

INTEGRÁLT MEMBRÁN MŰVELETEK ALKALMAZÁSA EGÉSZSÉGES FÉLKÉSZ TERMÉKEK ELŐÁLLÍTÁSÁBAN

Doktori (Ph.D.) értekezés

VAS-VINCZE IVETTA

**Budapest
2010.**

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Dr. Fodor Péter
Egyetemi tanár, DSc
BCE, Élelmiszertudományi Kar,
Alkalmazott Kémia Tanszék

Témavezető: Dr. Vatai Gyula
Egyetemi tanár
BCE, 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, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanácsának 2010. október 05.-ki határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke

Fodor Péter, DSc

Tagjai

Biacs Péter, DSc

Stégerné Máthé Mónika, PhD

Simándi Béla, DSc

Koroknai Balázs, PhD

Opponensek

Hodúr Cecília, PhD

Barta József, CSc

Titkár

Stégerné Máthé Mónika, PhD

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	5
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1 KÁVÉ	7
2.2 HOMOKTÖVIS	11
2.2.1 A homoktövis termésének összetétele	13
2.2.2 Az értékes anyagok kinyerése, feldolgozása és felhasználása	14
2.3 MEMBRÁNMŰVELETEK	15
2.3.1 Membránszűrés alapjai	16
2.3.2 Membránszűrés jellemző mutatói	19
2.3.3 A membránszűrés modellezése	20
2.3.4 Ozmotikus desztilláció (OD)	24
2.3.5 Membránszűrés alkalmazása	25
3. CÉLKITŰZÉSEK	27
4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	29
4.1 KÁVÉ EXTRAKTUM BESŰRÍTÉSE	29
4.1.1 Felhasznált anyagok	29
4.1.2 A kísérletekhez használt membránok és berendezések [M5 (NF), M8 (RO)]	29
4.1.3 A kávé extraktumhoz és a sűrítményhez kapcsolódó analitikai mérések	32
4.2. 100 %-OS HOMOKTÖVIS-LÉ BESŰRÍTÉSE	32
4.2.1 Felhasznált anyagok	32
4.2.2 Laboratóriumi membránszűrési kísérletek	32
4.2.3 A homoktövis léhez és a sűrítményhez kapcsolódó analitikai mérések	35
4.3 A MEMBRÁNOK TISZTÍTÁSA	37
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	38
5.1. KÁVÉ EXTRAKTUM BESŰRÍTÉSÉNEK VIZSGÁLATA	38
5.1.1 Nanoszűrés alkalmazása a kávé extraktum besűritésére	38
5.1.2 Fordított ozmózis alkalmazása a kávé extraktum besűritésére	42
5.2 HOMOKTÖVIS LÉ BESŰRÍTÉSÉNEK VIZSGÁLATA	45
5.2.1 Homoktövis lé besűritésének vizsgálata előszűrés nélkül	46
5.2.2 Homoktövis lé besűritésének vizsgálata előszűréssel	52
5.3 A HOMOKTÖVIS LÉ BESŰRÍTÉSÉHEZ KAPCSOLÓDÓ ANALITIKAI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	69
5.4 MEMBRÁNSZŰRÉSI FOLYAMATOK MATEMATIKAI MODELLEZÉSE	73
5.5 ÜZEMI MÉRETŰ BERENDEZÉSEK KÖLTSÉGBECSLÉSE KÁVÉEXTRAKTUM ÉS HOMOKTÖVIS LÉ BESŰRÍTÉSÉRE	79
5.5.1 Kávéextraktum besűritéséhez szükséges üzemi berendezés költségbeclése	79
5.5.2 Homoktövi lé besűritéséhez szükséges üzemi berendezés költségbeclése	83
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	87
6.1. KÖVETKEZTETÉSEK	87
6.2. JAVASLATOK	88
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	89
7. ÖSSZEFOGLALÁS	92
8. CONCLUSION	93
FELHASZNÁLT IRODALOM	94
JELÖLÉSEK	98
MELLÉKLETEK	100
AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT KÖZLEMÉNYEK	107
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	109

1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre nagyobb az igény a természetes anyagok, a gyógyhatású összetevők, a kiváló minőségű, természetes alapanyagokból készült és értékes komponensekben gazdag termékek fogyasztása iránt. Ez a tendencia a fogyasztói társadalom, valamint az élelmiszeripar szemléletváltását egyaránt tükrözi. A bioélelmiszerek forgalmazására szakosodott cégek, boltok száma megsokszorozódott. Szinte minden magyarországi településen található biobolt.

Doktori értekezésem fő témájául egy olyan alapanyag feldolgozását vettem, mely alap terméknek számít minden ilyen jellegű bolt polcain. A homoktövis jelentősége az új táplálkozási szokások előtérbe kerülésével nőtt meg. A legismertebb hazai halálokokban vezető szerepet betöltő szív- és érrendszeri, valamint a daganatos megbetegedések veszélyét növeli a helytelen táplálkozás, a rendszertelen testmozgás és életvitel, a stressz, környezetünk szennyezettsége, és még sok egyéb tényező. A népi gyógyászatban számos újra felfedezett növényfaj ismeretes, közöttük jelentős évezredes gyógyító hatású növény a homoktövis, amelynek beltartalmi összetevői különösen értékesek, egyes elemeket, antioxidánsokat, vitaminokat, a hagyományos gyümölcsfélékhez képest, többszörös mennyiségben tartalmaz. Kelet-Ázsiában már 2000 éve gyógynövényként használják, csak Kínában 700 000 hektáron termesztik. Egyes táplálkozással foglalkozó szakemberek és gyógyszerészek szerint, a feldolgozóipar számára már régen nélkülözhetetlen alapanyaggá kellett volna válnia. Előnyös tulajdonságainál fogva különleges élelmiszeripari, akár gyógyhatású termékek, -készítmények előállítására alkalmas. A gyümölcshúsból különleges zamatú dzsem, zselé, ivólé, bor és likőr készíthető. Gyümölcsét egyesek nyersen is fogyasztják. A reformélelmiszerek, -készítmények egyik keresett alapanyaga.

A téma előkészítéseként egy másik jelentős fogyasztási cikk feldolgozásának egy módosított változatát végeztem el kísérleteim során. A kávé, mint élvezeti cikk ismert a világban, azonban számos pozitív élettani hatása is van. Egyre több bioboltban található ökológiai termesztésből kikerült biokávé, sőt ezek instant változata is. Fontos, hogy az előírászerűen termesztett kávébab a későbbi, esetleges feldolgozás során is megőrizze a termesztése, és

BEVEZETÉS

pörkölése során kialakított ízeket, zamatokat. A kávé cserje termése a kávébab, melyet a 15. századi Jemenben használtak először élénkítő hatása miatt. A közhiedelmekkel ellentétben a kávénak pozitív élettani hatásai is vannak, hiszen serkentő hatással van a központi idegrendszerre, a szívre, a véredényekre és vizelethajtó hatása miatt a vesékre is. A csersav stimulálóan hat az érrendszerre, kitágítja az érfalakat. A koffein megszünteti az álmoságot, javítja a hangulatot, fokozza az anyagcserét.

Az élelmiszeriparban is, mint minden más termelő iparágban, nagy az energia felhasználás a termékek előállítása során; emellett a berendezések költségei is magasak. Lényeges ezen tényezők csökkentése, hogy a félkész és késztermék árát is megfelelő szinten tudjuk tartani. Alternatív megoldást jelenthet a már az élelmiszeriparban egyre jobban elterjedő membránszűrés alkalmazása a besűrítési eljárások során is, kiváltva az jelenleg alkalmazott vákuumbepárlást. Ezzel nem csak a késztermékek minősége javítható, de az előállítási költségek is jelentősen csökkenthetők.

A környezettudatosság kialakítása, fenntartása, a környezet védelme mindannyiunk kötelessége. A membránműveletek alkalmazása környezetkímélő módszer. Az energiafelhasználás mértéke, a kibocsájtott, és újrahasznosítható melléktermékek miatt kisebb a környezetterhelés.

A fentiek alapján elmondható, hogy mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból lényeges a megvalósíthatóság részletes vizsgálata és bemutatása.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Kávé

Számos feltételezés létezik a kávé eredetével kapcsolatban. Az egyik legenda egy kecskepásztorhoz kötődik. Egy másik legenda szerint Gábrriel arkangyal adta a kávé Mohamednek. Egy harmadik történet szerint egy száműzött szufi bölcs talált rá a kávécserejére, melynek gyümölcse megmentette őt és tanítványait az éhhaláltól.

E legendák közül természetesen egyik sem bizonyított, valószínűsíthetően a kávéital elterjedése folyamán jöttek létre, elősegítve az új itallal való megbarátkozást.

A legendák mögött van két olyan biztos pont, amelyet tényként kezelhetünk. Először is a kávéfogyasztás majdnem mindig Jemenig követhető vissza. Másodszor, a történetek legtöbbszörében szerepelnek valamely misztikus szufi rend tagjai, melyben az istentiszteletek eszközeként a kávé hamar fontos szerephez jutott.

A forró italt az 1410-es évektől fogyasztották az Adeni-öböl, illetve a Vörös-tenger túlsó partján, Adenben, Mekkában és Kairóban. A kávéivás szokása a XVI. század végére az egész arab világban elterjedt. Konstantinápolyban már az 1550-es években szokássá vált a kávéfogyasztás.

A 16-17. században a hajós népek kereskedői a cukor, dohány, kakaó, fűszerek mellett, a kávé is egyre nagyobb tételben szállították. Örmény és görög kereskedők szállították Velencén keresztül Olaszországba. Franciaországba a Napkirály idején a török követ, Szolimán aga vitte, és fogyasztása hamar kedveltté vált.

A tengeri kereskedelem központja egy idő után Amsterdamba került, így az 1600-es évektől északnyugatról délkelet felé is terjedt a kávé élvezete. Észak- és Nyugat Európában előbb az otthoni fogyasztás volt a jellemző, főleg a gazdagabb családoknál.

Magyarországon feltehetőleg a törökök 150 éves uralma alatt ismerték meg a kávé. A kávé szót Zrínyi Miklós írja le először a Szigeti Veszedelem 3. énekében:

"Egymás közt sok dologról beszélgetének.

Káuét kicsin finchából hörpölgetének..." (Atkinson et al, 2004)

A kávé rendszertanilag a *Coffea* nemzetség Rubiaceae (buzérfélék) családjába tartozik. A *Coffea* nemzetség körülbelül 70 ismeretes faja közül csupán három fajt termesztnek:

- *Coffea arabica*
- *Coffea canephora*
- *Coffea liberica*.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az említett fajok közül a legfontosabbak a *C. arabica* típusai: typica, bourbon, maragogips, mocca, és a *C. canaphora* típusai: robusta, uganda, gullion. A *C. canaphora* faj összes változatát a kereskedelemben robusta néven értékesítik.

A kávé 1-3 m magasra fejlődő örökzöld fa vagy bokor. Csonthéjas terméseit kívülről éretlenül haragoszöld hús borítja, ami az érés folyamán megpirosodik, majd lilás, kékesfeketére színeződik. Az 1-1,5 cm hosszú termések megnyúlt gömb alakúak. A termésben, gyümölcshússal körülvéve, két, lapos oldalukkal egymáson fekvő mag kávészem foglal helyet. Gyakran a hiányos megtermékenyítés miatt az egyik mag elapad, és a kifejlődött mag gömbölyű, vagy hengeres. Az ilyen szemeket különválogatva, „gyöngykávé” néven hozzák forgalomba.

A kávé termesztéséhez speciális természeti adottságokra és megfelelő termesztéstechnikára van szükség. A kávécserjék növekedését az ültetvény minősége alapvetően befolyásolja. Optimális adottságokkal az úgynevezett kávéövben található 900 méter felett fekvő ültetvények rendelkeznek. A kávécserjék ideális fejlődéséhez elengedhetetlen a nagy és egyenletes csapadékmennyiség, az állandó 15-24 °C hőmérséklet és fagymentesség, valamint a mély rétegű, termékeny talaj.



1. kép: Kávécserje



2. kép: Pörkölt kávébab

A leszedett piros termékek hosszú feldolgozási folyamaton jutnak keresztül, amíg a kereskedelmi nyers kávé forgalomba kerül. 100 kg friss gyümölcsből általában 20 kg kereskedelmi kávé nyernek. A feldolgozás két formája: a száraz és a nedves kezelés.

A **száraz eljárás** során a leszedett gyümölcsöt rétegbe rakják, kevergetik és eközben a húsos részekben megindul az erjedés (fermentálás). A fermentáció befejeztével napra kiterítve, állandó forgatás mellett 10-12 napig szárítják, ez alatt a kávé egyenletes színt kap.

A **nedves eljárás** során a termést hatalmas betonmedencékbe tárolják be egy vízcsatornán keresztül. A medencében az érett szemek lesüllyednek, az éretlenek a víz felszínén maradnak, ahonnan eltávolítják azokat. A medencéből a kávé a "Pulper" gépbe kerül, ahol vízsugár segítségével a húsréteget eltávolítják, majd a kávészemeket az erjesztő medencébe továbbítják. Itt

megindul az erjedés és a továbbiakban a feldolgozás a száraz eljárás lépéseivel folytatódik (Atkinson et al, 2004).

2.1.1 A kávé-komponensek

Szénhidrátok. A nyers kávéban számos szénhidrát, például poliszacharid és kis molekulatömegű cukor (mono-, di- és triszacharid) van. A szabad cukrok közül a répacukor mennyisége a legnagyobb; az *arabica* szárazanyag-tartalmának mintegy 8%-a szacharóz. A nyers kávé szárazanyag-tartalmának a felét is elérheti a poliszacharidok mennyisége. Hidrolízissel főként mannózt, galaktózt, glükózt és arabinózt mutattak ki. Pörköléskor az összetétel jelentősen megváltozik, az egyszerű cukrok (pl. az arabinóz) jórészt elbomlanak.

Nitrogéntartalmú vegyületek. A kávé nitrogéntartalmú komponenseit rendszerint három csoportba sorolják: alkaloidok, trigonellin és nikotinsav, valamint aminosavak és fehérjék.

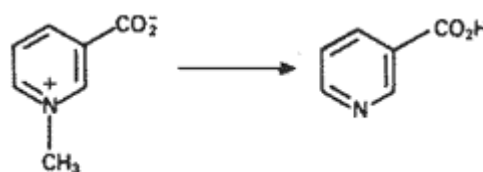
A **koffein** talán a kávé legismertebb alkaloidja. Az *arabica* szárazanyag-tartalmának 1-2%-át teszi ki (a *robusta*-ban kb. kétszer ennyi van.).

Nemcsak a kávé tartalmaz koffeint, hanem például a tea, a kóladió és kis mennyiségben a kakaó is. A kakaó fő alkaloidja, a teobromin, és a tea egyik fontos alkaloidja, a teofillin, a koffeinhez hasonló vegyület. (Régebben a teában található koffeint teinnek nevezték.)

A koffein fokozza a szívműködést, az anyagcserét és a légzést, növeli a vérnyomást és a vérkeringési sebességet, tágítja az agyi ereket, szűkíti a bélben levő ereket, vizelethajtó. Megszünteti az álmoságot, javítja a hangulatot, gyorsítja a gondolkodást, átmeneti teljesítménynövekedést idéz elő, amelyet rohamos teljesítménycsökkenés követ. Nagy koffeinadag (kb. 300 mg fölött) kézremegést, vértolulást, szívtáji nyomást okoz. A teobromin vizelethajtó, értágító és fokozza a szívizomzat tevékenységét; a központi idegrendszert alig ingerli. A teofillin vizelethajtó hatása a legerősebb a három alkaloid között, a központi idegrendszert a koffeinnél kevésbé serkenti. Ingerli a légzésközpontot.

Trigonellin

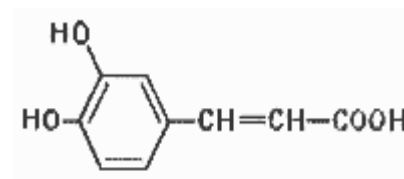
A kávé szárazanyag-tartalmának kb. 1%-a trigonellin. A vegyület hő hatására könnyen bomlik; pörköléskor főként piridin- és pirrolszármazékok keletkeznek belőle.



1. ábra: Trigonellin és nikotinsav

Klorogénsavak

A klorogénsavak a kinasav (1,3,4,5-tetrahidrox-1-ciklohexánkarbonsav) észterei. [Például a kinasav 5-ös OH-csoportja alkot észtert a kávéssavval (3,4-hidrox-3-fenilpropénoic sav).] Klorogénsav van többek között az újborkban és a csonthéjas gyümölcsök fájának leveleiben is, és klorogénsavtól sötétedik meg a burgonya.



2. ábra: Kávéssav

Illékony komponensek. Ezek a komponensek jórészt a pörköléskor meginduló reakciókban keletkeznek. A cukrokkal, aminosavakkal, egyéb szerves savakkal és fenolos vegyületekkel lejátszódó folyamatok során alakul ki a különböző kávéfajták aromája. Az illékony anyagok összetétele számos tényezőtől függ, például attól, hogy milyen éghajlaton, milyen talajban termesztik a kávé, hogyan tárolják, pörkölik a kávébabot. A laboratóriumi vizsgálatok során az illékony anyagokat rendszerint gázkromatográfiás vagy HPLC módszerrel választják el.

1. táblázat: Az azonosított illékony komponensek száma egy kávéfajtában pörkölés után

szénhidrogének	72	pirrolok	67	nitrogénvegyületek	22
(nem heterociklusos)					
alkoholok	20	benzopirrolok	5	kénvegyületek	17
(nem heterociklusos)					
aldehidek	29	pirazinok	71	fenolok	40
ketonok	68	benzopirazinok	11	furánok	112
savak	22	piridinek	12	benzofuránok	3
észterek	29	benzopiridinek	4	piránok	2
éterek	2	tiofének	30	pironok	4
acetálok	1	benzotiofének	1	laktonok	9
oxazolok	24	tiazolok	26	anhidridek	3
benzoxazolok	5	benzotiazolok	1	összesen	712

Karbonsavak. Az alifás karbonsavak a kávé minőségének fontos tényezői: a pH változásai a funkciós csoportokat, például a fenolos hidroxci-csoportokat disszociációra készíthetik, ami módosítja a kávé aromáját.

A kávéban sokféle jellegzetes ízű savat mutattak ki. A 2-metil-valeriánsav például csokoládéízt, a piroszölősav karamelles aromát kölcsönöz a kávénak.

