mint a kapillárcsöves membrán esetén, mert ez esetben is bebizonyosodott, hogy minél magasabb recirkulációs térfogatáramot választottam, annál magasabb fluxusokat kaptam. Itt is látható, hogy a fluxus érték mindhárom esetben egy állandó értékre áll be 50 L/h esetén 12 L/(m²h), 100 L/h esetén 15 L/(m²h) és 150 L/h esetén 19 L/(m²h). Az oka, ebben az esetben is a kialakuló polarizációs réteg, mely egy másodlagos szűrőréteggént viselkedik, mely magasabb recirkulációs térfogatáram mellett lassabban alakul ki.

A csőmembránon végzett fluxus mérésnél is megfigyelhető, hogy 2 bar transzmembrán nyomásérték fölött nem érdemes üzemeltetni a berendezést, mert fluxus növekedést nem eredményez csak több energia befektetést.

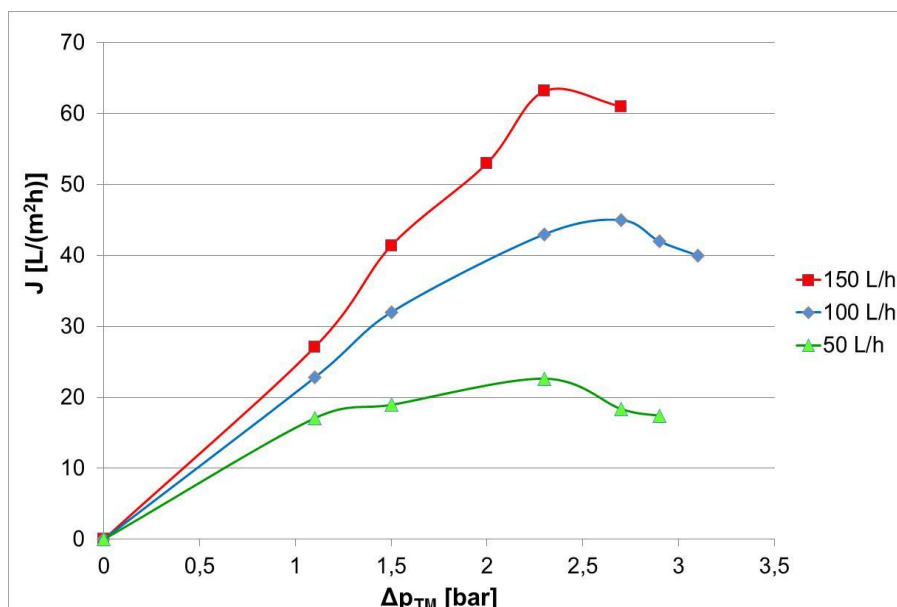
A tükrösítési kísérletekhez a csőmembránon végzett fluxus mérések alapján a 2 bar és 100 L/h recirkulációs térfogatáramot választottam mind a csőmembránnal történő tükrösítéshez mind a statikus keverővel ellátott csőmembránnal történő tükrösítéshez.



11. ábra Csőmembránnal és statikus keverővel ellátott csőmembránon végzett tükrösítési kísérlet ($Q_R=100\text{L/h}$, $\Delta p_{TM}=2\text{ bar}$)

A 11. ábrán a csőmembrán és statikus keverővel ellátott csőmembrán fluxusait ábrázoltam az idő függvényében. Az összehasonlítás alapján bebizonyosodott a feltételezés, hogy ha statikus keverőt alkalmazunk a rendszerben, sokkal magasabb fluxus értékeket kapunk. A csőmembrán esetén $15\text{ L}/(\text{m}^2\text{h})$ körüli értékeket tapasztaltam, míg a statikus keverő alkalmazása esetén ez az érték közel kétszerese lett $30\text{ L}/(\text{m}^2\text{h})$. Ennek az az oka, hogy a statikus keverő alkalmazása késlelteti a polarizációs réteg kialakulását, és a meneteiben örvényszerűen áramlik a folyadék, így nem rakódik le olyan mértékű szűrőlepeny a membrán felületére, mint a csőmembrán esetén. Hasonlóan magas értékeket értem el, mint a kapillárcsöves membrán esetén.

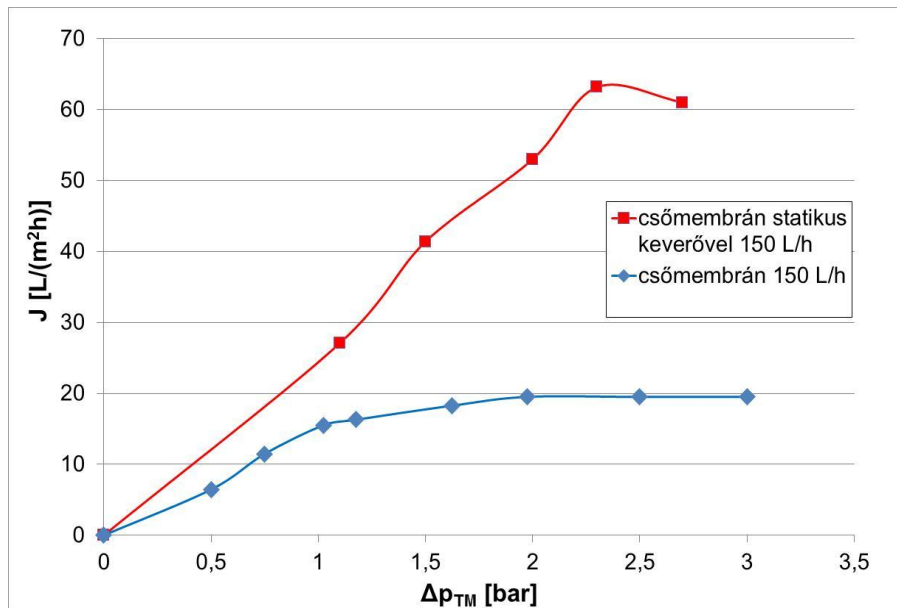
A statikus keverővel ellátott csőmembrán fluxus értékeit ábrázoltam a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében a 12. ábrán.



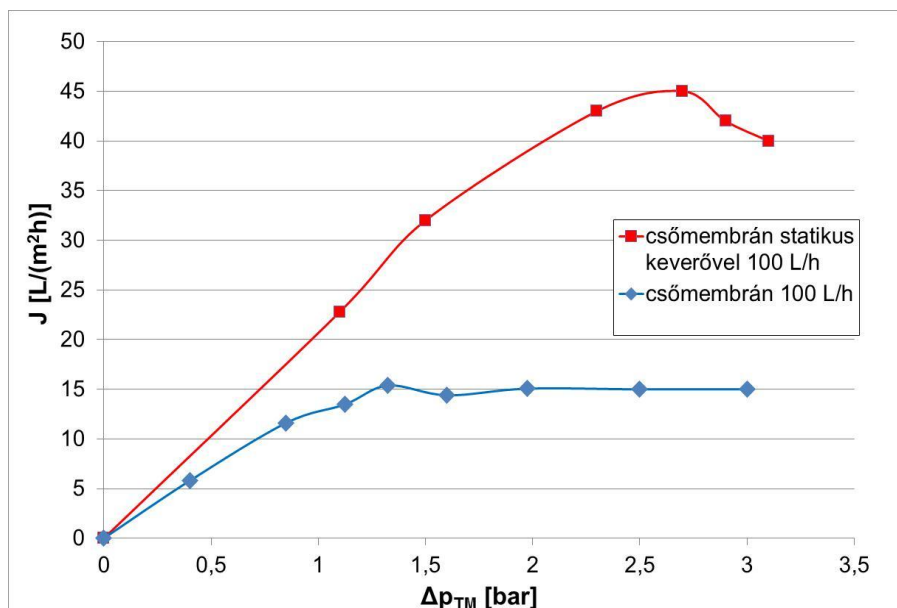
12. ábra Statikus keverővel ellátott csőmembránon mért fluxusértékek

Ismét azt tapasztaltam, mint a cső- és a kapillárcsöves membrán során, ha emeltem a recirkulációs térfogatáramot sokkal magasabb fluxusokat kaptam, ami 12. ábrán látható. A fluxusok 2,5 bar nyomáskülönbségig folyamatosan emelkedtek, azután viszont elkezdtek csökkenni. Ennek magyarázata az, hogy 2,5 bar-nál magasabb nyomáskülönbség hatására a nagy molekulák a membrán pórusaiba kerülnek, további gátat szabnak a szűrésnek, a kialakuló polarizációs rétegen kívül. Ezáltal visszaesnek a fluxusok, mivel folyamatosan csökken a permeátum mennyisége az eltömődés miatt. A statikus keverő alkalmazása esetén még jobban indokolt a 2 bar-on vagy az alatt történő üzemeltetés a magasabb fluxus érték elérése illetve a membrán normális működése érdekében.

A 13. és 14. ábrán szemléltettem csőmembránon és statikus keverővel ellátott csőmembránon, a tejsavó fluxus értékeinek változását a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében. A 13. ábrán 150 L/h-s recirkulációs értéken, a 14. ábrán 100 L/h-s térfogatáramon végeztem el az összehasonlítást a két módszer között.



13. ábra Csőmembránon és statikus keverővel ellátott csőmembránon mért fluxusértékek összehasonlítása 150 L/h recirkulációs térfogatáramon

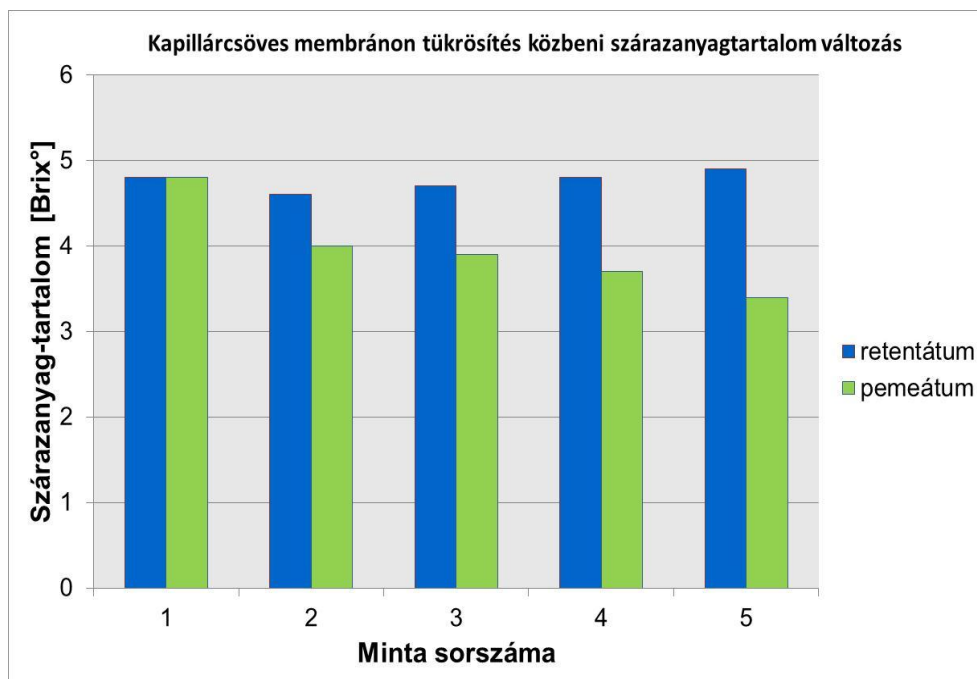


14. ábra Csőmembránon és statikus keverővel ellátott csőmembránon mért fluxusértékek összehasonlítása 100 L/h recirkulációs térfogatáramon

A 13. ábrán és a 14. ábrán is látható, hogy a fluxus értékek statikus keverő mellett kétszeresére növekedtek a csőmembránhoz képest.