A nyers kávéban a nem illékony savak, például a citromsav, a maleinsav, az oxálsav és a borkősav mennyisége a 2%-ot sem éri el. A pörkölt kávéban több mint 30 alifás savat azonosítottak. Ezek közül 15 nem illékony, 1-10 szénatomszámú sav, a többi illékony. Általában minél sötétebbre pörkölik a kávé, annál kevesebb benne a sav (Römpp Vegyészeti Lexikon, 1984; Encyclopaedia of Food Science, 1993).

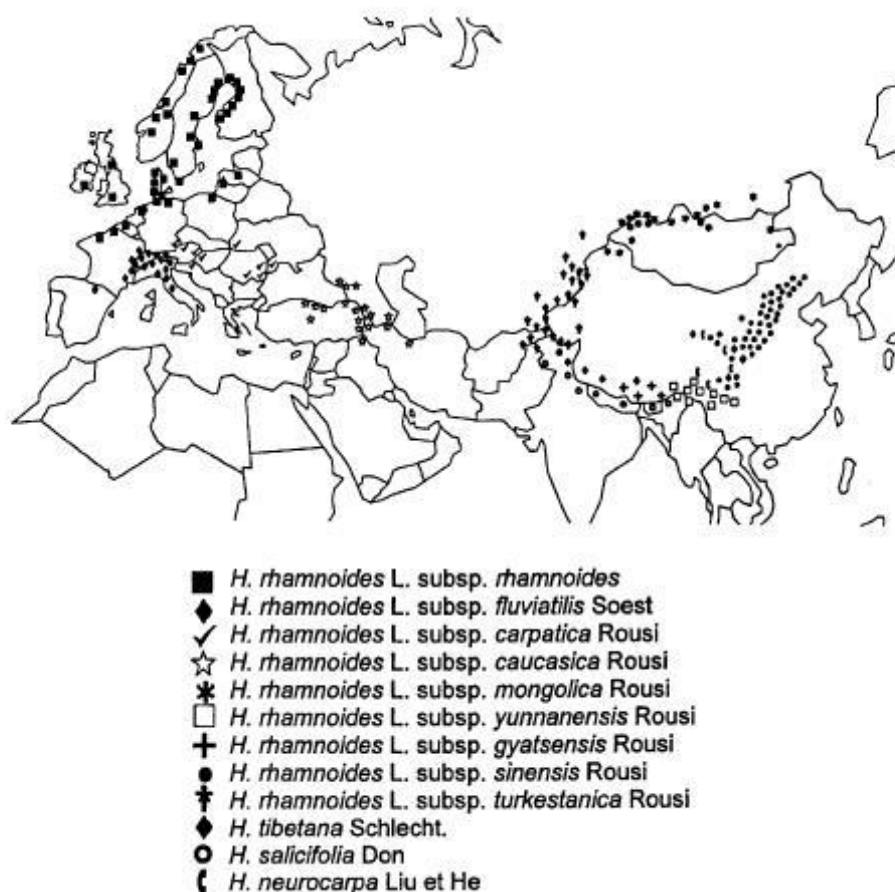
2.2 Homoktövis

A homoktövis (*Hippophae rhamnoides* L.) olyan bokros növény, amely Közép- és Délkelet- Ázsia és Európa hegyvidékein vadon nő. Bogyós gyümölcsének színe a narancssárgától a pirosig változik, íze savas és enyhén kesernyős. Számos vitamint (B, C, E, K és A vitamin provitaminja) és más biológiailag aktív anyagot tartalmaz. A fő termék, amelyet a bogyókból nyernek a C vitaminban gazdag lé, és a telítetlen zsírsavakban gazdag olaj, melyet gyógyszerként használnak. (J. Stastová et al., 1996)

A homoktövis őshonos Euráziában és számos országban honosították, többek között Indiában, Kínában, Nepálban, Pakisztánban, Myanmar-ban, Oroszországban, Nagy-Britanniában, Németországban, Finnországban, Romániában és Franciaországban 2500-4300 m magasan fekvő területeken. Csodatevő növényként ismert, aminek apró gyümölcse tüskés gallyakon helyezkedik el (P. S. Negi et al., 2004)



3. kép: Homoktövis cserje



3. ábra: Homoktövis elterjedése a világon

A hazai honosítási kísérletek a hetvenes évek elején kezdődtek el a Kertészeti Egyetem Növénytermesztési Tanszékén. Néhány évvel később a Gyümölcs- és Dísznövény-termesztési Kutató Intézet Fertődi Állomásán, valamint a Gyógynövény Kutató Intézetben is megindult a fajtaértékelés. Első hazai üzemi telepítésére a nyolcvanas évek elején került sor a Dánszentmiklósi és Albertirsai Termelőszövetkezetben.

Az Elaeagnaceae (ezüstfafélék) családjába tartozó homoktövis botanikai neve *Hippophaë rhamnoides*. 1-3,5 m magas bokorrá vagy 6 m-es fává nőhet. Hajtásai rendszerint tövisesek. A vesszők kérge sötétszürke vagy barnásfekete, rücskös. Levelei szórt állásúak, megnyúlt lándzsa alakúak, ép szélűek, rövid levélnyélbe szűkülnek. Színükön zöldek, fonákukon ezüstösek. A levelek fonáka és a hajtások sűrű, pikkelyszerű szőrökkel fedettek, ezért ezüstösen csillogóak.

A vadon termő homoktövis szélporozta, kétlaki növény, de ismert olyan kultúrváltozata is, amelynek virágai termőt és porzót egyaránt tartalmaznak.

Virágai aprók, nem feltűnőek. A virágpárta hiányzik, a vacok cső alakú, amelyen szíromszerű sárga vagy barnás csésze van. Virágok csak a friss hajtásokon differenciálódnak, ezért kizárólag a vesszőkön terem. Nálunk április végén vagy május első napjaiban virágzik, egy időben a levelek megjelenésével. A hímivarú virágok barnás árnyalatúak, elállóak, kis barkára emlékeztetnek, a

nővirágok sárgák. Kétlaki növény lévén az ültetvénybe nő- és hímvirágú egyedeket kell kiültetni. Ezek aránya általában 9:1.

Termése alsó állású magházból keletkezett álbogyó, benne kőmaggal, amelyen hosszanti csatorna fut végig. A vad alak gyümölcse borsószem nagyságú. A nemesített fajták termése ennél jóval nagyobb.

A termések augusztusban-szeptemberben érnek be. Formájuk cilindrikus vagy körte, színük citrom-, narancssárga és piros. A termések a vessző hosszirányában sűrűn tömörülnek. A gyümölcs íze kesernyős-savanyú, sajátos aromával, amely emlékeztet az ananász illatára. Friss fogyasztásra alkalmas. A termések hullásra nem hajlamosak, egész télen a fán maradnak. A homoktövis viszonylag hosszan fejlődik, a negyedik-hatodik évben fordul termőre. Az ültetvény gazdaságos életkora húsz év (Porpáczy A., Soltész. M., 1998).

2.2.1 A homoktövis termésének összetétele

A homoktövis összetételét tekintve kiemelkedik a bogyósok közül magas tápértékével és vitamintartalmával. Termését kiperéselve a bogyó tömegének 75-85%-a lé. A lé 8-10% szárazanyag-tartalmú, kevés cukrot (2,42-6,67%) és értékes szerves savakat (1,04-2,44%, főleg almasavat), 0,021-0,058% cseranyagot, valamint 1-2% zsíros olajat tartalmaz (Shapiro et al., 1979; Hornok, 1990; Soltész, 1997).

Energiatartalma 431 kJ, mely a legnagyobb energiatartalmú gyümölcsével, a banánéval egyezik meg. Fehérjetartalma 1,4 g/100g, ami a legmagasabb a gyümölcsök közül. Szénhidráttartalma 5,24-7,8 g/100g, amelynél csak a citromé alacsonyabb (Stoll és Gremminger, 1986; Bíró és Lindner, 1998; Souci et al., 1989).

A homoktövis aszkorbinsav tartalma (150-800 mg/100g) három-hússzorosa a narancsénak, citroménak, amit csak a csipkebogyó (400 mg/100g) közelít meg (Stoll és Gremminger, 1986).

A bogyók karotinoid-tartalma igen változó. Újabb kutatások azt mutatják, hogy 1-120 mg/100g a homoktövis bogyóinak karotinoid-koncentrációja, ebből 0,2-17 mg/100g β -karotin (Yang, 2001).

E-vitamin szintje elérheti a 160 mg/100 g-ot (Ma, Cui, 1989; Whalberg, 1992), Eccleston (2002) mérései alapján 13,3 mg/L, Kallio (2002), illetve Yang (2001) vizsgálata szerint 10-150 mg/kg.

A homoktövis gyümölcsének értékét tovább emeli jelentős flavonoid- (P-vitamin) és észlelhető mennyiségű víz-és zsírolható vitamin-(A,B₁,B₂ ,E, F) tartalma (Zhang, 1989). A gyümölcs flavonoidtartalma 1182 mg/L (Eccleston et al., 2002). A kvercetin a homoktövis bogyójának fő fenolos összetevője (87,3%), melynek szintje 54,5 mg/L Häkkinen (1999) vizsgálatai szerint.

A bogyók cukortartalma 13 % (glükóz, fruktóz és xylóz) és 3,9 %-ban tartalmaz szerves savakat (nagyreszt almasav és borostyánkősav) (Ma, 1989). A homoktövis 11,24 mg/g glükózt és 9,95 mg/g szacharózt, 7,69 mg/g fruktózt, 0,03 mg/g ribózt, 0,25 mg/g galaktózt és 0,12 mg/g xylózt tartalmaz

(Centenaro et al., 1977). A termés aminosavban és proteinekben gazdag, összesen 18-féle aminosav található benne (Zhang, 1989; Mironov, 1989).

A bogyók levében legalább 24-féle kémiai elem van jelen, úgymint: nitrogén, foszfor, vas, mangán, bróm, kalcium, alumínium, szilícium (Wolf, 1993; Zhang, 1989). Káliumtartalma 133 mg/100 g, ami a gyümölcsök között igen alacsonynak számít, csak az almát (112 mg/100 g) és a körtét (100 mg/100 g) előzi meg. A homoktövis kalciumtartalma 42 mg/100 g, ami jónak számít a gyümölcsök között, hiszen a banánt (110 mg/100 g) kivéve, a legtöbb gyümölcsé hasonló. Magnézium-tartalma 17-30 mg/100 g, ami a banánt (60 mg/100 g) kivéve minden gyümölcsöt megelőz. Vastartalma 0,44 mg/100 g, ehhez hasonló a szamóca (0,33 mg/100 g) és a málna (0,40 mg/100 g) vastartalma. Foszfortartalma nem túl jelentős, 8,6-9,0 mg/100 g, aminél az almát (8 mg/100 g) és a görögdiinnyét (2 mg/100 g) kivéve minden gyümölcs foszfortartalma magasabb. Tiamintartalma 30-34 µg/100 g, ami a gyümölcsök között közepesnek számít. Riboflavin-tartalma 20-21 µg/100 g, amely megegyezik a legtöbb gyümölcsével, kivéve többek között a banánt és az egrest (100 µg/100 g). A homoktövis niacintartalma 0,26-0,30 mg/100 g, amely hasonló a legtöbb gyümölcshöz (Stoll, Gremminger, 1986; Bíró, Lindner, 1998; Souci et al., 1989).

A magok és a lé olajtartalma 2-8 %. A homoktövis magolaja nagy koncentrációban tartalmaz értékes linolsavat (18:2n-3, 30-40%) és linolénsavat (18:3n-3, 23-36%), a húsolaja pedig palmitinsavban (16:0, ~33%), illetve palmitoleinsavban (16:1n-7, 24-39%) gazdag (Cheng et al., 1990; Yang, Kallio, 2001; Ozerinina et al., 1997; Yang et al., 2000).

2.2.2 Az értékes anyagok kinyerése, feldolgozása és felhasználása

A homoktövis értékes anyagai kinyerésének és feldolgozásának egyik módját az 1990-ben közzétett szabadalmi leírás írja le. (Eljárás homoktövis értékes anyagainak a kinyerésére és feldolgozására, Szabadalmi Közlöny, 1990)¹

A készítményekben lévő hatóanyagoktól (flavonoidok, karotinoidok, zsíros olaj) és a kórfolyamat súlyosságától függően a különböző homoktövis-készítményeket önállóan (megelőzősképpen, ill. terápiás céllal) vagy más terápiák (beleértve kemoterápiát is) kiegészítéseképpen használják fel.

A termésből préseléssel nyert zsíros olajából -mely főleg olajsavakat, karotinoidokat, E-vitamint, fitoszterolokat és foszfolipideket tartalmaz - a gyógyszeripar fájdalomcsillapítót, nőgyógyászati gyulladásgátlót, égési és fagyási sebek, nehezen gyógyuló fekélyek, valamint szájüregben keletkezett sebek és eróziók kezelésére alkalmas kenőcsöket és sugárártalom (napfény, RTG-sugárzás) elleni szereket készít (Soltész, 1997; Kéry, 2003).

A terméséből készült kivonat vagy a préseléssel nyert gyümölcslé erőnlétjavító, fokozza az ellenállóképességet, fedezi a téli vitaminszükségletet, illetve a terméshús kivonata anyagcsere

¹ Kivonat a Szabadalmi Közlönyből (1. sz. melléklet)

fokozó, ezáltal segít az optimális testsúly megőrzésében is. Különleges zsírsavösszetétele révén csökkenti a vér koleszterinszintjét, ezáltal lassítja az érleszesedést is. Reumás panaszok kezelésére is bevált, egészségesen tartja a bőrt és a haját (Dános, 1998; Pap, 1998).

Nagy Britanniában és Európában a homoktövis termékeket az aromaterápiában is használják.

Az 1950-es és 1960-as évek kutatásai fényt derítettek arra, hogy a homoktövis kérgéből izolált 5-hidroxi-triptamin gátolja a tumor növekedését (Pukhalsskaia, 1958).

A kínai lanzhau kutatóintézet által közölt adatok szerint a *Hippophaë fructus* levének és magolájának az átültetett (in vivo) daganatokra és a daganatsejtekre (in vitro) gyakorolt hatásai figyelemre méltóak.

Az in vitro kísérletek eredményei azt jelzik, hogy a gyümölcs leve jelentős mértékben gátolhatja az emberi gyomorráksejtek növekedését. A gyümölcslé 1,9 µg/ml koncentrációja esetén a sejtek gátlási aránya 100%-os volt. E kísérletek eredményei azt igazolják, hogy a homoktövisgyümölcs leve és magolaja egyaránt rendelkezik daganatellenes hatással. A tudományos vizsgálatok során szerzett tapasztalatok jó alapot biztosítottak arra, hogy a homoktövis a tumorterápiában is felhasználásra kerüljön (Petri, 1999).

Mióta felfedezték a homoktövis táplálkozási értékét, több száz terméket készítettek a bogyóból, az olajból, a levelekből, a kéregből. Európában a homoktövis nektár, zselé, likőr, C-vitamin tabletta és jégkrém formában már kapható (Bernáth, 1992; Wolf, 1993).

Jelenleg a termékek legnagyobb gyártói és fogyasztói Kína, Oroszország és Mongólia. A következő termékeket forgalmazzák: olaj, gyümölcslé, alkoholos italok, édességek, jégkrém, tea, lekvár, kekszek, C-vitamin tabletta, élelmiszerszínezék, gyógyszerek, kozmetikai cikkek, samponok (Iirkina és Shishkina, 1976; Huang et al., 1991).

2.3 Membránműveletek

A membránműveletek a modern szétválasztási eljárások sorába tartoznak. Alapelvük: egy segédanyag és a komponensek egyes tulajdonságbeli különbségeinek segítségével való szétválasztás. A segédanyag a membrán, a komponensek tulajdonságai közül az oldódási képesség, a diffúziós sebesség, vagy a molekulaméret az, ami ezekben az eljárási módokban szerepet kap. Membránműveletnek tekinthető minden olyan művelet, amelyben valamilyen hajtóerő hatására szelektív transzport megy végbe a membránon. A membrán egy féligáteresztő hártya, amely két vagy több komponensből álló elegy egyes komponenseit átereszt, más komponenseit részben vagy teljesen visszatartja (Fonyó és Fábry, 1998, Bélafiné, 2002). Az áteresztett áramot nevezzük permeátumnak vagy szűrletnek, a visszatartott áram a retentátum vagy sűrítmény. A membránműveletek más-más membránt, illetve anyagtulajdonságot használnak ki, illetve még

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

abban is különböznek, miszerint segédanyagot vagy segédenergiát használnak-e fel a szétválasztáshoz. Két nagy csoportra oszthatók:

- Membránszűrési eljárások
- Anyagátadási membránműveletek

Összefoglaló táblázatban látható az iparban alkalmazott membránműveletek hajtóerőben, valamint anyagátadási mechanizmusban fennálló különbségei

2. táblázat: Membránműveletek felosztása

	Művelet	Hajtóerő	Anyagátadási mechanizmus	Áthaladó komponens
Membránszűrési eljárások	Mikroszűrés (MF)	nyomáskülönbség	konvekciós szitahatás	oldószer
	Ultraszűrés (UF)	nyomáskülönbség	konvekciós szitahatás	oldószer
	Nanoszűrés (NF)	nyomáskülönbség	konvekciós szitahatás	oldószer
	Fordított ozmózis (RO)	nyomáskülönbség	diffúzió	oldószer
Anyagátadási membránműveletek	Pervaporáció (PV)	gőznyomás különbség	diffúzió	oldott komponens
	Membrándesztilláció (MD)	hőmérséklet különbség	diffúzió	oldószer
	Ozmotikus desztilláció (OD)	ozmózisnyomás különbség	diffúzió	oldószer
	Membránabszorpció (MA)	koncentráció különbség	diffúzió	oldott anyag
	Membránextrakció (ME)	koncentráció különbség	diffúzió	oldott anyag

2.3.1 Membránszűrés alapjai

A membránműveletek legelterjedtebb fajtája a szűrés, illetve a szűrés egy speciális esete a sűrítés. Az alapelv hasonló a klasszikus szűrési eljáráshoz: a membrán egy olyan réteg, amely a több komponensből álló elegyet úgy választja szét két "fázisra", hogy az egyes komponenseket átereszti, másokat pedig visszatartja. A folyamat hajtóereje a membrán két oldalán kialakuló nyomáskülönbség.

A membránszűrés művelete kétféleképpen kivitelezhető.