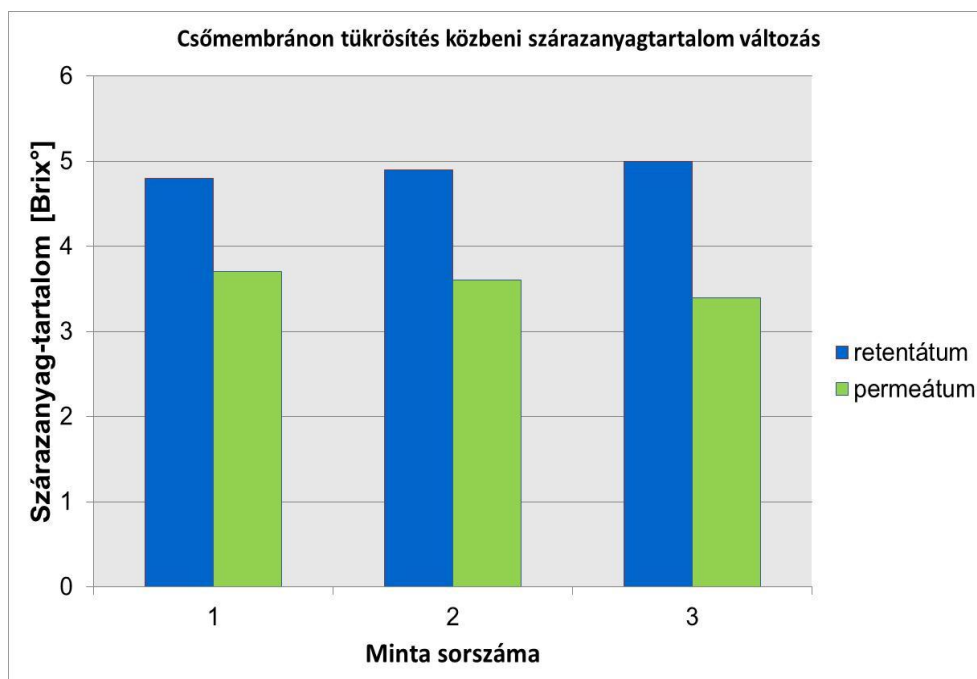
5.3.A szárazanyag-tartalom változása a kísérletek során

A kísérletek során folyamatosan mértem a szárazanyag-tartalom változását.



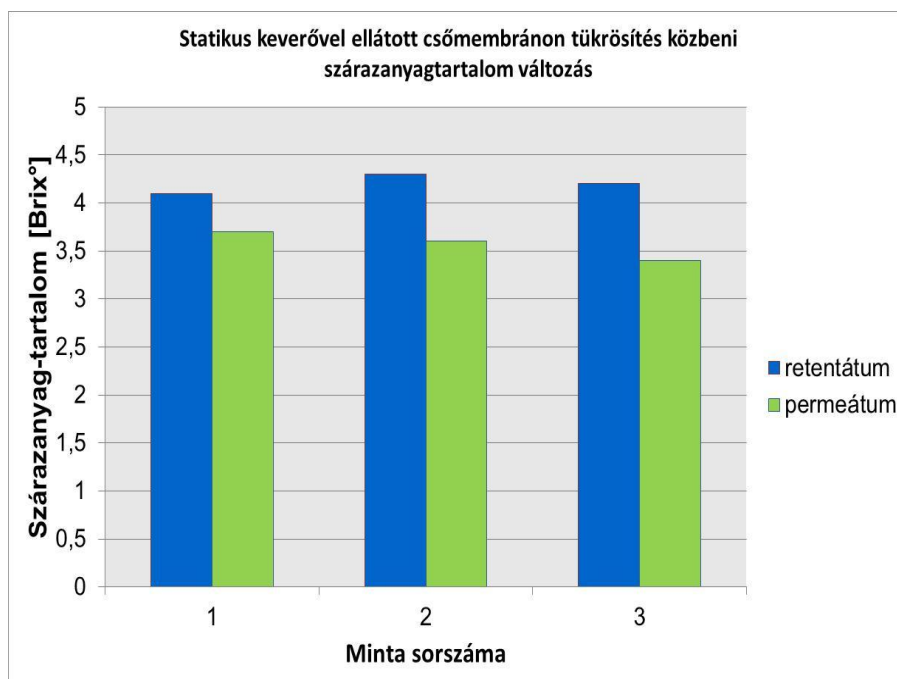
15. ábra Kapillárcsöves membránon a szárazanyag-tartalom változása

A 15. ábrán azt mutatom be, hogy hogyan változik a tejsavó szárazanyag-tartalma a kapillárcsöves membránon elvégzett tükrösítés folyamán az idő előrehaladtával. A tükrösítési kísérlet állandó 2 bar transzmembrán nyomáskülönbség és 1000 L/h állandó recirkulációs térfogatáram mellett történt. Jól látható, hogy a mérés elején a szárazanyag-tartalom nem változott, az 1. mintavétel esetén mind a permeátum és retentátum oldalon a szárazanyag-tartalom értéke ugyanannyi 4,9 °Brix volt. Az idő előrehaladtával a permeátumból vett minták értékei fokozatosan csökkentek (4,9°Brix-ről 3,5 °Brix-re), a retentátumból vett minták szárazanyag-tartalom értékei közel állandóak voltak. A permeátum oldali csökkenés azzal magyarázható, hogy membrán felületén hamar kialakult egy másodlagos szűrőréteg, aminek köszönhetően a membrán visszatartása megnőtt, így a permeátum oldalra kevesebb szárazanyag-tartalom jutott át.