Az egyik módot, akkor szokták használni, ha a szűrendő anyag koncentrációja kisebb 0,1%-nál. Ekkor a szűrendő anyagot merőlegesen vezetjük rá a membránra, megfelelő nyomást biztosítva a

membrán pórusméretétől kisebb koagulátumok, részecskék, molekulák maradnak vissza. Így nyerjük ki az általunk kívánt tisztaságú permeátumot, azaz szűrletet. A visszamaradt anyagok idővel tehát kialakítanak egy gélréteget, amin keresztül már nem képes áthaladni a kívánt komponens vagy komponensek, ezért gazdaságos csak a kisebb koncentráció tartományában használni. Ez az eljárás tulajdonképpen a klasszikus szakaszos szűrési módszer, úgy is modellezzük. Ezek szerint van szitaefektus, mélységi szűrési és háromdimenziós szűrési elmélet. Ezt az eljárási módszert nevezzük "dead-end" szűrésnek.

A másik működtetési forma a "cross-flow", vagy keresztáramú szűrés. Ekkor a szűrendő anyagot tangenciálisan vezetjük a membrán felületére. Ez a módszer már a nagyobb koncentrációjú anyagok szűrését is lehetővé teszi, a sűrítést pedig csak ezzel az eljárással lehet véghezvinni. A szűrendő anyag ilyenkor nagy sebességgel áramlik és a membrán két oldalán kialakuló nyomáskülönbség hatására az egyes komponensek átvándorolnak a membrán másik oldalára. A nagy sebességgel cirkuláltatott anyag lesodorja a membrán felületéről a kialakuló gélréteget, ezzel a szűrési idő növelésével nem lassul úgy a szűrési teljesítmény, mint a "dead-end" eljárásnál.

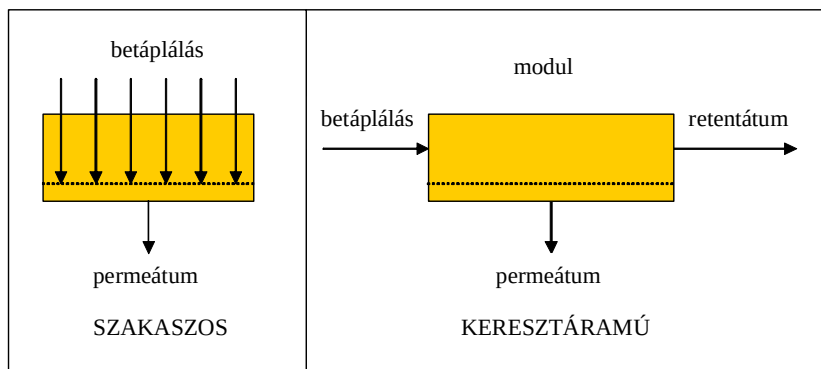
A hajtóerőt a transzmembrán nyomáskülönbség (Δp_{TM}) jelenti:

$$\Delta p_{TM} = \frac{p_b + p_r}{2} - p_p \quad (1)$$

p_b – betáplálási oldali nyomás

p_r – sűrítmény oldali nyomás

p_p – szűrlet oldali nyomás



4. ábra: A membránszeparációs műveletek kétféle működtetési formája

Az elválasztott molekulák mérete szerint lehet osztályozni a membránszűrési műveleteket.

Így létezik:

- mikroszűrés
- ultraszűrés
- nanoszűrés
- fordított ozmózis

3. táblázat: A 4 legfontosabb nyomáskülönbségen alapuló membrános művelet

Membránszűrési művelet	Membrán pórusmérete	Transzmembrán nyomáskülönbség [bar]	Kiszűrhető részecskék mérete
<i>Mikroszűrés [MF]</i>	0,1 – 1 μm	1 - 3	10 ⁵ Da <i>Keményítő, pigmentek, baktériumok, élesztőgombák</i>
<i>Ultraszűrés [UF]</i>	0,01 – 0,1 μm	3 - 8	1000 - 10 ⁵ Da <i>Makromolekulák, kolloidok, vírusok, proteinek</i>
<i>Nanoszűrés [NF]</i>	0,001 – 0,01 μm	1-20 (30)	100 – 1000 Da <i>Nagyobb molekulák, cukrok, kétértékű ionok</i>
<i>Fordított ozmózis [RO]</i>	0,1-1 nm	10 - 80	10 - 100 Da <i>Egyértékű ionok, (tengervízből ivóvíz)</i>

Mikroszűrés. A membrános műveletek közül a mikroszűrés áll legközelebb a klasszikus szűréshez. A pórusokon keresztül az áramlás lamináris. Így az áramlás leírására alkalmazható a Hagen-Poiseuille és a Kozeny-Carman egyenlet is. A fluxus fordítottan arányos a viszkozitással, a térfogatáram függ a porozitástól és a pórusmérettől. Ez a legrégebb óta alkalmazott membránművelet. Sokféle szerves és szervetlen anyagból állítanak elő pórusos mikroszűrő membránokat napjainkban, amelyek lehetnek szimmetrikusak, aszimmetrikusak. (Bélafiné, 2002). Alkalmazható szakaszos és cross-flow módban is. Számolni kell a koncentráció-polarizációval, valamint az eltömődéssel is (Czekaj et al., 2000; Vernhet et al., 2003). A membrán tisztítására leggyakrabban kémiai módszereket alkalmaznak. Ipari alkalmazása széleskörű, amit a 3. táblázatban foglaltam össze.

Ultraszűrés. Az ultraszűrés a mikroszűrés és a nanoszűrés közötti mérettartományban alkalmazható membrános eljárás. A mikroszűréshez hasonlóan az ultraszűrő membránok is pórusosak, legfontosabb különbség a pórus méretében van. Az anyagtranszport egyenesen arányos az alkalmazott nyomással. Az ultraszűrő membránok egyik fontos jellemzője a vágási érték (cut off).

A vágási érték az a molekulaméret, amelyet a membrán 90%-ban visszatart. Az ultraszűrésnél is fellép a koncentráció-polarizáció, valamint egy idő után eltömődik a membrán. A borászatban pl. a fémek kiszűrésére is alkalmas módszer (McKinnon, Scollary, 1997).

A fordított ozmózis (RO) és a nanoszűrés (NF). Kis molekulasúlyú oldott anyagot tartalmazó oldatok szétválasztására alkalmazzák ezeket az eljárási módszereket. Kiemelten a szerves sók és kis szerves molekulák, mint glükóz vagy szacharóz elválasztása az oldószertől (víz). Az ultraszűrés és az RO/NF eljárás azonos elveken alapszik, a különbség ennek ellenére kézenfekvő. Az ultraszűrés és a nanoszűrés/fordított ozmózis között a különbség az oldott anyag méretében van. Tehát logikusan, az utóbbi membránok nagyobb hidrodinamikai ellenállással rendelkeznek, sőt a kisebb molekulasúlyú anyagok szabadon áramolhatnak keresztül az ultraszűrő membránon. Mivel ezen membránoknak nagy az ellenállása, ezért nagyobb nyomást kell létrehozni ahhoz, hogy az oldószer átáramoljon a membránon. Az alkalmazott nyomást még inkább meg kell növelni akkor, ha az ozmotikus nyomást is le kell küzdeni. Ezek figyelembe vételével az RO/NF eljárásokat a porózus membránokat használó (UF, MF) illetve a nem porózus membránokat használó (pervaporáció) membrántechnológiák közé illeszthetjük.

2.3.2 Membránszűrés jellemző mutatói

A fent említett membránok mindegyike jellemezhető különböző mérőszámokkal. Az egyik legfontosabb jellemző a hatékonyság és gazdasági számítások alapjának számító szűrlet (permeátum) fluxus:

$$J = \frac{V_p}{F * t} \quad (2)$$

J, a permeátum fluxusa tehát megadja, hogy mekkora permeátum mennyiség (V_p) halad át egységnyi membránfelületen (F), egységnyi idő alatt (t) [$m^3/(m^2h)$ vagy $L/(m^2h)$]

Hogy hogyan viselkedik egyes komponensekkel szemben a membrán, azt a membrán visszatartása határozza meg

$$R = \frac{c_r - c_p}{c_r} = 1 - \frac{c_p}{c_r} \quad (3)$$

Itt a c_r a sűrítmény koncentrációjának és a c_p a permeátum koncentrációjának arányát kapjuk meg adott komponensre nézve.

A szűrési folyamatok összehasonlításának alapja a sűrítési arány lehet. Azaz azonos sűrítési arány esetében lehetséges összehasonlításokat tenni.

$$f = \frac{V_f}{V_p} \quad (4)$$

A sűrítési arány tehát a betáplált elegy (V_f) és a permeátum térfogatának (V_p) arányát mutatja meg. Fontos jellemző még a kihozatal:

$$Y = \frac{V_p}{V_f} = \frac{(c_f - c_r)}{(c_f - c_p)} \quad (5)$$

ahol c_f - a betáp koncentrációja

c_r - a sűrítmény koncentrációja

c_p - a permeátum koncentrációja

2.3.3 A membránszűrés modellezése

Többféle modell született a membránszűrés folyamatának leírására, ezek közül az anyagátadási, az ellenállás- és az ozmózisnyomás-modell a legfontosabbak.

Anyagátadási modell

A keresztáramú ultraszűrés során az oldószer és az oldott anyag, ill. a szuszpendált részecskék a membrán felületével párhuzamosan áramlanak. Ekkor a transzmembrán-nyomáskülönbség (Δp_{TM}) hatására a pórusméretnél kisebb molekulák átjutnak a membránon, az annál nagyobbakat pedig a membrán visszatartja. Ezek a molekulák koncentrálnak. A koncentráció polarizáció folytán növekszik a membránellenállás, ezáltal csökken a permeátum áthaladási sebessége (fluxusa). Viszont ezzel párhuzamosan, tekintve, hogy a membrán felületén képződött molekularétegben a koncentráció lényegesen nagyobb, mint a szűrendő folyadék elegy főáramában, a koncentráció kiegyenlítődés érdekében az oldószer konvektív áramával szemben ellentétes irányú molekuláris diffúzió indul meg (Rautenbach 1997). A szűrés során kialakulhat a gélréteg – ennek koncentrációja állandó – ill. a határréteg, melynek c_M koncentrációja tart a gélréteg koncentrációjához.

Állandósult áramlási-, hőmérsékleti- és nyomásviszonyok esetén a két áramlás kiegyenlíti egymást.

$$J \cdot (c - c_p) = D \cdot \frac{dc}{dx} \quad (6)$$

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

$$J \int_0^\delta dx = D \cdot \int_{c_M}^{c_B} \frac{1}{c - c_p} \cdot dc \quad (7)$$

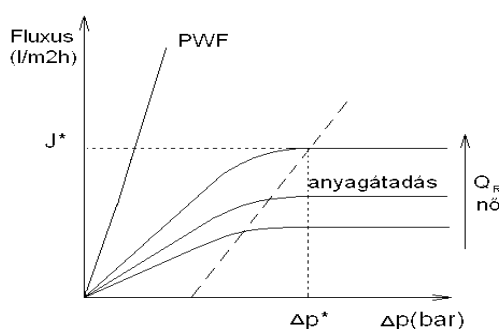
Integrálás és egyenletrendezés után a permeátum fluxusára a következő kifejezést kapjuk.

$$J' = \frac{D}{\delta} \cdot \ln \frac{c_M - c_P}{c_B - c_P} = k \cdot \ln \frac{c_M - c_P}{c_B - c_P} \quad (8)$$

ahol δ a hidrodinamikai határréteg vastagságát [m] jelöli, a $D/\delta=k$ érték pedig az anyagátadási együttható [m/s].

A recirkulációs áram növelésével az átáramló szűrlet sebessége növekszik, ezáltal a gélréteg ellenállása csökken egészen addig, míg a felületi koncentráció értéke el nem éri azt a határértéket, ahol az oldott anyag a membránon kirakódik. Az ekkor kialakuló gélréteg-koncentráció (c_G) a kiülepedett makromolekulákra jellemző konstans, így a hajtóerőtől függetlenné és a folyamatban állandóvá válik.

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



5. ábra: A fluxus változása a transzmembrán nyomáskülönbség függvényében tiszta víz (PWF, pure water flux) és oldatok esetében

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

$$J' \cdot c = D \cdot \frac{dc}{dx} \quad (9)$$

A differenciál-egyenlet szeparálását követően a koncentráció esetében az integrálás felső hataraként a már kialakult gélkoncentrációt választhatjuk meg. Egyenletrendezés után a szűrletteljesítményre kapjuk az összefüggés végső megoldását, ahol, mint előbb, $k=D/\delta$.

$$J' \cdot \int_0^{\delta} dx = D \cdot \int_{c_B}^{c_G} \frac{1}{c} \cdot dc \quad (10)$$

$$J' = \frac{D}{\delta} \ln \frac{c_G}{c_B} = k \cdot \ln \frac{c_G}{c_B} \quad (11)$$

Ha a betáplált elegy árama állandó koncentrációjú ($c_B = \text{áll.}$), akkor az egyenletben a koncentrációhányados is állandó, így a szűrletteljesítményt elsősorban az áramlási viszonyoktól függő anyagátadási tényező befolyásolja. Az anyagátadási tényező a szűrendő elegy fizikai tulajdonságainak is függvénye, de mivel ezek az értékek állandó hőmérsékleten közel állandónak tekinthetők, így elsősorban a membránmodul geometriai jellemzői a meghatározók.

A β definiálható koncentráció-polarizációként:

$$\beta = e^{\frac{J'}{k}} = \frac{c_M - c_P}{c_B - c_P} \quad (12)$$

A k anyagátadási tényezőt a Sherwood-számból számíthatjuk, mely függ a modul geometriai tulajdonságaitól, valamint a betáplált elegy anyagi jellemzőitől. Az áramlási viszonyok ismeretében határozhatjuk meg Sherwood-számot a (12) összefüggés segítségével lamináris és turbulens esetben. Átmeneti tartományra nem található az irodalomban képlet, ezért a lamináris és turbulens tartományra érvényes képlet konstansait határozzuk meg mérési adatok alapján modellezéssel, vagy a hőtani analógia alkalmazásával állíthatunk fel új összefüggést (MULDER 1997, CHERYAN 1998, FALTIN 1970):

Lamináris és turbulens:

$$Sh = \frac{k \cdot d_e}{D} = a \cdot Re^b \cdot Sc^c \cdot (d/L)^c \quad (13)$$

Ellenállás-modell

Az ellenállás-modell MF, UF és részben NF esetére is alkalmazható. RO membránoknál a molekulák között egyéb kölcsönhatás is van és gyakran jelentős ozmózisnyomással is számolni kell (Rautenbach 1997).

Az ellenállás-modell az Ohm törvény mintájára (Cheryan 1998):

$$J' = \frac{\Delta p'_{TM}}{R_M + R_P + R_F} \quad (14)$$

ahol $R_P = R_G + R_H$:a polarizációs réteg ellenállása [Pas/m], mely a gélréteg és a határréteg ellenállásának összege, R_M : a membrán ellenállása, valamint R_F : az eltömődésből eredő ellenállás.

Ionmentes vízzel végezve a membránszűrést nem keletkezik gélréteg ($R_G=0$) és elhanyagolható a határréteg ellenállása ($R_H \cong 0$), ezért

$$J'_{\text{víz}} = \frac{\Delta p'_{TM}}{R_M} \quad (15)$$

Ha oldatot szűrünk, úgy kialakul R_p+R_F ellenállás, amely több változó függvénye

$$R_p + R_F = f(\Delta p_{TM}, Q_R, c_B, T, \eta) \quad (16)$$

Q_R - recirkulációs térfogatáram

c_B - főtömeg koncentráció

T -hőmérséklet

η -dinamikai viszkozitás

Amennyiben $Q_R=$ áll, $c_B=$ áll, $T=$ áll, és a szűrlet viszkozitásával számolunk, akkor a membránellenállás és a polarizációs ellenállás és az eltömődésből adódó ellenállás összege gyakorlatilag független lesz a hőmérséklettől:

$$J' = \frac{\Delta p'_{TM}}{\eta(R'_M + R'_p + R'_F)} \quad (17)$$

ahol η - a szűrlet viszkozitása [Pas],

és R'_M , R'_p ill. R'_F mértékegysége [1/m].

Ozmózisnyomás-modell

Az ellenállásmodellben eredetileg szerepelt a $\Delta\pi$ ozmózisnyomás, de feltételezve, hogy a transzmembrán nyomáskülönbséghez képest az értéke elhanyagolható, így az ellenállásmodell egyszerűsödött. A további kutatások során azonban bebizonyosodott, hogy sok esetben, pl. must koncentrálsánál (Rektor et al. 2004, Rektor és Kozák 2004) az ozmózisnyomás meghatározó jelentőségű lehet a membránszűrés során (Cheryan 1998).

Így az ozmózisnyomás-modell a szűrlet teljesítményt a transzmembrán-nyomáskülönbség és a membrán két oldala közötti ozmózisnyomás-különbség különbségeként értelmezi (Cheryan 1998):

$$J' = K_M \cdot (\Delta p'_{TM} - \beta \cdot \Delta\pi) \quad (18)$$

ahol K_M - a membrán permeabilitása [m/(kPas)], továbbá $K_M = 1/R_M$;

$\Delta\pi$ - az ozmózisnyomás különbség [kPa],

β - a koncentráció-polarizáció

J' - a szűrletteljesítmény [m/s].

Az ozmózisnyomás különbség a van't Hoff törvény alapján írható fel (Mulder 1997):

$$\Delta\pi = (c_R - c_P) \cdot R \cdot T \quad (19)$$

ahol c_R - a retentátum koncentrációja [kmol/m³],

c_P -a permeátum koncentrációja [kmol/m³],

R - az egyetemes gázállandó = 8,314 kJ/(kmol K)

T - a szűrés hőmérséklete [K].

Behelyettesítve a következő kifejezéshez jutunk:

$$J = \frac{\Delta p'_{TM}}{R_M} - \beta \cdot \frac{(c_R - c_P) \cdot R \cdot T}{R_M} \quad (20)$$

ahol a $\Delta p'_{TM}/R_M$ kifejezés a membránszűrés ellenállás modellje alapján a tiszta víz fluxusa azonos körülmények között mérve.