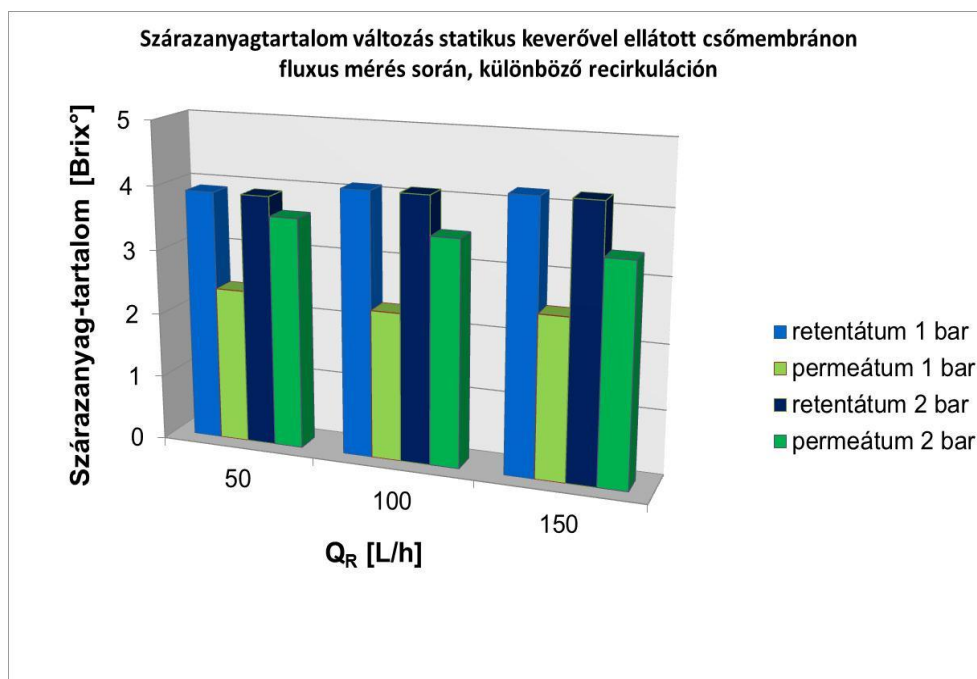
16. ábra Csőmembránon végzett tükrösítési kísérlet során mért szárazanyag-tartalom változása

A kerámia csőmembránnal végzett tükrösítési kísérlet során is mintákat vettem mind a permeátumból, mind a retentátumból. A tükrösítési kísérlet a kapillárcsöves membránhoz hasonlóan állandó 2 bar transzmembrán nyomáskülönbség és 100 L/h állandó recirkulációs térfogatáram mellett történt. A 16. ábra mutatja be a mérés során vett minták szárazanyag-tartalmát. Csőmembrán alkalmazásánál már az első mintavétel esetén látható volt a szárazanyag-tartalomban a különbség a permeátum és a retentátum oldalon és a kapillárcsöves membránhoz hasonló tendencia mutatkozott. A tükrösítési kísérlet során az első mintavétel esetén a szárazanyag-tartalom a retentátum oldalon 4,8 °Brix volt, a permeátumban 3,8°Brix-re csökkent. A tükrösítési kísérlet végére a permeátum oldalon a szárazanyag-tartalom 3,5 °Brix lett. Az eredmények alapján elmondható, hogy a csőmembrán alkalmazása esetén a másodlagos szűrőlepleny sokkal hamarabb kialakult, mint a kapillárcsöves modul esetén, így a műveleti paraméterem mellett a szárazanyag-tartalom nagymértékű változása is indokolja a statikus keverő használatát.



17. ábra Statikus keverővel ellátott csőmembránon mért szárazanyag-tartalom értékek alakulása a tükrösítési kísérlet során

A 17. ábrán a statikus keverővel ellátott csőmembránon végrehajtott tükrösítés közben vett minták szárazanyag-tartalmának értékeit mutatom be, a minta sorszám függvényében. Ebben az esetben is a 15. és 16. ábrán bemutatott szárazanyag-tartalom változáshoz hasonlóan az idő előrehaladtával a szárazanyag-tartalom értékek csökkenő tendenciát mutattak. A csökkenés mértéke viszont nem volt olyan nagy, mint a kapillárcsöves és cső membrán esetén. A csökkenés kisebb mértéke abból fakadhat, hogy a statikus keverővel ellátott modulban a másodlagos szűrőréteg a keverőelem jelenlétében nem tudott olyan gyorsan kialakulni ezzel a visszatartás is nagyobb mértékben csökkent, ami számomra kedvező, mivel a tükrösítés során a lebegő anyagokat és a zsírokat szeretném kiszűrni, úgy, hogy a fehérje és laktóz a legnagyobb mértékben a permeátumba átkerüljön.

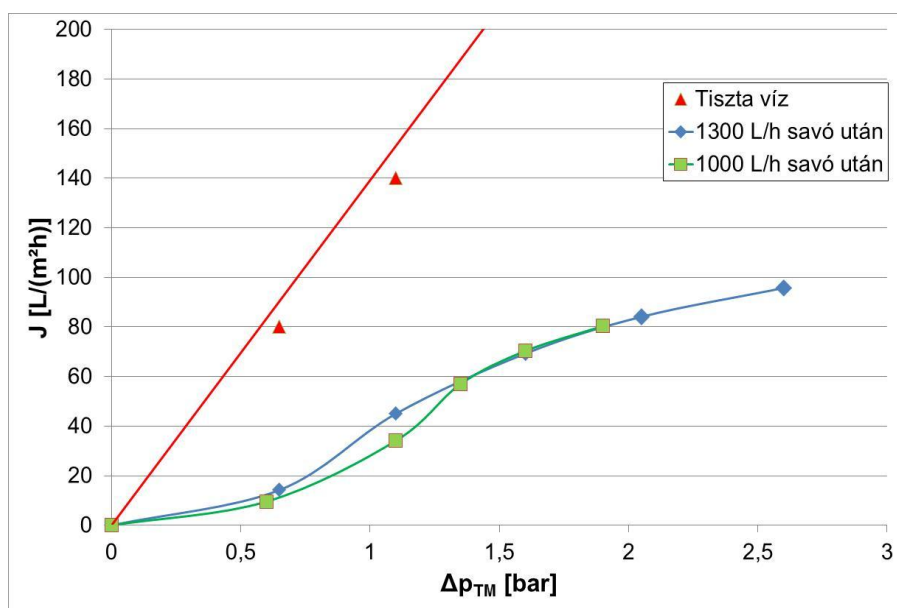


18. ábra Statikus keverővel ellátott csőmembránon mért szárazanyag-tartalom alakulása a fluxus mérések során különböző recirkulációs térfogatáramon (50 L/h, 100 L/h, 150 L/h) és különböző transzmembrán nyomáskülönbségek mellett (1 bar, 2 bar)