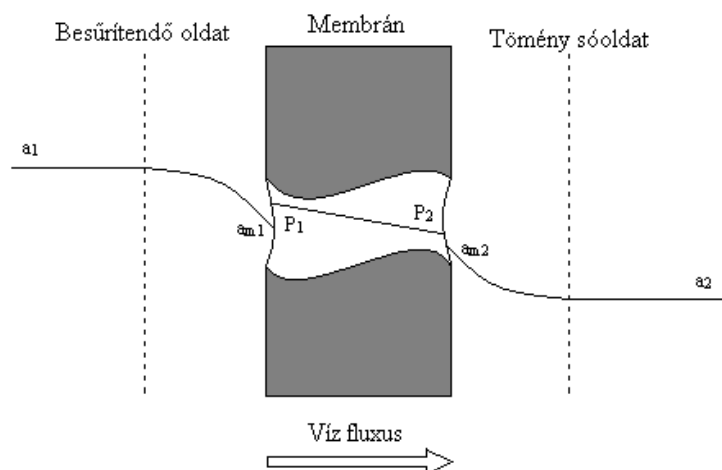
2.3.4 Ozmotikus desztilláció (OD)

Az anyagátadási membránműveletek közül az ozmotikus desztilláció bemutatására térek ki, mivel kutatásai során ezt a műveletet használtam.

Az ozmotikus desztilláció, más néven ozmotikus evaporáció, vagy membrán evaporáció egy viszonylag modern eljárás (Lefebvre, 1988), amely sikeresen alkalmazható folyékony élelmiszerek, mint például tej, gyümölcs- és zöldséglevék, instant kávé és tea, valamint nem élelmiszer jellegű vizes oldatok besűrítésére, koncentrálására. Ezzel a művelettel atmoszférikus nyomáson és szobahőmérsékleten vonhatjuk ki a vizet különböző vizes oldatokból, anélkül, hogy az oldatokban lévő értékes komponensek (pl. gyümölcslevék vitamintartalma) sérülnének. Így elkerülhető például a hőbomlás, ami bepárlással történő besűrítésénél jelentkezik.

Az ozmotikus desztillációhoz mikroporózus hidrofób membránokat használnak, ezzel választják el a két, folyamatosan cirkuláltatott, különböző koncentrációjú oldatot: egy besűrítendő híg oldatot és egy nagy koncentrációjú sóoldatot (használt ozmotikus oldatok: glicerin, NaCl, CaCl₂, MgSO₄, K₂HPO₄). Ha az alkalmazott nyomás alacsonyabb, mint a víznek a membrán pórusain történő átjutásához szükséges nyomás, akkor a membránt az oldatok nem nedvesítik. Az oldatok közötti koncentráció különbség, ami egyben vízaktivitás különbség is gőznyomáskülönbséget okoz a gőz-folyadék határfelületen, és ennek következtében gőzáram indul meg a membránon keresztül a hígabb oldatból a töményebb oldat felé. Tehát a membránon áthaladó vízáramot három lépésben foglalhatjuk össze (Courel et al., 2000):

- a víz elpárolgása a híg oldali gőz- folyadék határfelületen;
- a vízgőz átjutása a membrán pórusain diffúzióval;
- a vízgőz kondenzációja a tömény oldat oldali gőz-folyadék határfelületen.



6. ábra: Az ozmotikus desztilláció elvi folyamatábrája

A gőznyomás különbség hatására meginduló vízgőz fluxus (J_w) arányos a membrán két oldalán áramló két oldat főtömegének a vízaktivitás különbségével ($a_1 - a_2$) és az anyagátbocsátási együtthatóval (K):

$$J_w = K(a_1 - a_2) \quad (21)$$

Összehasonlítva az ozmotikus desztillációt a fordított ozmózissal és a membrán desztillációval, azt tapasztaljuk, hogy az OD-val kíméletesebben és nagyobb mértékben be lehet töményíteni az oldatokat, mivel míg az RO esetében hasonlóan tömény oldatok előállításához nagyon nagy ozmózisnyomást kellene leküzdeni, addig a membrán desztillációval előállított hasonló töménységű oldatoknál fennáll az értékes anyagok hőbomlásának a veszélye (Jiao et al., 2004).

2.3.5 Membránszűrés alkalmazása

A membránszűrés élelmiszeripari alkalmazása sokrétű, melyek felsorolását a következő lista mutatja.

Élelmiszeripari és gyógyszeripari alkalmazások:

- savóból fehérje és tejcukor kinyerése
- sovány és teljes tej, továbbá savó koncentrátumok előállítása
- fehérjeoldatok, tojás, vérplazma koncentrációja és tisztítása (vörösvérsejt elválasztás, a vér albumin és globulin frakciójának sóatlanítása)
- enzimmel feltárt hatóanyagok oldatainak tisztítása és koncentrációja
- zselatin kis hőmérsékletű koncentrációja és hamumentesítése

- gyümölcs- és zöldséglevék besűrítése, tükrösítésére
- folyékony élelmiszerek, cukorlevék tisztítása és mikrobamentesítése
- szennyvíztisztításra
- ivóvíztisztításra
- enzimek és más hőérzékeny anyagok tisztítása, koncentrálása
- gyógyszerkoncentrátumok kialakítása (Demeczky et al, 1978).

Számos szakcikk foglalkozik az alkalmazási területeken folyó kutatásokkal, fejlesztésekkel. Egyre több, nemcsak élelmiszeripari, cég alkalmaz ultra-, nanoszűrő és fordított ozmózis membránokat szennyvíztisztításra, amelyek gyakran toxikus vegyszereket is tartalmaznak (Bessarabov et al., 2002), kazán- és egyéb lágy víz előállításra.

Ultraszűrést alkalmaznak ezeken kívül a tejiparban a savófehérjék kinyerésére, besűrítésére akár teljes értékű, akár fölözött tejből, ezek a sajtgártás szempontjából is gazdaságos eljárások. Ultraszűrővel végzik a tojásfehérje besűrítését, így a végtermék megőrzi saját, a sütőipar által igényelt tulajdonságait. A gyümölcsléiparban is régóta elterjedt az eljárás, leggyakrabban a tiszta gyümölcs sűrítmény, illetve a levek tükrös szűrésére használják.

A nanoszűrést és a fordított ozmózist elsősorban hőérzékeny és bomlékony anyagok besűrítésénél alkalmazzák, azonban jelentős piacot képviselnek a fent említett vízkezelésben is. Gyógyszeripari termékek, zamatanyagok, élelmiszer alkotórészek, esszenciák, természetes kivonatok és ezekhez hasonló anyagok híg oldatai koncentrálnak környezeti hőmérsékleten, egészen 30%-os koncentrációig. Az eljárást a gyümölcsléipar elsősorban aroma visszanyerésre és levek sűrítésére használja. A sűrített gyümölcslevek már 1945-ben megjelentek a piacon, mivel lényeges volt az alacsonyabb szállítási, csomagolási és tárolási költségek elérése. Ezen anyagi mutatók mellett lényeges a beltartalmi értékek megtartása. Ez az oka a membránszűrés elterjedésének a gyümölcslé feldolgozásban (Álverez et al., 2000).

3. CÉLKITŰZÉSEK

Méréseimet két nagy témakörben végeztem. Céлом egyrészt egy nagyon közkedvelt ital, az instant kávépor gyártásához egy alternatív, gazdaságosabb módszer kidolgozása nanoszűrés és fordított ozmózis alkalmazásával, mely során az instant kávé alapját adó kávé sűrítményt állítom elő, mivel a membránszűrés kíméletesebb, mint a jelenleg alkalmazott bepárlás.

Továbbá feladatomban tűztem ki a homoktövis lé besűrítését, mely sűrítmény adja a további feldolgozás alapját. A homoktövis értékes komponenseit szintén membránszűrés segítségével szeretném megőrizni és feldúsítani a végsűrítményben. Mivel a homoktövis lé olajos, sűrű anyag, így kísérleteim során megpróbálkozom az előszűrés nélküli, és az előszűrt lé besűrítésével több lépcsőben. A méréseim során előszűrésre mikro- és ultraszűrést, elősűrítésre nanoszűrést és fordított ozmózist, míg végsűrítésre ozmotikus desztillációt alkalmazok. A membránszűréssel gazdaságosabb módon állíthatjuk elő a végsűrítményt, mint az iparban használt vákuum bepárlás.

Céлом még a folyamatok matematikai modellezésének elvégzése, illetve fontosnak tekintem a fentiek alapján a membránszűrések gazdaságosságának bizonyítását.

Kísérleteimben a következő részcélokat igyekszem megvalósítani:

1. Kávé extraktum besűrítésére irányuló kísérletek:

- megfelelő műveleti paraméterek kiválasztása több térfogatáramon, nyomáson és hőmérsékleten elvégzett kísérletek alapján nanoszűrő és fordított ozmózis membránon;
- a kiválasztott műveleti paraméterek mellett a laboratóriumi kísérletek elvégzése.

2. Homoktövi lé besűrítési kísérletek:

- előszűrés nélküli homoktövis lé besűrítésének vizsgálata nanoszűréssel és fordított ozmózissal;
- előszűrés hatásának vizsgálata a homoktövis lé besűrítésére, mely magában foglalja a mikroszűrés és az ultraszűrés vizsgálatát, mint lehetséges előszűrési membrán műveletek;
- az előszűrt lé tovább sűrítése nanoszűréssel, és fordított ozmózissal a megfelelő műveleti paraméterek kiválasztása után;
- a elősűrített lé végsűrítése ozmotikus desztillációval az optimális műveleti paraméterek mellett;

- analitikai vizsgálatok elvégzése.

3. Modellezés:

- az ozmózis nyomás meghatározása a Van't Hoff összefüggés segítségével a kávé extraktum és a homoktövis lé esetében a nanoszűréssel és fordított ozmózissal végzett besűrítési kísérletek alapján.

4. Gazdaságossági elemzés:

- kávé extraktum besűrítéseinek gazdaságossági elemzése, az eredmények összehasonlítása;
- homoktövis lé komplex besűrítésének gazdaságossági elemzése.

4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Tudományos dolgozatom elkészítése során többféle mikro-, ultra-, nanoszűrő, fordított ozmózis, valamint ozmotikus desztillációs membránon végeztem kísérleteimet. Ezek legfontosabb paramétereit a 4. számú táblázatban foglalom össze.

4.1 Kávé extraktum besűritése

4.1.1 Felhasznált anyagok

- ionmentes víz, melyet a membránok kondicionálására, a tiszta vízfluxus meghatározására és a membrán tisztításra használtam
- csapvíz, melyet a kávé extraktum elkészítéséhez használtam
- a kereskedelemben kapható Tchibo Family fantázianevű kávé

4.1.2 A kísérletekhez használt membránok és berendezések [M5 (NF), M8 (RO)]

A méréseket először a 64 %-os sóvisszatartású nanoszűrő membránon (M5) végeztem el, majd a kísérleteket megismételtem egy 99,8 % sóvisszatartású fordított ozmózis membránon (M8), mivel a nanoszűrés során keletkezett szűrlet tartalmazott aromakomponenseket.

A nanoszűrő membrán (M5) aktív membrán felülete $0,047 \text{ m}^2$, míg a fordított ozmózis membráné (M8) $0,3 \text{ m}^2$ volt.

A 7. számú ábra szemlélteti a laboratóriumi méretű lapmembrános készüléket, melyben a DOW Filmtec cég NF 45 típusú nanoszűrő membránját (M) használtam. A berendezésnél a maximálisan alkalmazható nyomásérték 30 bar, a maximális térfogatáram pedig 1000 L/h volt. A készüléket az Élelmiszeripari Műveltek és Gépek Tanszék a Chemitechnik Pharma és a Hidrofilt Kft.-vel együtt működve fejlesztette ki.

A mérések kezdetén a folyékony kávé az 1. számú táptartályba töltöttem, ahonnan a 2. számú membránszivattyú juttatta a folyadékot a membránra (3). A besűrités során a szűrletet folyamatosan elvezettem a membránról, míg a sűrítményt egy rotaméteren (6) keresztül visszavezettem a táptartályba. A nyomást az 5. számú szabályozó szeleppel állítottam be. A recirkulációs térfogatáram beállítását a szivattyút működtető motor fordulatszámának állításával oldottam meg.

A mérések során az állandó hőmérsékletet egy spirál-tekercs hűtővel biztosítottam, melyet a táptartályban helyeztem el, és benne csapvizet keringtettem.

ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

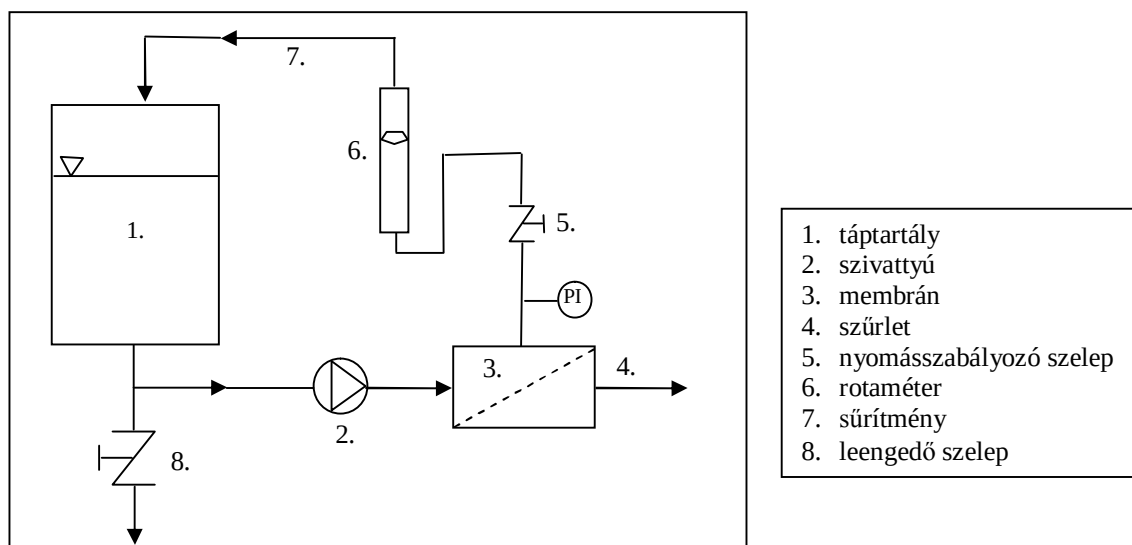
4. táblázat: Kísérletekhez használt membránok paraméterei

Folyamat	Kísérleti anyag(ok)	Membrán		Gyártó	Anyag	Kialakítás	Vágási érték; kDa/ NaCl visszatartás; % / pórusméret; μm	Tiszta víz fluxusa $\text{L}/(\text{m}^2\text{h})$ 25 °C
		Kód	Típus					
MF	homoktövis	M1	TI-192545	Pall	Al_2O_3	cső	0,45 μm	11664*
UF	homoktövis	M2	PAEK-100	Berghoff	PAEK	cső	100 kDa	1009*
NF	kávé	M5	XN 45	Filmtec/Dow	poliamid	lap	64 %	130**
NF	homoktövis	M6	R75A	Millipore	poliamid	spirál tekercs	85 %	50**
RO	kávé/homoktövis	M8	R15A	Millipore	poliamid	spirál tekercs	99,8 %	30**
OD	homoktövis	M10	020 CP 2N	Microdyn	polipropilén	kapillárcső	0,2 μm	-

* 5 bar transzmembrán nyomáskülönbségnél mérve

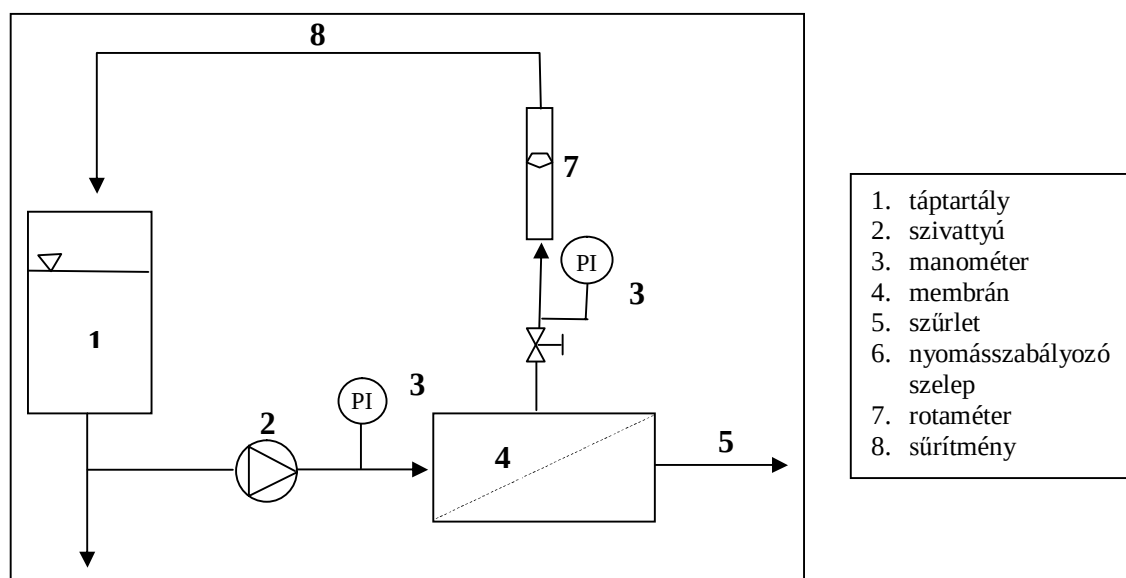
** 30 bar transzmembrán nyomáskülönbségnél mérve

PAEK-poliariléterketon



7. ábra: A kávé extraktum besűrítéséhez használt nanoszűrő berendezés folyamatvázlata

A fordított ozmózissal elvégzett kísérletekhez a MILLIPORE laboratóriumi membránberendezését (M8 jelű membrán) használtam. A maximálisan alkalmazható nyomásérték 40 bar, míg a maximális recirkulációs térfogatáram 200 L/h volt. A berendezés elvi vázlata a 8. számú ábrán látható.



8. ábra: A kávé extraktum besűrítéséhez használt fordított ozmózis berendezés folyamatvázlata

A berendezés működési elve ugyanaz, mint a nanoszűrő berendezésé: a táptartályból szivattyú segítségével juttatom el a szürendő anyagot a membrán felületére, ahol keresztirányú áramlás valósul meg. A sűrítmény egy rotaméteren keresztül visszajut a tartályba, míg a szűrletet folyamatosan elvezetjük a rendszerből. A berendezésen két manométer található, melyek

segítségével meghatározható a transzmembrán nyomáskülönbség, Az állandó hőmérséklet biztosítása a tartálynak köpenyterében keringtetett hideg csapvízzel történt.