A 18. ábrán a statikus keverővel ellátott csőmembránon, különböző recirkulációs értékeken végzett fluxus mérések során vett mintákat ábrázoltam. Mindhárom (50 L/h, 100 L/h és 150 L/h) recirkulációs térfogatáramon 1 bar és 2 bar transzmembrán nyomáskülönbségen is vettem mintát a permeátumból és a retentátumból is. A 18. ábrán jól látható, hogy az alacsony transzmembrán nyomáskülönbség alkalmazásakor (1 bar) a permeátum szárazanyag-tartalma nagymértékben csökken, ezzel szemben magasabb transzmembrán nyomáskülönbség (2 bar) alkalmazása esetén a permeátum oldalon a szárazanyag-tartalom sokkal kisebb mértékben csökken, így a magasabb transzmembrán nyomáskülönbség alkalmazása javasolt. A recirkulációs térfogatáramnak is van hatása a szárazanyag-tartalom visszatartására, főleg 2 bar transzmembrán nyomáskülönbség alkalmazása esetén megfigyelhető, hogy a recirkulációs térfogatáram csökkenésével a visszatartás is csökkent, vagyis több értékes komponens kerül át a permeátumba, így javasolt az alacsonyabb recirkulációs térfogatáram használata.

5.4. Az ellenállás modell alkalmazása a membrán ellenállás (R_M) az eltömődésből adódó ellenállás (R_F) és a gélréteg ellenállás (R_G) meghatározásához

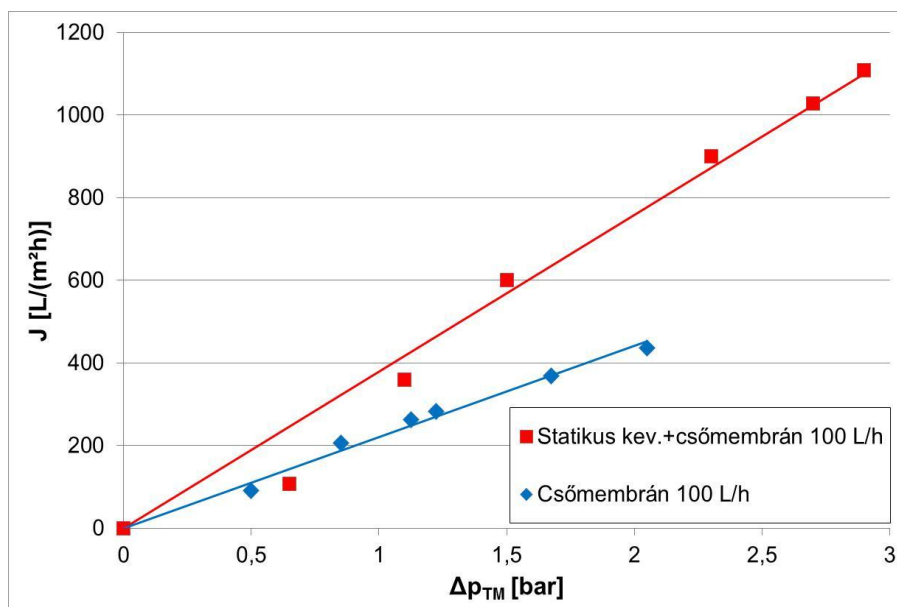
Az ellenállás modellben szereplő paraméterek meghatározásához szükség volt minden esetben a tiszta víz fluxusát, majd a tejsavóval végzett kísérletek után az eltömődött víz fluxus értékét is megmérni.



19. ábra Kapillárcsöves membránon mért tiszta víz és eltömődött víz fluxusa különböző recirkulációs térfogatáramon

A kapillárcsöves membránon mért tiszta víz fluxus értékeit hasonlítottam össze az eltömődött víz fluxusaival a 19. ábrán. A tiszta víz fluxusa magas értéket mutat 3 bar transzmembrán nyomáskülönbség alkalmazása esetén 1100 L/(m²h). A jobb szemléltetés miatt a tiszta víz fluxusának egyenesét nem ábrázoltam teljesen. Jól látható, hogy az eltömődött víz fluxusai sokkal alacsonyabb értéket mutatnak és a görbe lefutása nem egyenes, mivel a membrán pórusai el vannak tömődve, amely gátolja az áteresztőképességét. 1300 L/h recirkulációs térfogatáramon a tejsavó mérés utáni eltömődött víz fluxus értékek közel azonosak az 1000 L/h-án mért eltömődött víz fluxusokkal. A tiszta víz fluxusából a membrán ellenállását (R_M) az eltömődött víz fluxusból pedig az eltömődésből adódó ellenállást (R_F) tudtam meghatározni az 5. és 6. egyenlet segítségével.

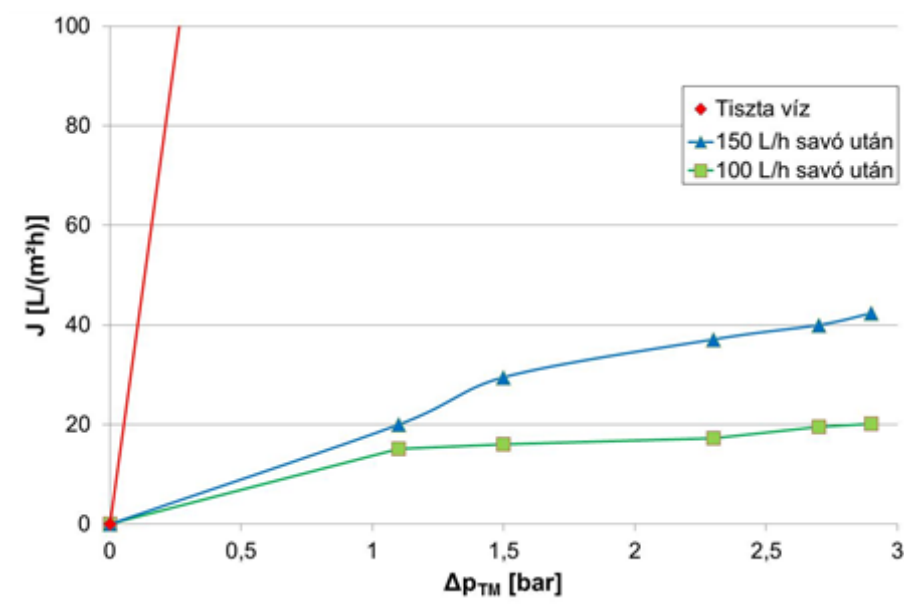
A kapillárcsöves membrán ellenállása $R_M = 3,476 \cdot 10^{12}$ 1/m.