4.1.3 A kávé extraktumhoz és a sűrítményhez kapcsolódó analitikai mérések

Az instant kávé esetében nagyon fontos a kapott sűrítmény szárazanyag tartalma. A szárazanyagtartalom meghatározása a további szárítás elvégzéséhez szükséges.

A minták **szárazanyag tartalmát** szárítószekrény, ill. refraktométer segítségével határoztam meg.

A vízzoldható szárazanyag tartalmát a Magyar Élelmiszerkönyv 3-1-558/93 előírásai szerint Zeiss-Abbé-féle refraktométeren mértem, az értékeket a műszer skálájáról %-ban olvastam le. Mérés előtt a műszert desztillált vízzel kalibráltam.

A szárításon alapuló nedvességtartalom-meghatározás közvetett módszer, mivel a minta tömegcsökkenése alapján következtetünk a távozó nedvesség tömegére.

A mérés menete:

- a minta előkészítése az elemzéshez (mintavétel, homogenizálás);
- a vizsgálathoz használt eszközök előkészítése (mosás, izzítás, hűtés, mérés);
- az anyag tömegének mérése;
- szárítás (105 °C-on 4-6 órán keresztül, vagy 130°C-on 1 órán keresztül, tömegállandóságig);
- hűtés;
- mérés;
- értékelés.

4.2. 100 %-os homoktövis-lé besűrítése

4.2.1 Felhasznált anyagok

- ionmentes víz, melyet a membránok kondicionálására, a tiszta vízfluxus meghatározására és a membrán tisztítására használtam
- a fajszi BIO-DROG-BERTA Kft. általa készített 100 % gyümölcstartalmú lé, és az ültetvényéről származó friss homoktövis bogyó

4.2.2 Laboratóriumi membránszűrési kísérletek

A méréseket fagyasztott bogyóból enyhe hőkezeléssel készült lével és friss bogyóból préselt lével is elvégeztem. A levek tartalmazták a rostanyagokat, de egyéb lebegő anyagokat (héj, mag

maradékok) nem. Ezeket durva előszűréssel távolítottam el az általam préselt léből, illetve hasonlóan jártak el a Bio-Drog-Berta Kft-nél is.

Méréseim során kísérletet tettem a levek előszűrésére mikroszűrő- (M1) és ultraszűrő (M2) membránokkal, így eltávolítva a léből a lebegő anyagokat, rostokat, és az előszűrés után végeztem el a levek besűrítését nanoszűrő (M6) és fordított ozmózis membránokon (M8).

A frissen préselt lé esetében elvégeztem a lé végsűrítését is ozmotikus desztilláció (M10) segítségével.

A berendezésekbe helyezett új membránokat az első használat előtt ioncserélt vízzel kondicionáltam, mivel azokat szárazon tartjuk a mérések között.

A kondicionálást követően előkísérleteket végeztem, hogy meghatározhassam a szűrési és besűrítési kísérletek során alkalmazott mérési paramétereket. Ennek keretében az egyes berendezések ismert, gyártó által ajánlott működési paramétereinek alsó és felső határán belül végeztem méréseket.

Minden mérés előtt meghatároztam a membrán tisztavíz fluxusát, amely módszer segítségével a legkönnyebben ellenőrizhető a membrán tisztasága, valamint a későbbi membránellenállás számításokhoz is adatokkal szolgál. A mérés menete minden egyes készüléknél ugyanaz volt: többször mértem a 2-4 perc alatt összegyűlt szűrlet mennyiségét és a membrán felületét ismerve kiszámoltam a vízfluxust.

A következő lépésben beletöltöttem a berendezés tartályába a homoktövis levet, és megmértem a homoktövis fluxusát, így meghatározva a szűréshez és besűrítéshez szükséges működési paramétereket. Az előkísérletek során a hőmérsékletet állandó értéken tartva, a nyomást változtatva, különböző recirkulációs térfogatáramokon végeztem méréseket. Az állandó hőmérsékletet vízhűtéssel, a nyomást nyomásszabályozó szeleppel, a térfogatáramot a motor fordulatszámával állítottam be.

A mikroszűrő berendezést az Élelmszeripari Műveletek és Gépek Tanszékén fejlesztették ki, melyben a mikroszűrő membrán aktív felülete $0,125 \text{ m}^2$ volt, a maximálisan alkalmazható transzmembrán nyomáskülönbség 4 bar, a recirkulációs térfogatáram pedig 500 L/h.

Az ultraszűrő berendezést a Hidrofilt Kft. építette ki. Az ultraszűrő membrán felület $0,41 \text{ m}^2$, maximálisan beállítható transzmembrán nyomáskülönbség 6 bar, míg a térfogatáram 2000 L/h volt.

4.2.2.1 Szűrési/besűrítési kísérletek MF, UF, NF és RO modulokkal

Az előszűrt leveket nanoszűrés és fordított ozmózis segítségével sűrítettem tovább. A besűrítéshez a 4.1.2. számú fejezetben ismertetett Millipore berendezést (kávé RO) használtam. Mindkét membrán $0,3 \text{ m}^2$ aktív szűrőfelületű volt. A berendezésnél alkalmazható maximális nyomásérték 40 bar, míg a maximálisan alkalmazható recirkulációs térfogatáram 200 L/h volt.

A kísérlethez használt homoktövis levet a táptartályba öntöttem. A megfelelő transzmembrán nyomáskülönbséget nyomásszabályozók segítségével állítottam be. A levet szivattyúval juttattam a membránmodulra. A szivattyú fordulatszámának változtatásával lehetett a retentátum recirkulációs térfogatáramát beállítani, amelyet a rotaméterről olvastam le.

A vízfluxus és a homoktövis fluxus mérése után következett a lé besűrítése a kiválasztott paraméterekkel, állandó nyomáson, állandó térfogatáramon és állandó hőmérsékleten.

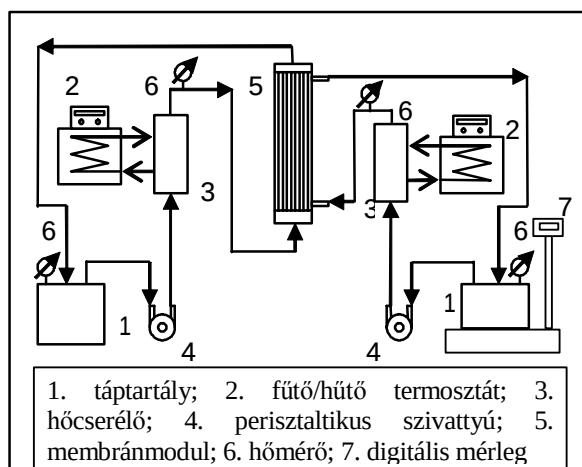
A keletkezett permeátumot egy mérőhengerben fogtam fel, és 500 ml-ként mintát vettem. A minták szárazanyag tartalmát a mérés közben egy digitális, kézi refraktométerrel ellenőriztem; erre azért volt szükség, hogy a mérés folyamán kellő tájékoztatást kapjak a szűrés/besűrítés pillanatnyi helyzetéről. A keletkezett termékek tényleges szárazanyag tartalmát szárítószekrényben történő szárítással, szabványban meghatározott módszerrel is meg kellett mérnem, mivel a gyorsmódszer értékét sok tényező befolyásolhatja.

A folyamatot addig végeztem, amíg a berendezés üzemeltetési határai engedték. A művelet végét jelentette egyrészt, ha a tartályban annyira lecsökkent a retentátum mennyisége, hogy a szivattyú levegőt szívott be, valamint ha a hőmérséklet megemelkedett a sűrítmény koncentrációjának növekedésével.

Mérési hibát okozott a leolvasás pontatlansága, a berendezésben maradó anyag, esetleg a berendezés meghibásodása.

4.2.2.2 Végsűrítés ozmotikus desztillációval

A végsűrítéshez használt ozmotikus desztillációs berendezésben egy 0,2 μm pórusméretű, 0,5 mm falvastagságú membránnal, 0,1 m^2 felületű, laboratóriumi kapillárcsöves modullal felszerelt egységet használtam. A modulban 40 darab kapilláris csövecske található, amelyek belső átmérője 1,8 mm, külső átmérője 2,8 mm. A modul hossza 0,5 méter. A berendezés elvi folyamatábrája a 9. sz. ábrán látható.



9. ábra: A homoktövis lé végsűrítéséhez használt ozmotikus desztillációs berendezés folyamatvázlata

A kísérlethez két oldatot használtam: egy kb. 60%-os töménységű kalcium-klorid oldatot, és a koncentrálandó homoktövis levét. A 11. sz. ábra alapján a két oldat a táptartályokból (1) szabályozható fordulatszámú perisztaltikus szivattyúkon keresztül jutott a modulra (5), ahol a koncentráció különbség hatására kialakult gőznyomáskülönbség segítségével a homoktövis léből a gőzök a CaCl_2 oldatba kerültek.

A desztillátum tömegének pontos méréséhez egy Sartorius PMA 7500-as digitális mérleget (7) alkalmaztam, így automatikus, számítógépes adatrögzítéssel végeztem a mérést.

A membránszűréshez hasonlóan ebben az esetben is végeztem előkísérletek keretében fluxusmérést, de ebben az esetben nem térfogatot, hanem tömeget mértem, tehát az egységnyi idő alatt és felületen átdiffundált víz mennyiségét jelenti a fluxus.

A mérés első lépéseként tömény, körülbelül 60 %-os CaCl_2 oldatot készítettem, ebből kimértem 300 g-ot egy műanyag edénybe, és a mérlegre helyeztem. A másik edénybe desztillált vizet raktam. A perisztaltikus szivattyú fordulatszám szabályozójával beállítottam a megfelelő térfogatáramot, és a termosztátok segítségével felmelegítettem a rendszert a megfelelő hőmérsékletre (20 vagy 30°C-ra). Elindítottam a számítógépes adatrögzítő programot, amely 30 másodpercenként feljegyezte a sóoldat tömegét. A fluxusmérés során mértem, hogy mennyi idő alatt diffundált át 20 g víz a sóoldatba, vagyis mértem a tömeg időbeni változását.

A méréseket 1000 g sóoldat elkészítésével kezdtem, majd digitális szárazanyag tartalom mérővel meghatároztam a kiindulási sóoldat koncentrációját. Ezután meghatároztam a homoktövis sűrítmény koncentrációját, majd kimértem a mérleg segítségével 500 g-ot. Az oldatokat üvegedénybe töltöttem és a termosztát segítségével felmelegítettem.

A szivattyúkkal beállítottam a térfogatáramot, és megvártam az állandósult állapot elérését. A programot akkor indítottam, amikor a mérleg már jelezte a tömegváltozást. A mérés végén szárítószekrényben történő szárazanyag meghatározást végeztem.

4.2.3 A homoktövis léhez és a sűrítményhez kapcsolódó analitikai mérések

Összes titrálható savtartalom meghatározása. Az összes savtartalmat az MSZ 3619-1983 szabványnak megfelelően lúgos titrálással határoztam meg, az eredményeket almasavban kifejezve savtartalom %-ban adtam meg.

pH-érték mérése. A minták pH-értékének vizsgálatát automata, *HACH Sension 156* típusú pH-mérő készülékkel végeztem el.

Összfenol tartalom meghatározása. Az összfenol tartalmat Singleton és Rossi módszerével (1965) spektrofotometriás úton, $\lambda = 760$ nm-en Folin-Ciocalteu reagenssel határoztam meg. A galluszsavra vonatkoztatott fenoltartalmat $\mu\text{g/mL}$ -ben adtam meg.

Antioxidáns kapacitás meghatározása. A vizsgált minták összantioxidáns aktivitásának meghatározásához Benzie és Strain módosított módszerét (1966) alkalmaztam. A módszert eredetileg a plazma antioxidáns kapacitásának meghatározására dolgozták ki (FRAP= Ferric Reducing Ability of Plasma). A FRAP lényege, hogy a ferri- (Fe^{3+}) ionok az antioxidáns aktivitású vegyületek hatására ferro- (Fe^{2+}) ionokká redukálódnak, amelyek alacsony pH-n a trypiridil-triazinnal (TPTZ= 2,4,6-trypiridil-s-triazin) komplexet képezve színes terméket adnak (ferro-trypiridil-triazin). Az összantioxidáns kapacitást spektrofotometriás úton, $\lambda = 593$ nm-en, aszkorbinsav kalibrációs görbe segítségével határoztuk meg. Az eredményeket mMAS/L-ben adtam meg.

Ásványi anyag tartalom meghatározása. Az ásványi anyag tartalom meghatározása ICP–OES Thermo Jarell Ash készülékkel történt. Az eredeti friss préselt lé, a hőkezelt lé és az összes sűrítmény ásványi anyag tartalmát mértem meg.

A méréshez szükséges mintaelőkészítés:

A minták Petri-csészébe töltve liofilizálásra kerültek egy Leybold GT-2 készülékben. A liofilezés paraméterei a következők voltak:

- fűtési hőmérséklet: $40\text{ }^{\circ}\text{C}$
- kondenzáció hőfoka: $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$
- maradék víztartalom: 1,2-1,5 %.

A liofilezett minták feloldását követően kezdődhetett az ICP-vizsgálat.

Az eredmények kiértékelése során az eredeti minták szárazanyag-tartalmát figyelembe véve $\mu\text{g/kg}$ -ban kaptam meg az elemösszetételre vonatkozó adatokat.

Sűrűségmérés. A sűrűségmérés egy kapillárcsöves *ANTON PAAR DMA 4500* típusú, automata, digitális kijelzésű mérőberendezésen történt.

Viszkozitás mérés. A viszkozitás értékeket egy vibrációs elven működő, *Sine wave vibro viscosimeter SV10* típusú automata berendezéssel határozták meg a Szegedi Tudományegyetem Élelmiszeripari Főiskolai Karán.

4.3 A membránok tisztítása

A besűrés előrehaladtával a fluxus egyre jobban csökken, ami a membrán eltömődéséből, a polarizációs gélréteg kialakulásából adódik. Ez nagy mértékben lassítja a mérést, ezért fontos minden mérés után a membrán visszamosása, regenerálása.

Elsőként a membránokat közel egy órán át minimális nyomás mellett, magas térfogatáramon desztillált vízzel mostam át, többszöri vízcserével mindaddig, amíg tiszta nem maradt a víz.

A vegyszeres tisztítás műveletét több lépcsőben, különböző vegyszerekkel végeztem el. A mosáshoz lúgos kémhatású 0,2 m/m %-os nátrium-hidroxid oldatot és savas kémhatású 2 m/m %-os citromsav oldatot használtam fel. A mosást 1-1 órán át végeztem, sav-lúg-sav oldatcserékkel. A savas és lúgos oldatok cseréjét mindig fél órás desztillált vizes öblítés követte. A membrán megfelelő tisztaságának ellenőrzése érdekében folyamatosan elvégeztem a víz fluxusának megállapításához szükséges méréseket. A tisztítást addig végeztem, míg a vízfluxus meg nem egyezett a mérés előtti vízfluxussal. A megismételt szűrési és besűrés kísérletek közben is elvégeztem a fent említett membrántisztítási műveletet, így biztosítva azt, hogy a különböző mérések során a membrán szennyeződése ne befolyásolja a kísérleti eredményeket.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

5. 1. Kávé extraktum besűrítésének vizsgálata

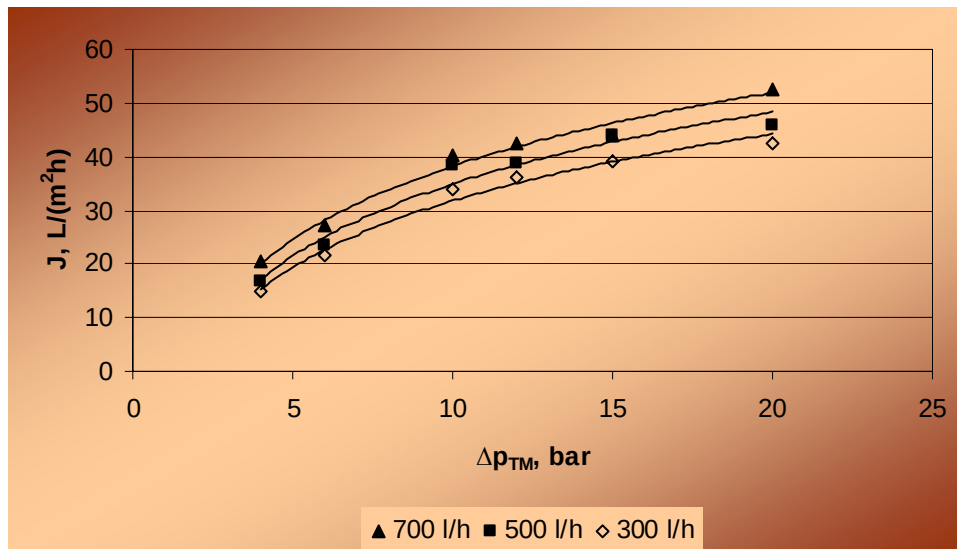
A kávé extraktum besűrítésére különböző membránszűrési eljárásokat alkalmaztam. Mivel az extraktum előszűrést nem igényelt, így azt előkészítés nélkül sűrittem be nanoszűrés és fordított ozmózis segítségével, azt vizsgálva, hogy a membránszűrési eljárások közül melyik alkalmas, illetve melyik gazdaságosabb a kávé extraktum szárazanyag tartalmának növelésére.

Mindkét esetben vizsgáltam a különböző műveleti paraméterek – transzmembrán nyomáskülönbség, recirkulációs térfogatáram, hőmérséklet – hatását a permeátum fluxusára, illetve a besűrítésre. Az optimális műveleti paraméterek meghatározásához előkísérleteket végeztem, melyek során különböző, de adott mérés alatt állandó recirkulációs térfogatáram és hőmérséklet értékek mellett a transzmembrán nyomáskülönbség értékeket változtatva határoztam meg a permeátum fluxusát.

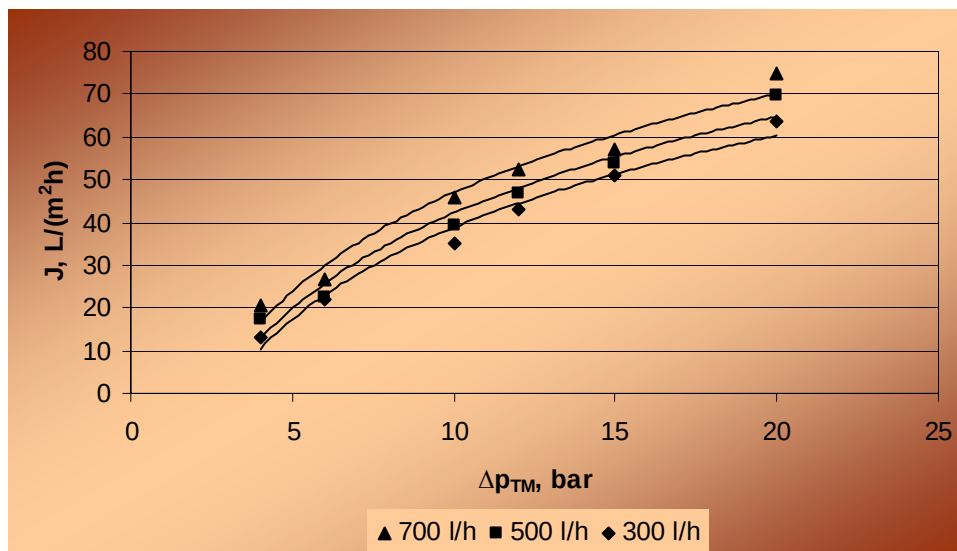
5.1.1 Nanoszűrés alkalmazása a kávé extraktum besűrítésére

A kávé extraktummal végzett kísérletek során először a nanoszűrés lehetőséget vizsgáltam. A műveleti paraméterek közül először a hőmérséklet és a recirkulációs térfogatáram hatását vizsgáltam: méréseket végeztem állandó hőmérsékleten (28, 32 és 42 °C), különböző recirkulációs térfogatáramok és transzmembrán nyomáskülönbség beállítása mellett. Az állandó hőmérsékletet a táptartályba helyezett csőkiágásban áramló hűtővíz segítségével biztosítottam és hőmérővel ellenőriztem.

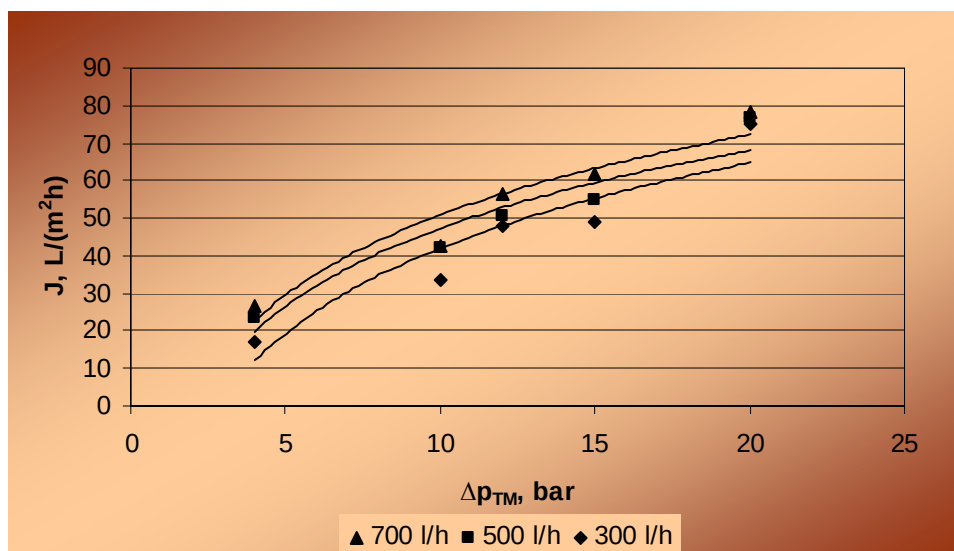
A 1-3. számú diagramok ezen kísérletek eredményeit mutatják. Mindhárom diagramon látható, hogy magasabb recirkulációs térfogatáramon magasabb fluxus értékeket érhetünk el, amennyiben a transzmembrán nyomáskülönbséget folyamatosan növeljük. A legmagasabb fluxusértéket a legmagasabb hőmérsékleten érhetjük el.



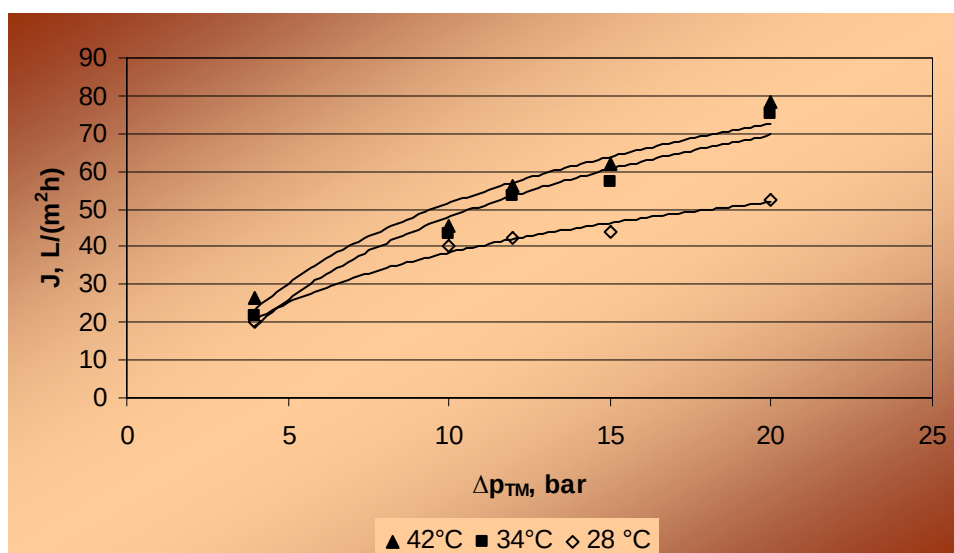
1. sz. diagram: Kávé extraktum permeátum fluxus különböző recirkulációs térfogatáramokon (300-500-700 l/h), 28 °C hőmérsékleten, M5 (NF) membránnal



2. sz. diagram: Kávé extraktum permeátum fluxus különböző recirkulációs térfogatáramokon (300-500-700 l/h), 34 °C hőmérsékleten, M5 (NF) membránnal



3. sz. diagram: Kávé extraktum permeátum fluxus különböző recirkulációs térfogatáramokon (300-500-700 l/h), 42 °C hőmérsékleten, M5 (NF) membránnal



4. sz. diagram: Kávé extraktum permeátum fluxus különböző hőmérsékleteken (28-34-42 °C), 700 l/h recirkulációs térfogatáramon, M5 (NF) membránnal

Az előkísérletek összefoglalva az 4. diagramról egyértelműen leolvashatók a kávé extraktum besűrítésének optimális paraméterei, melyek a legmagasabb fluxust biztosítják a vizsgált tartományban:

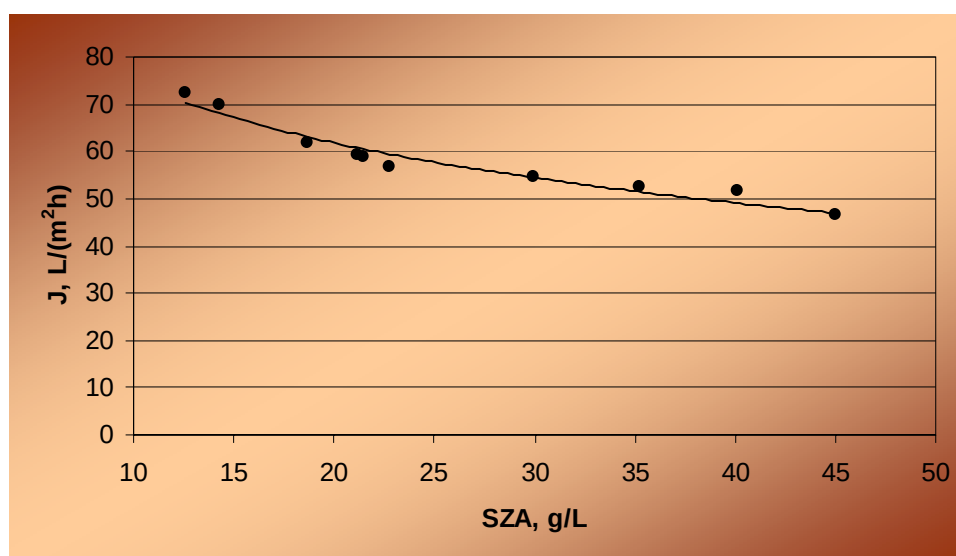
- $Q_{rec} = 700$ l/h,
- $T = 42$ °C,
- $\Delta p_{TM} = 20$ bar.

5.1.1.1 Besűrítés

A besűrítést az előkísérletek alapján meghatározott optimális műveleti paraméterek ($Q_{rec}=700$ l/h, $T=42$ °C, $\Delta p_{TM}=20$ bar) alapján végeztem el.

A besűrítés alatt minden 500 ml permeátum elvétele után mintát vettem a sűrítmenyből a szárazanyag tartalom meghatározásához.

A besűrítés eredményét az 5. sz. diagram szemlélteti. Látható, hogy közel 4-szeresére emelkedett a retentátum szárazanyag tartalma a folyamat során, míg a kezdeti 73 l/(m²h) kiindulási fluxus a besűrítési idő előrehaladtával folyamatosan csökkent 48 l/(m²h) értékre. A fluxus-csökkenés 34%-os volt. A vizsgálat itt azért ért véget, mert a sűrítmeny mennyisége kevés lett a berendezés működtetéséhez.



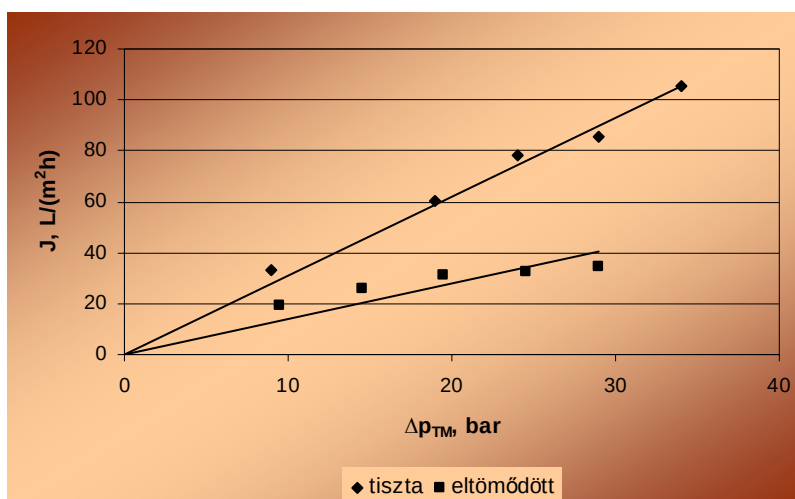
5. sz. diagram: kávé extraktum besűrítésének eredménye (NF, $Q_{rec}=700$ l/h, $T=42$ °C, $\Delta p_{TM}=20$ bar)

5.1.1.2 Membrán eltömődés vizsgálata

A besűrítés után elvégeztem a membrán eltömődésének vizsgálatát a következő módon: a besűrítés után a rendszert desztillált vízzel kiöblítettem annyira, hogy a membrán felületén kialakult gélréteget lemossam. Ez az öblítés nem elegendő ahhoz, hogy a membrán pórusaiból is eltávolítsam az ott megakadt molekulákat.

Az eltömődött membrán vízfluxusának meghatározását ugyanazokon a paramétereken végeztem el, mint a tiszta, kondicionált membrán vízfluxusának vizsgálatát a mérések megkezdése előtt: $Q_{rec}=600$ L/h, $T=30$ °C. A mérés során a transzmembrán nyomáskülönbséget folyamatosan változtattam.

A 6. sz. diagramról leolvasható, hogy a tiszta membrán vízfluxusa jóval (~2,5-szer) nagyobb, mint az eltömődött membrán vízfluxusa. Ez a diagram is jól szemlélteti, hogy a membrán visszatartja a kávé extraktum molekuláit, azon csak a vízmolekulák és az aromaanyagok képesek átjutni. Mivel a besűrítés után a vízfluxus kisebb volt, mint a mérések megkezdése előtt, szükséges az Anyagok és módszerek 4.3 fejezetében leírt tisztítási műveletek elvégzése.



6. sz. diagram: Tiszta- és eltömődött membrán vízfluxusa ($Q_{rec}=600$ l/h, $T=30$ °C, M5 membrán)

5.1.2 Fordított ozmózis alkalmazása a kávé extraktum besűrítésére

A nanoszűréssel végzett kísérletek után felmerült az a gondolat, hogy megpróbáljam elvégezni a kísérleteket fordított ozmózissal (RO) is. Ezeknél a kísérleteknél arra számítottam, hogy az RO membrán (M8 jelű, ld. 3. táblázat) kisebb pórusméretének következtében a vízen kívül nem távozik el más értékes komponens a kávé sűrítmenyéből, és így egy teljesebb, értékesebb terméket kapok.

A nanoszűréshez hasonlóan a fordított ozmózisnál is elvégeztem az előkísérleteket az optimális műveleti paraméterek meghatározásához. Ebben az esetben a hőmérséklet hatását nem vizsgáltam, de kihasználva a membránszűrés azon előnyét, hogy alacsony hőmérsékleten, anyagkímélő módon tudjuk elvégezni a szárazanyag tartalom növelését, 25 °C-ot választottam az előkísérletekhez. Ez a hőmérséklet a kísérleti labor berendezésen egyszerűen a tartály köpeny hűtésével biztosítható volt. A recirkulációs térfogatáramot 3 különböző értékre állítottam be: 100-160-190 l/h.

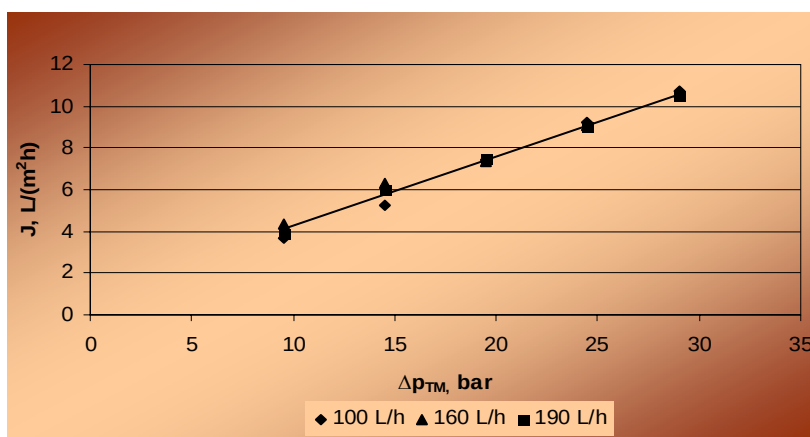
A 7. diagramon mutatom be az előkísérletek eredményét. Jól látható, hogy a fordított ozmózis esetében a recirkulációs térfogatáramnak a vizsgált 100-190 l/h

tartományban nem volt hatása a kávé extraktum fluxusára, a mérési pontok egy egyenesre esnek.

A fluxus meghatározása közben a transzmembrán nyomáskülönbséget folyamatosan növeltem, így a mérések folyamán a fluxus értékek is folyamatosan növekedtek, a nyomás értékekkel lineárisan. A linearitásból arra következtettem, hogy a fluxus tovább növelhető lenne a nyomás növelésével, de a kísérleti berendezés korlátai miatt a nyomás 30 bar felé nem volt emelhető.

Így ennél a berendezésnél az optimális műveleti paraméterek a vizsgált tartományban:

- $Q_{rec} = 180 - 190 \text{ l/h}$,
- $T = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- $\Delta p_{TM} = 30 \text{ bar}$.

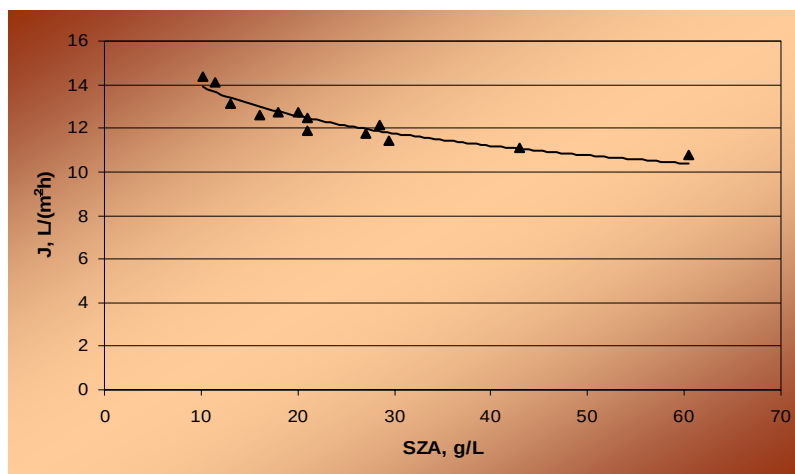


7. sz. diagram: Kávé extraktum permeátum fluxus különböző recirkulációs térfogatáramokon (100-160-190 l/h), 25 °C hőmérsékleten, M8 (RO) membránon

5.1.2.1 Besűrítés

A besűrítést a fent meghatározott paramétereken (180 l/h, 25 °C, 30 bar) végeztem el. Hasonlóan a nanoszűréshez, itt is mintát vettem a szárazanyag tartalom meghatározásához minden 500 ml permeátum elvétele után.

A besűrítés eredményét a 8. sz. diagram szemlélteti. A fordított ozmózis esetében is jól látható, hogy a besűrítés alatt a fluxus folyamatosan csökkent (kb. 20 %-kal), míg a sűrítmény szárazanyag tartalma az idővel a 6-szorosára növekedett. A mérésnek szintén a sűrítmény térfogat csökkenés vetett végét.