20. ábra Csőmembránon és statikus keverőelemmel ellátott csőmembránon mért tiszta víz fluxusok 100 L/h recirkulációs térfogatáramon

A 20. ábrán összehasonlítottam a csőmembránon és a statikus keverővel ellátott csőmembránon mért tiszta víz fluxusokat. A mérések során növeltem a transzmembrán nyomáskülönbségeket és ennek hatására emelkedő fluxus értékeket kaptam, amelyek origóból induló egyeneseknek adódtak. A 20. ábrán látható, hogy a víz fluxusmérése esetén is, ha statikus keverőt alkalmazunk, sokkal jobban megnövelhető a membránon átáramló szűrlettérfogat, azaz a fluxus. A tiszta víz fluxusának értékeiből az 5. egyenlet segítségével itt is meghatároztam a membránra jellemző R_M értékeket.

Csőmembrán esetén $R_M = 1,648 \cdot 10^{12}$ 1/m, statikus keverő alkalmazása esetén $R_M = 1,164 \cdot 10^{12}$ 1/m.



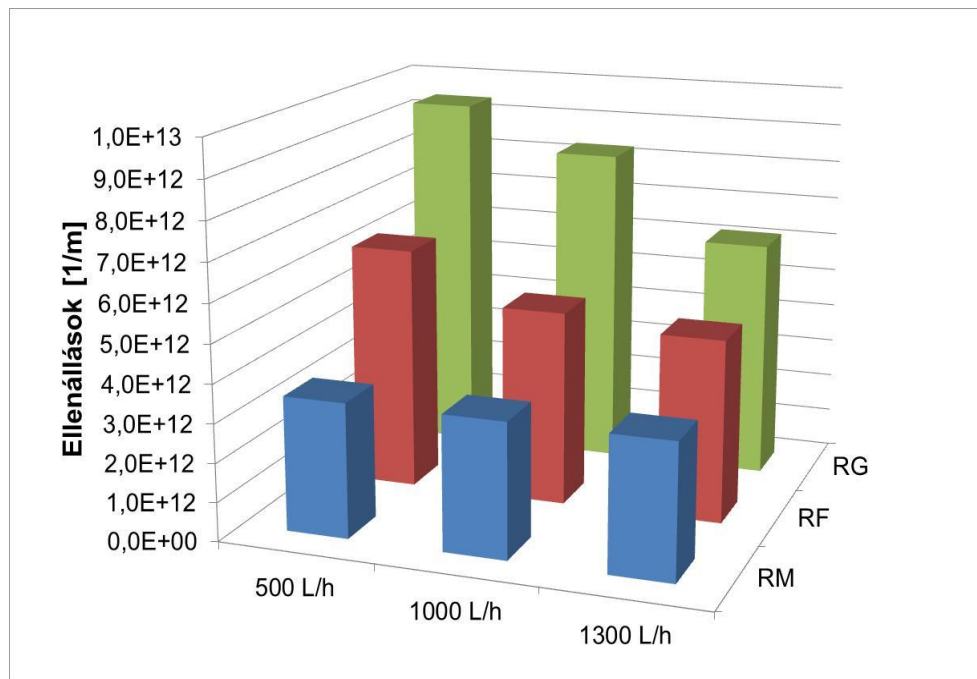
21. ábra Statikus keverővel ellátott csőmembránon mért tiszta víz és eltömődött víz fluxusa különböző recirkulációs térfogatáramon

Ahhoz, hogy az R_F értéket is meghatározzam szükség volt az eltömődött víz fluxus értékeinek ismeretére, amit a 21. ábra szemléltet. A vizsgálat során mértem a statikus keverővel ellátott kerámia csőmembránon a tejsavó mérése után az eltömődött víz fluxust. Ez azt jelenti, hogy tisztítás előtt tiszta vízzel töltöttem fel a tartályt és így végeztem a mérést. Látható a 21. ábrán, hogy 100 L/h és 150 L/h recirkuláción mért savó fluxusának vizsgálata utáni eltömődést mértem és ábrázoltam, a tiszta víz fluxusával szemben. Látható, hogy alacsonyabb térfogatáram alkalmazása esetén alacsonyabbak az eltömődött víz fluxus értékei, így az eltömődés mértéke nagyobb.

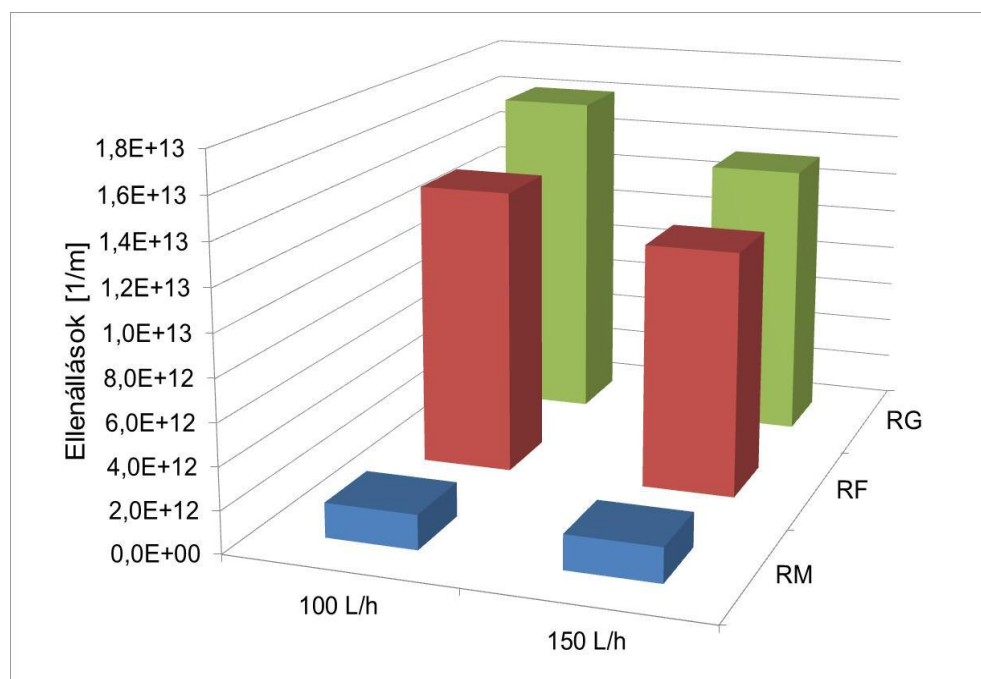
Az 5. 6. és 7. egyenlet alapján meghatároztam a membrán ellenállás (R_M) az eltömődésből fakadó ellenállás (R_F) és a gélréteg ellenállás (R_G) értékeit, mind a kapillárcsöves mind a csöves és a statikus keverővel ellátott csőmembrán esetén.