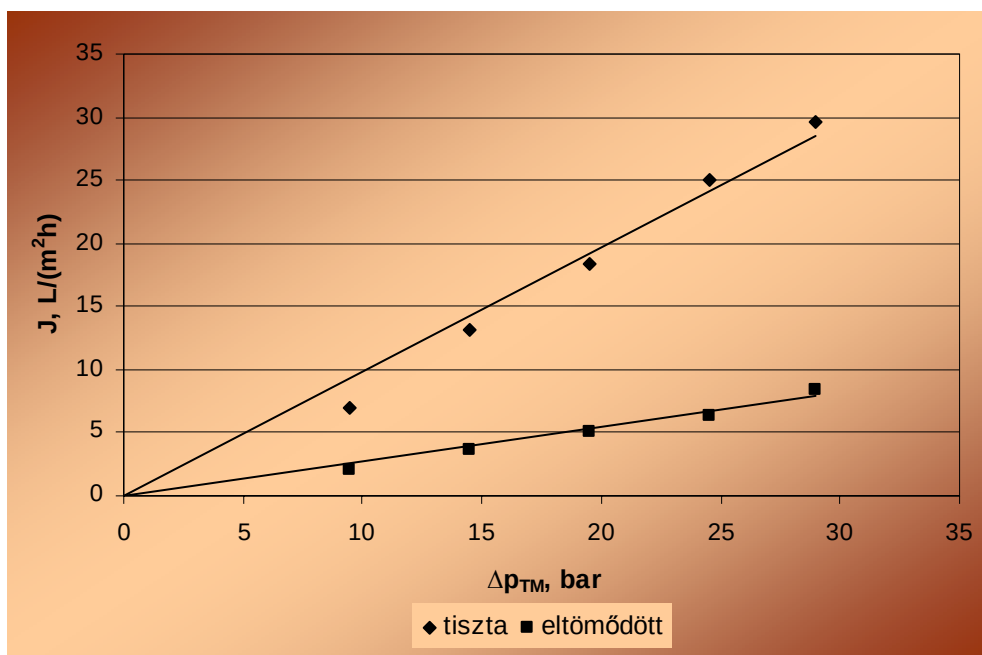
8. sz. diagram: Kávé extraktum besűrítésének eredménye (RO, $Q_{rec}=180$ l/h, $\Delta p_{TM} = 30$ bar, $T=25$ °C), M8 (RO) membrán

5.1.2.2 Membrán eltömődés vizsgálata

A besűrítés után az RO esetben is elvégeztem az eltömődött membrán vízfluxusának vizsgálatát.

A membrán felületéről desztillált vízzel lemostam a kialakult gélréteget, illetve kiöblítettem a rendszert. Ezután elvégeztem a vízfluxus meghatározását ugyanazon a paramétereken, melyeken a tiszta membrán vízfluxusát határoztam meg a mérések megkezdése előtt: $Q_{rec}=180$ l/h, $T=25$ °C. A transzmembrán nyomáskülönbséget változtattam.

A 9. számú diagram mutatja a vízfluxusok összehasonlítását. Jól látható, hogy az eltömődött membrán vízfluxusa minden mért ponton hatod része a tiszta víz fluxusának. Az eltömődés mértéke jóval nagyobb, mint a nanoszűrés esetében, de ez várható volt, mivel a fordított ozmózis membrán pórusmérete kisebb, mint a nanoszűrő membráné.



9. sz. diagram: Tiszta- és eltömődött membrán vízfluxusa ($Q_{rec}=180$ L/h, $T=25$ °C), M8 (RO) membrán

A fordított ozmózis esetében nagyobb nyomáson kisebb fluxusértékeket értem el, mint nanoszűrés esetében, viszont az RO-nál ugyanolyan kiindulási szárazanyag tartalmú kávé extraktumból magasabb szárazanyag tartalmú sűrítményt kaptam.

A két módszer közül kiválasztani a megfelelőt csak a modellezés és a részletes gazdasági elemzés után fogom tudni.

5. 2 Homoktövis lé besűrítésének vizsgálata

A kávéval végzett kísérletek, és a **Bio Berta Kft.**-vel történő egyeztetések után a homoktöviszt választottam kísérleti anyagnak, mivel az említett Kft termék palettájából még hiányzott a kíméletesen besűrített félkész termékek. Kísérleteim során egy olyan feldolgozási módszer kidolgozására törekedtem, mely során a termék nem károsodik, lehetőség van a folyamatos gyártásra, és a késztermék normál hőmérsékletű helyiségben eltartható, nem szükséges a hűtőházi tárolása.

A kísérletekkel arra a kérdésre próbáltam választ kapni, hogy a magas rost- és olajtartalmú gyümölcslé a különböző membrántechnikákkal milyen módon sűríthető be.

Kísérleteket végeztem fagyasztott és friss bogyókból készült levekkel; kísérletet tettem előszűrés nélkül és különböző előszűrési membrán technikák alkalmazásával

ennek az értékes lének a besűritésére. A kapott eredményeket ebben a fejezetben mutatom be.

5.2.1 Homoktövis lé besűritésének vizsgálata előszűrés nélkül

A homoktövis lé besűritését először fagyasztott bogyóból készült 100% gyümölcstartalmú gyümölcslével próbáltam meg, melyet a Bio Berta Kft. biztosított a mérésekhez. A gyümölcslé rostokat, illetve minimális mennyiségben olajat tartalmazott.

A kísérleteket két különböző módszer segítségével végeztem el: először fordított ozmózissal, majd nanoszűréssel.

Mindkét esetben előkísérletek során határoztam meg az optimális műveleti paramétereket, majd elvégeztem a besűritési kísérleteket, végül vizsgáltam a membránok eltömődését.

5.2.1.1 Fordított ozmózis alkalmazása a homoktövis lé besűritésére

Korábbi kísérleti tapasztalataimat alapul véve a kísérletsorozatot a fordított ozmózissal kezdtem, M8 membránon, mivel a gyümölcslé minden egyes értékes komponensét vissza akartam tartani a sűrítményben, és lehetőség szerint valóban csak a vizet eltávolítani a léből.

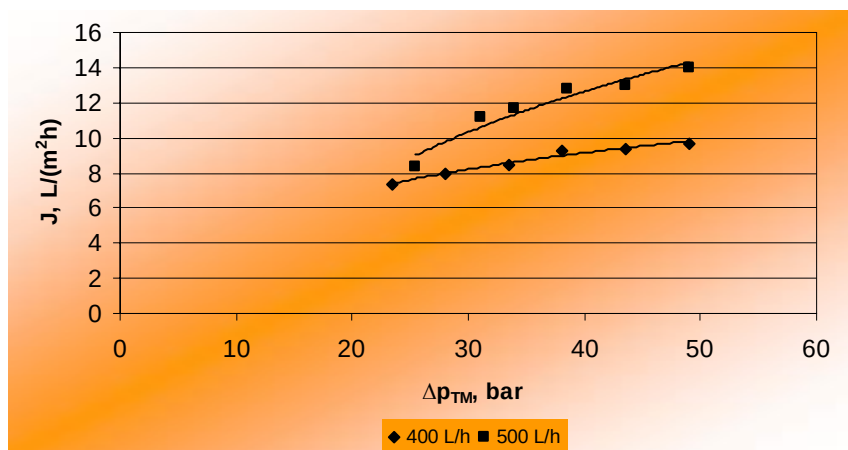
A gyümölcslé magas vitamin tartalma ismert volt számomra a szakirodalomból, ezért az előkísérleteket csak egy hőmérsékleti értéken végeztem el. A kísérletekhez 30 °C-ot választottam, mely kíméletes hőmérsékletnek számít a hőre bomló- vagy károsodó biológiailag aktív anyagok számára.

Az adott membránon elérhető legmagasabb permeátum fluxus meghatározását két különböző recirkulációs térfogatáramon végeztem el: 400 és 500 l/h. A transzmembrán nyomáskülönbséget 20-50 bar között változtattam.

A mérések eredményeit a 10. sz. diagram szemlélteti. A diagramon jól látható, hogy magasabb térfogatáram mellett magasabb fluxus értékeket értem el, valamint ugyanez mondható el a nyomás növelésének hatásáról is. Az is elmondható, hogy 20 bar alatti nyomásnál nem folyt permeátum, így viszonylag magas nyomás szükséges a besűritéshez, mely növeli a művelet energia költségét.

Az előkísérletek alapján, a vizsgált tartományban, az alábbi paramétereket találtam optimálisnak a besűritéshez:

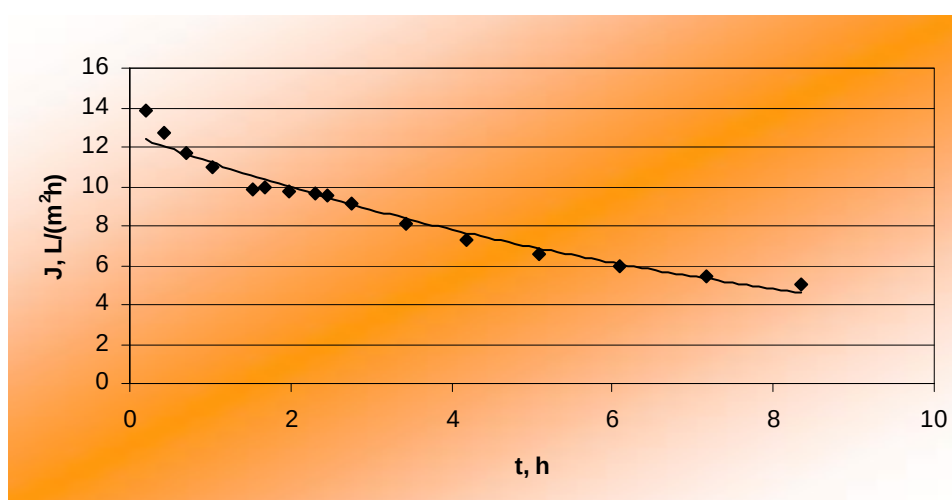
- $Q_{rec}=500$ l/h
- $T=30$ °C
- $\Delta p_{TM} = 48$ bar



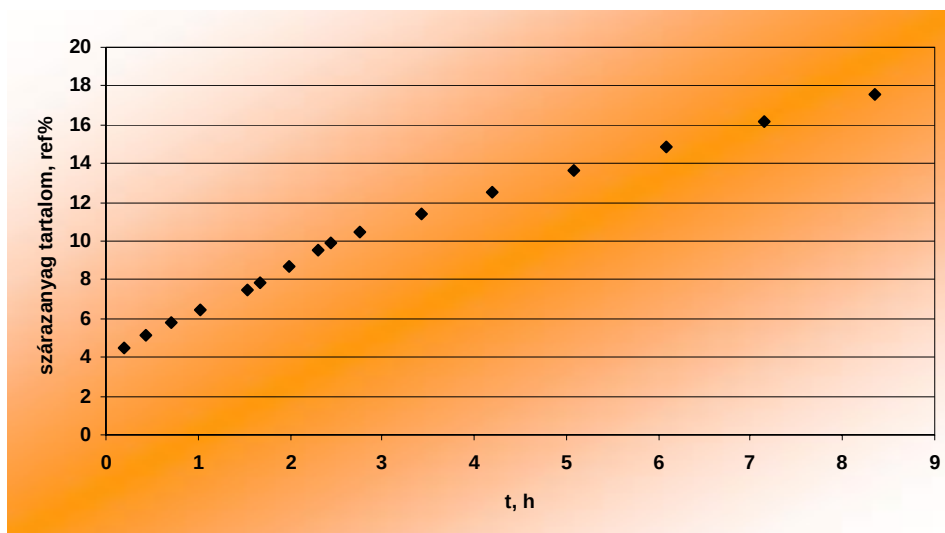
10. sz. diagram: Homoktövis lé permeátum fluxus különböző recirkulációs térfogatáramokon (400-500 L/h), 30 °C hőmérsékleten, M8 (RO) membrán

Besűrítés

A besűrítést a fent megállapított paraméterek mellett végeztem el. A permeátum elvételét 200 ml-ként tettem meg. A 11-12. sz. diagram szemlélteti a besűrítés eredményét. A 12. sz. diagramról leolvasható, hogy a fluxus jelentősen (64 %-kal) csökkent a mérés során. A besűrítés folyamata közel 8,5 órán keresztül tartott, mely alatt a szárazanyag tartalom 4,5 ref%-ról 17,6 ref%-ra növekedett (5.2.2.1.C).



11. sz. diagram: Homoktövis lé besűrítésének eredménye (RO, $Q_{rec}=500$ l/h, $\Delta p_{TM} = 48$ bar, $T=30$ °C), M8 membrán – a besűrítés idejének függvényében.



12. sz. diagram: Homoktövis lé sűrítmény koncentrációjának változása (RO, $Q_{rec}=500$ l/h, $\Delta p_{TM} = 48$ bar, $T=30$ °C), M8 membrán – a besűrítés idejének függvényében.

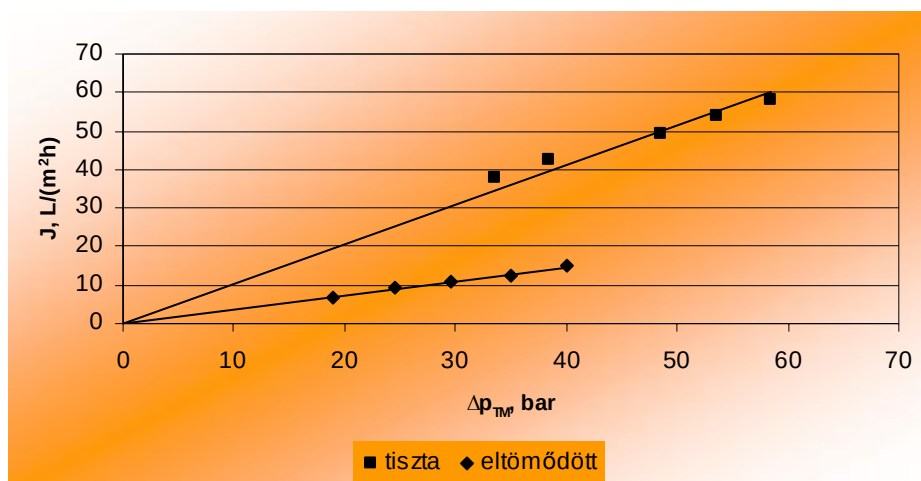
Membrán eltömődés vizsgálata

A besűrítés idejének hosszúságából és a fluxus jelentős csökkenéséből arra következtettem, hogy a membrán nagymértékben eltömődött.

A feltételezés tényként történő megállapításához elvégeztem az eltömődött vízfluxus meghatározását 500 l/h recirkulációs térfogatáramon, 25 °C hőmérsékleten, változó transzmembrán nyomáskülönbségek mellett. A vízfluxus mérése előtt a rendszert desztillált vízzel öblítettem át.

A tiszta- és eltömődött membrán vízfluxusának összehasonlítására a 13. sz. diagram szolgál, melyen jól látható az eltömődés mértéke.

A membrán tisztítását az Anyagok és módszerek fejezetben leírtak szerint végeztem el, majd utána meghatároztam a membrán vízfluxusát. Ebből kiderült, hogy egyszeri standard mosási ciklus nem elegendő a membrán tisztítására. A membrán kezdeti vízfluxusát csak 3 mosási ciklus után sikerült visszaállítani.



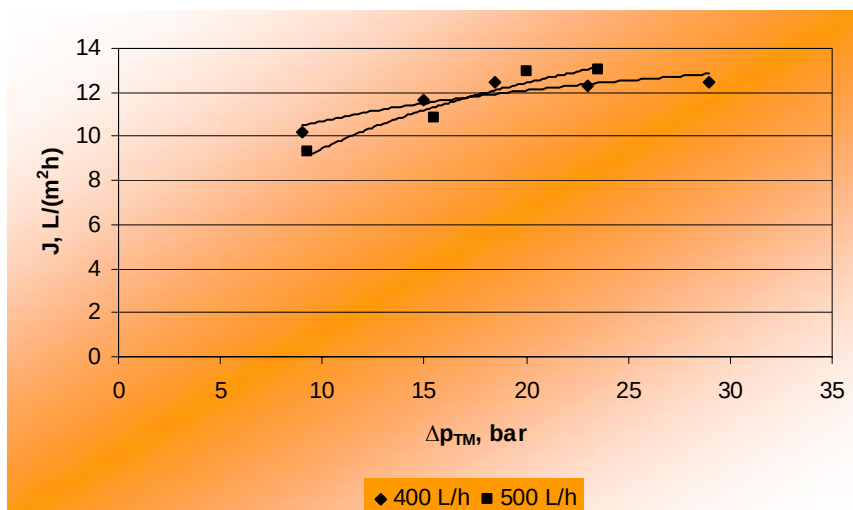
13. sz. diagram: Tiszta- és eltömődött membrán vízfluxusa ($Q_{rec}=500$ l/h, $T=25$ °C), M8 (RO) membrán

5.2.1.2 Nanoszűrés alkalmazása a homoktövis lé besűrítésére

Az eltömődés miatt úgy gondoltam, hogy érdemes megpróbálni a nagyobb pórusméretű nanoszűrést is. A kísérletekhez az M5 jelű membránt választottam (ld. 3. sz. táblázat).