A 22. ábrán látható a kapillárcsöves membránon mért ellenállások alakulása 500 L/h, 1000 L/h és 1300 L/h recirkulációs térfogatáram alkalmazása esetén. A membránellenállás teszi ki az ellenállások legkisebb hányadát és a folyamat során állandó érték mivel a membránt jellemzi. Megfigyelhető hogy, a térfogatáram növelésével csökken az eltömődésből fakadó ellenállás, mivel az áramlási viszonyok megváltoztatásával a membrán kisebb

mértékben tömődik. A legnagyobb problémát - az ellenállásokból is látszik - a kialakuló gélréteg ellenállása okozza, ami szintén csökkenthető a térfogatáram növelésével.

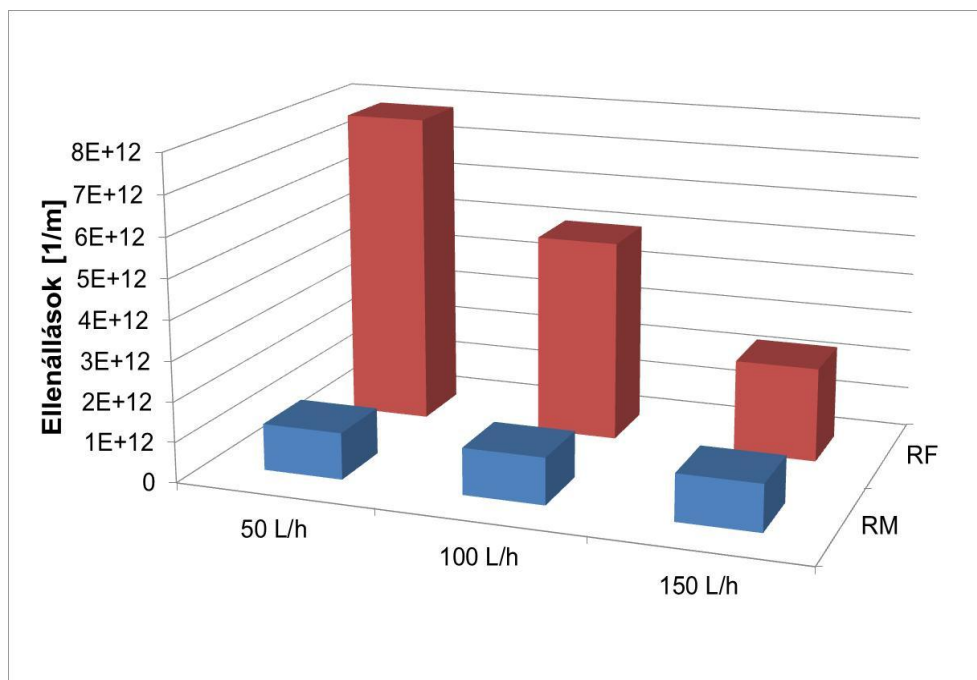


22. ábra Kapilláris membránon meghatározott ellenállások a recirkulációs térfogatáram függvényében



23. ábra Csőmembránon meghatározott ellenállások a recirkulációs térfogatáram függvényében

A 23. ábrán látható a csőmembránon meghatározott ellenállások értékei a recirkulációs térfogatáram függvényében. Az R_M értéke itt is állandó, mivel szintén a membránt jellemzi. A R_F értéke magasabb recirkulációs térfogatáram alkalmazásával csökken, mivel nagyobb az áramlási sebesség, így a membrán pórusaiban kisebb az eltömődés mértéke. A csőmembránon mért mérések során a legnagyobb hatás a gélréteg ellenállásából fakad, ami a recirkulációs térfogatárammal csökkenthető.



24. ábra Statikus keverővel ellátott csőmembránon meghatározott ellenállások a recirkulációs térfogatáram függvényében

A 24. ábra a statikus keverőt tartalmazó csőmembrán esetén mutatja az R_M és az R_F értékeket. Mindenképp indokolt a magasabb térfogatáram mellett történő üzemeltetés, mivel az R_F értékét nagymértékben csökkenti, ami már a szárazanyag-tartalommérésnél is megfigyelhető volt. Az R_M meghatározásánál a tiszta víz fluxus értékei magasabbak voltak statikus keverő használatánál, így itt egy másik R_M értékkel számoltam, ami magában foglalja a statikus keverőből származó tulajdonságot is. Ennek ismeretében az Ohm törvény alkalmazásával meghatározott R_G értékek negatív értékeket mutattak, így valószínűsíthető, hogy a gélréteg nem alakult ki statikus keverő alkalmazása esetén, ebből következik, hogy az eltömődésből származó ellenállás az, ami a legjobban befolyásolja a mérést.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A Földünkön évente hatalmas mennyiségben keletkező tejsavót, a magas a szárazanyag-tartalma, az emberi szervezet számára értékes komponenseket tartalmazó összetétele (fehérjék, laktóz, vitaminok, ásványi anyagok) miatt, mindenképp úgy kell tekinteni, mint feldolgozást igénylő anyagot.

Az általam alkalmazott korszerű membrántechnikai alkalmazást a kis energiafelhasználás és a szobahőmérsékleten tartósítószer-mentesen megvalósítható technológia indokolja.

Első lépésként a legfontosabb volt, hogy mikroszűréssel eltávolítsam a tejsavóban található lebegő anyagokat és megőrizsem az értékes fehérjetartalmat, valamint a laktózt, a vitaminokat és az ásványi anyagokat.

A kísérleteim során édes tejsavót vizsgáltam kapillárcsöves, csőmembrán és statikus keverőelemmel ellátott laboratóriumi berendezéseken. Mindhárom esetben 0,2 μm pórusméretű membránokat alkalmaztam abból a szempontból, hogy a permeátum csak zsír és lebegő anyagmentes legyen. A mérések során a műveleti paraméterek hatását vizsgáltam a fluxus növekedésre és a szárazanyag-tartalomra nézve, valamint tükrösítési kísérleteket is végeztem.

A műveleti paraméterek vizsgálatánál azt tapasztaltam, hogy magasabb transzmembrán-nyomáskülönbséget alkalmazva, magasabb fluxus értékeket kapok, de csak egy bizonyos nyomásig, így a tükrösítési kísérleteimet 2 bar transzmembrán nyomáskülönbség mellett végeztem el. A recirkulációs térfogatáram növelésével is növelhető volt a fluxus, így itt a középértékeket választottam (kapillárcsöves membrán esetén 1000 L/h, csőmembrán esetén és statikus keverő mellett is 100 L/h). A legeredményesebbnek a statikus keverőelemmel ellátott csőmembrán bizonyult, mind a fluxus értékek mind a szárazanyag-tartalom visszatartás tekintetében.

Meghatároztam az ellenállás modell segítségével a kapillárcsöves a cső- és statikus keverőelemmel ellátott csőmembránon a membránellenállást, az eltömődésből származó ellenállást és a gélréteg ellenállását. A legjelentősebb hatása a gélréteg ellenállásának van, ami a recirkulációs térfogatáram növelésével csökkenthető, illetve a statikus keverő alkalmazásával.

További céljaim, hogy az értékes komponensekben gazdag mikroszűrt permeátumot további lépcsőben besűrítsem nanoszűrés és diaszűrés segítségével. Céлом, hogy csökkentsem az

ásványi anyag tartalmát, főként a NaCl-ra koncentrálni, hogy egy alacsony sótartalmú és kellemes ízű savó koncentrátum nyerjék, amely alkalmas a por állagú termékek előállítására, valamint analízis elvégzése a zsír, a fehérje és a laktóz tartalom visszatartását illetően.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- 204/2001. (X. 26.) kormányrendelet a csatornabírságról
- Atra R., Vatai Gy., Békássy-Molnár E., Bálint Á. (2005): Investigation of ultra- and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. *Journal of Food Engineering*, 67 (2005) 325–332. p.
- Baldasso C., Barros T.C., Tessaro I.C. (2011): Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. *Desalination* 278 (2011) 381–386. p.
- Bélafiné Bakó K. (2002): Membrános műveletek. Veszprém: Veszprémi Egyetemi Kiadó.
- Csapó J., Csapóné Kiss Zs. (2002): Tej és tejtermékek a táplálkozásban. Budapest: Mezőgazda Kiadó
- Espina V., Jaffrin M. Y., Frappart M., Ding L. H. (2010a): Separation of casein from whey proteins by dynamic filtration. *Desalination* 250 (2010) 1109–1112. p.
- Espina V., Jaffrin M. Y., Paullier P., Ding L. (2010b): Comparison of permeate flux and whey protein transmission during successive microfiltration and ultrafiltration of UHT and pasteurized milks. *Desalination* 264 (2010) 151–159. p.
- Fonyó Zs. –Fábry Gy. (2004): Vegyipari művelettani alapismeretek. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó
- Gáspár I., Román A., Vatai Gy. (2008): Tejsavó mikroszűrésének intenzifikálása statikus keverővel. Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság XXXII. Kutatási és fejlesztési tanácskozás. 2008. január 22, Gödöllő.

- Gülseren I., Fang Y., Corredig M. (2012): Whey protein nanoparticles prepared with desolvation with ethanol: Characterization, thermal stability and interfacial behavior. *Food Hydrocolloids* 29 (2012) 258-264. p.
- Hommonay Zs., Koncz K-né (2005): A tejsavóról másképpen. 1. rész: A tejsavó tápanyag összetétele. *Élelméleti Ipar*, 59 (6) 129-133. p.
- Molnár A. (szerk.), Molnár J. (szerk.) (1999): A sajtókészítés ABC-je. Galgahévíz: GAIA Alapítvány
- Rautenbach, R. (1997): Membranverfahren. Berlin: Springer-Verlag
- Rektor A., Vatai Gy. (2004)): Membrane filtration of Mozzarella whey. *Desalination* 162 (2004) 279-286. p.
- Rezaei H., Ashtiani F. Z., Fouladitajar A. (2011): Effects of operating parameters on fouling mechanism and membrane flux in cross-flow microfiltration of whey. *Desalination* 274 (2011) 262–271. p.
- Román A., Wang J., Csanádi J., Hodúr C., Vatai Gy. (2009): Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration. *Desalination* 241 (2009) 288-295. p.
- Sanmartín B., Díaz O., Rodríguez-Turienzo L., Cobos A. (2012): Composition of caprine whey protein concentrates produced by membrane technology after clarification of cheese whey. *Small Ruminant Research* 105 (2012) 186– 192. p.
- Szakály Sándor (szerk.) (2001): Tejgazdaságtan. Budapest: Dinasztia Kiadó
- Zadow J.G. (szerk.) (1992): Whey and lactose processing. New York: Elsevier. 489 p.
- www.nrdcindia.com/agrofood.htm
- www.pall.com
- www.tetrapak.com