Az előkísérleteket a nanoszűrés esetében is egy hőmérsékleten végeztem el: **25 °C**. A fordított ozmózishoz hasonlóan itt is 400 és 500 l/h recirkulációs térfogatáramot választottam; míg a mérések során a nyomást 8-30 bar között folyamatosan növeltem. Az eredményeket a 14. sz. diagram mutatja be. A diagram alapján elmondható, hogy nincs jelentősebb különbség a mért értékek között, azaz a recirkulációs térfogatáramnak a vizsgált tartományban nincs jelentősebb hatása a fluxusra. A transzmembrán nyomáskülönbség értékének növelésével a fluxus értéke is növekszik. Az előkísérletek alapján a következő műveleti paraméterek mellett végeztem el a besűrítést:

- $Q_{rec}=500$ l/h
- $T=25$ °C
- $\Delta p_{TM}=30$ bar

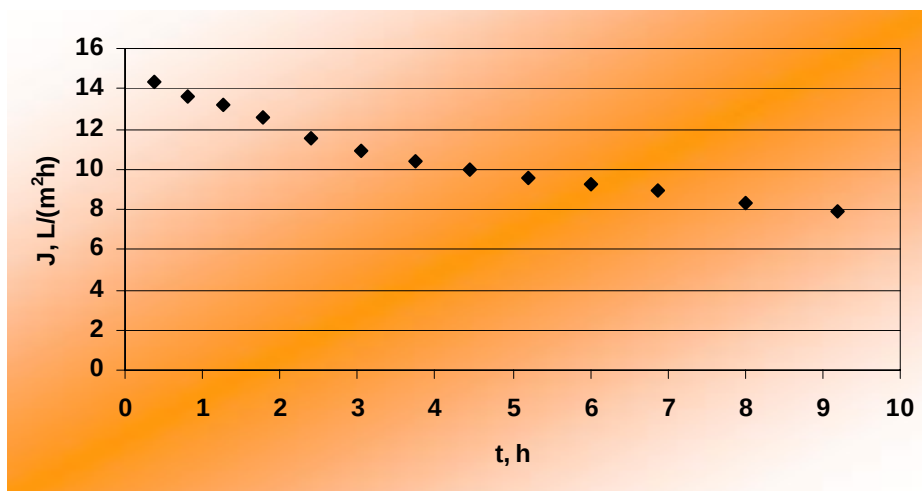


14. sz. diagram: Homoktövis lé permeátum fluxus különböző recirkulációs térfogatáramokon (400-500 l/h), 25 °C hőmérsékleten, M5 (NF) membránon

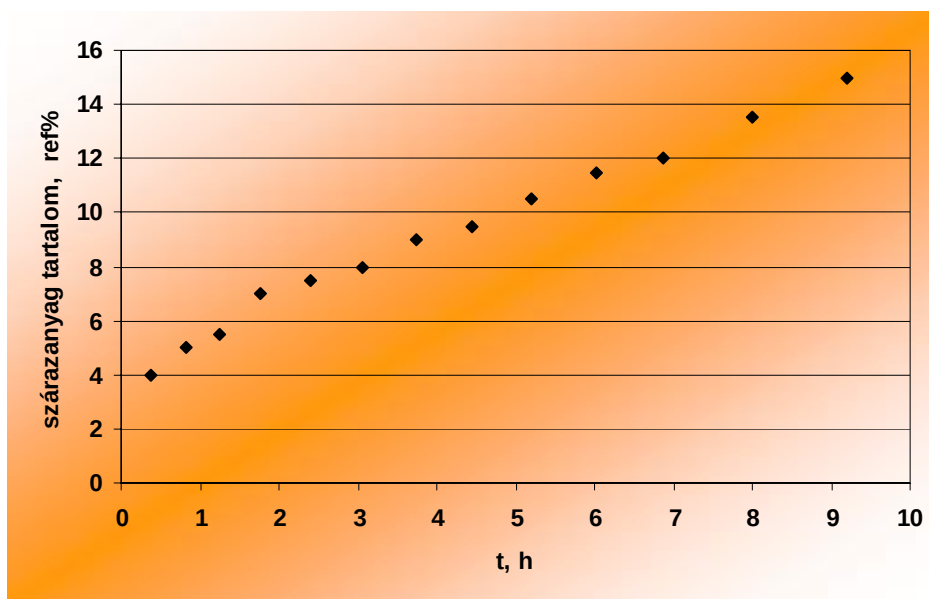
Besűrítés

A besűrítést a fent megadott paraméterek alapján végeztem el ($Q_{rec}=500$ l/h, $T=25$ °C, $\Delta p_{TM}=30$ bar). A 15-16. sz. diagram mutatja a besűrítés eredményét. A 15. sz. diagramon jól látható, hogy a homoktövis permeátum fluxusa a besűrítés folyamán folyamatosan csökkent, közel a felére.

A sűrítmény szárazanyag tartalma, melyet minden 200 ml permeátum elvétele után mértem, a kezdeti 4 ref%-ról 15 ref%-ra növekedett a besűrítés alatt (16. sz. diagram)



15. sz. diagram: Homoktövis lé besűrítésének eredménye (NF, $Q_{rec}=500$ l/h, $\Delta p_{TM} = 30$ bar, $T=25$ °C), M5 membrán



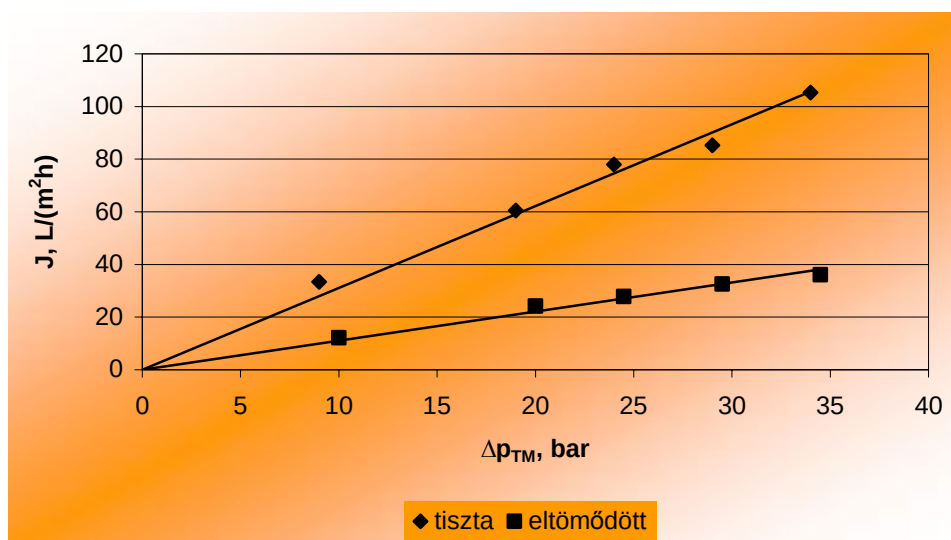
16. sz. diagram: Homoktövis lé sűrítmény szárazanyag tartalmának változása (NF, $Q_{rec}=500$ l/h, $\Delta p_{TM} = 30$ bar, $T=25$ °C), M5 membrán – a besűrítés idejének függvényében

Membrán eltömődés vizsgálata

A fordított ozmózissal végzett kísérletekhez hasonlóan végeztem el az eltömődés vizsgálatát. A berendezést desztillált vízzel öblítettem ki, mellyel lemostam a membrán felületén lévő gélréteget is.

A vízfluxus mérését 500 l/h reciklációs térfogatáramon, 25 °C-on végeztem el, miközben a transzmembrán nyomáskülönbséget folyamatosan növeltem.

Az eredményt a 17. sz. diagram szemlélteti. A membrán eltömődése ebben az esetben is jelentős volt, de nem olyan mértékű, mint az RO esetében, ami valószínűsíthetően a nanoszűrő membrán nagyobb pórusméretével magyarázható. A nanoszűrés esetében is elmondható, hogy a membrán tisztítására nem volt elegendő az egyszeri mosási ciklus. A kezdeti vízfluxus csak többszöri ciklikus mosás után volt visszaállítható.



17. sz. diagram: Tiszta- és eltömődött membrán vízfluxusa ($Q_{rec}=500$ l/h, $T=25$ °C), M5 (NF) membránon

A két membránművelet közül ennyi mérés alapján nehéz kiválasztani a megfelelőt. Erre a kérdésre a későbbiekben az analitikai vizsgálatok és a gazdasági számítások eredményei adhatják meg a választ.

Mindkét mérés alapján elmondható, hogy bár a homoktövis lé besűríthető, a szárazanyag tartalom növekedett, de a magas rosttartalom és a lében lévő olajtartalom miatt érdemes megvizsgálni a lé előszűrésének, tükrösítésének lehetőségét. Szintén az előszűrés szükségességét vetíti előre az a tény, hogy a membránok tisztíthatósága megnehezült a lé fizikai tulajdonságai miatt.

5.2.2 Homoktövis lé besűrítésének vizsgálata előszűréssel

Az előszűretlen lé besűrítése során nehézségekbe ütköztem, mivel a lé rost- és olajtartalma gyorsan eltömítette a membránok, illetve megnehezítette a membránok tisztítását. Az előszűrést két, az iparban ismert, és használt eljárás segítségével kíséreltem meg: mikroszűréssel és ultraszűréssel.

5.2.2.1. Mikroszűrés alkalmazása a 100 % gyümölcstartalmú homoktövis lé előszűrésére

Az előszűrésre először az iparban (pl.: almalé-, bor tükrösítés) is leggyakrabban használt membrán eljárást használtam, a mikroszűrést. A kísérleteket az M1 jelű kerámia csőmembránnal végeztem a membrántípus pozitív tulajdonságai miatt (ellenálló képesség vegyszereknek, hőmérsékletnek).

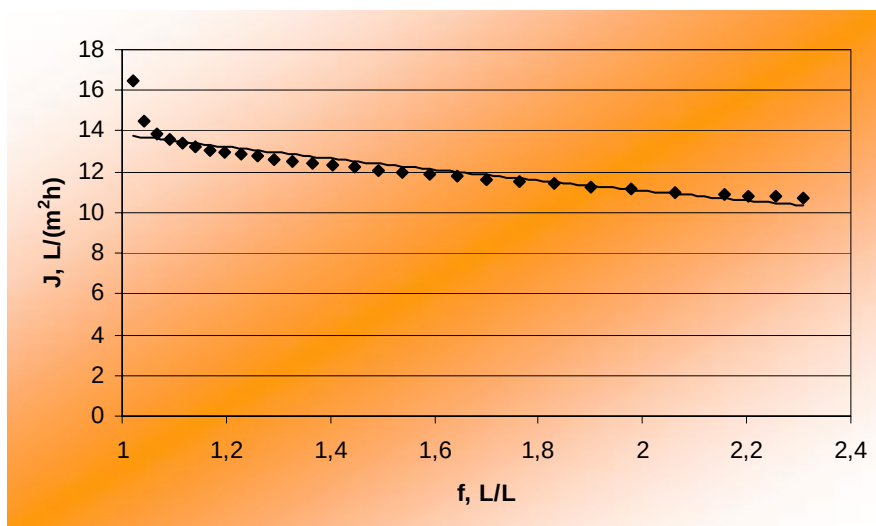
Fagyasztott boggyóból préselt lé előszűrése

A kísérleteket a Bio Berta Kft.-től kapott 100 %-os homoktövis lével kezdtem meg. Ez a lé fagyasztott bogyóból készült. A mérések kezdetén sok nehézségbe ütköztem már a permeátum fluxus megállapítása során is, mivel a lé viszonylag gyorsan eltömítette a membránt. Az előszűrési kísérletek előtt sem sikerült tisztítani a membránt még erős vegyszerekkel, magas hőmérsékleten sem. Az előszűrés eredményét a 18. sz. diagram szemlélteti. Az előszűrést 400 l/h recirkulációs térfogatáramon, 3,1 bar transzmembrán nyomáskülönbség mellett, 25 °C-on végeztem el.

A kiindulási fluxus érték a mérés során folyamatosan, lassan csökkent, miközben 2,3-szeres sűrítési arányt értem el. Ezután a készülékben lévő folyadék habosodni kezdett, illetve a membrán nagymértékű eltömődése miatt leesett a nyomás a rendszerben, az előszűrést le kellett állítanom. Azonban a nyert lé tükrös lett, ennek fényképe itt látható (4. sz. kép):



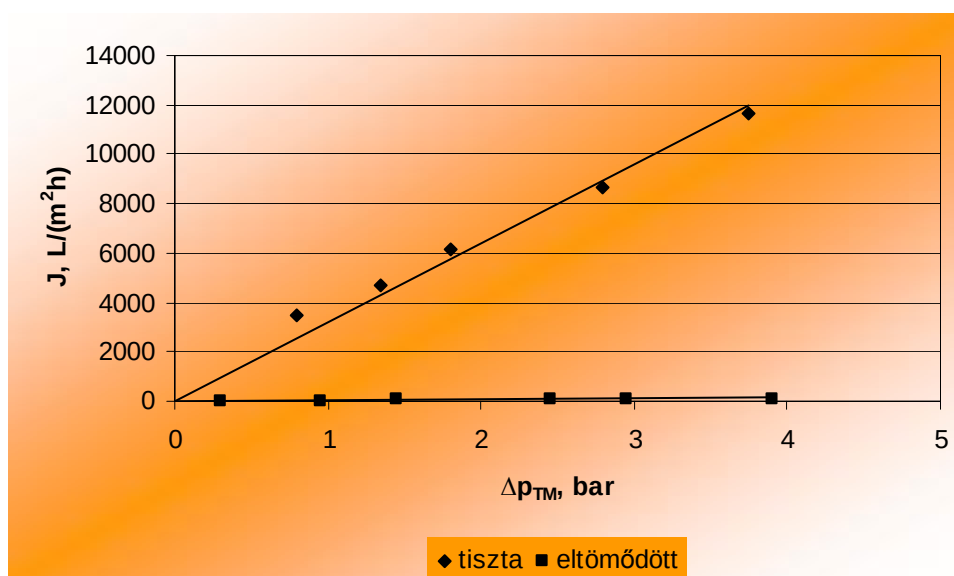
4. sz. kép: Mikroszűréssel előszűrt és előszűretlen lé



18. sz. diagram: Homoktövis lé előszűrése (MF, $Q_{rec}=400$ l/h, $T=25$ °C, $\Delta p_{TM}=3,1$ bar)

A membrán eltömődésének vizsgálata

Az előszűrés sajnálatos leállítása miatt mindenképpen fontosnak tartottam a membrán eltömődés vizsgálatát. A rendszert csapvízzel öblítettem ki, majd elvégeztem a vízfluxus meghatározását ugyanazokon a műveleti paramétereken, melyeken a tiszta membrán vízfluxusát is vizsgáltam ($Q_{rec}=100$ l/h, $T=25$ °C, $\Delta p_{TM}=0,5-4$ bar). Az eredmények összehasonlítását a 19. sz. diagram szemlélteti. Jól látható, hogy a membrán teljesen eltömődött, szinte 0 l/(m²h) lett a membrán vízfluxusa, azon több molekula nem jutott át.



19. sz. diagram: Tiszta- és eltömődött membrán vízfluxusa ($Q_{rec}=100$ l/h, $T=25$ °C), M1 (MF) membrán

A membrán kiindulási vízfluxusa semmilyen tisztítási művelettel nem volt visszaállítható. A tisztítási műveletek folyamatos ismétlése után is, csak minimális mértékben növekedett a membrán vízfluxusa az eltömődött membránéhoz képest.

Friss bogyóból préselt lé előszűrése

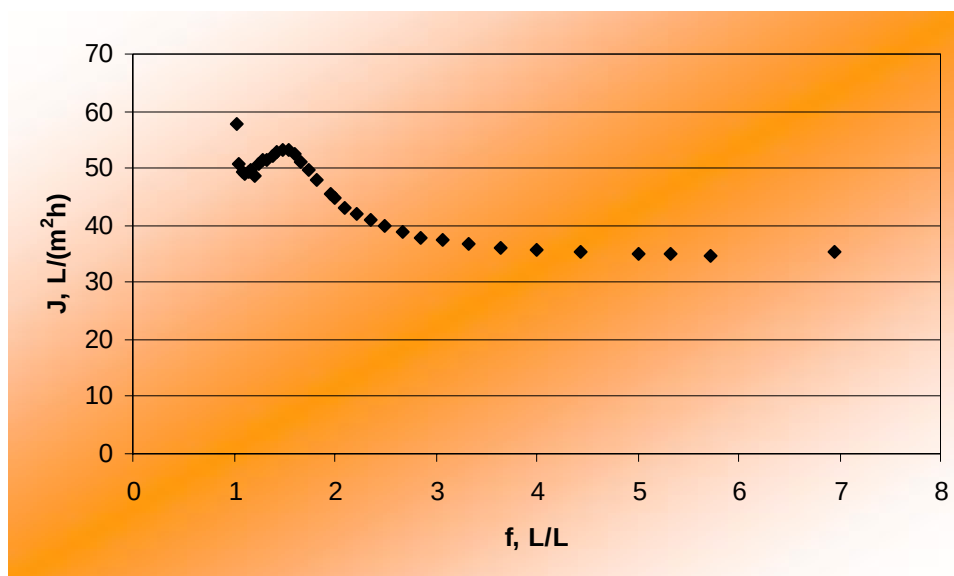
A kísérletek során lehetőségem volt friss bogyót szedni, amelyből én állítottam elő a 100 %-os homoktövis levét. Ebben a lében kevesebb volt a lebegő anyag, valamivel alacsonyabb volt a kiindulási szárazanyag tartalma (5-6 %), mint a fagyasztott bogyóból előállított lének (7-8%).

Igaz, a kerámia csőmembrán nem bizonyult megfelelő választásnak az előszűréshez, azonban a friss bogyóból préselt lé más fizikai tulajdonságai miatt megvizsgáltam ennek a lének is az előszűrhetőségét mikroszűréssel. Ennek eredményét a 20. sz. diagram szemlélteti. A mérés műveleti paraméterei:

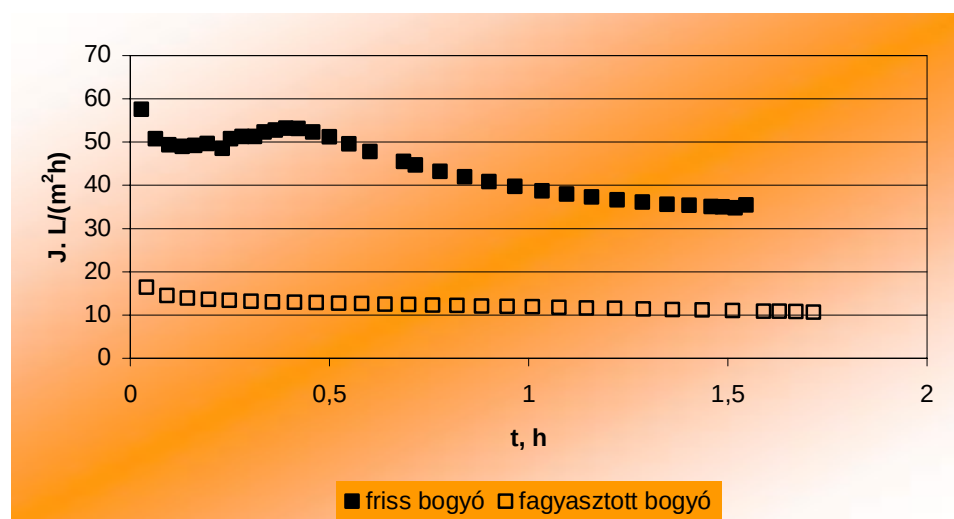
- $Q_{rec} = 500 \text{ l/h}$
- $T = 30 \text{ °C}$
- $\Delta p_{TM} = 3 \text{ bar}$

Látható, hogy ebben az esetben is folyamatosan csökkent a permeátum fluxusa a mérés elején, majd egy adott értéken maradt a mérés végéig. A sűrítési arány ebben az esetben hétszeres volt, szemben a fagyasztott bogyóból készült lénél elért 2,2-szeres sűrítési aránnyal. Ebben az esetben sem tudtam többszöri, agresszív mosás után sem visszaállítani a kiindulási vízfluxust.

A 21. sz. diagram a friss és fagyasztott bogyóból készült lé előszűrésének az eredményét mutatja. Jól látható, hogy a friss bogyóból készült lé fluxusa folyamatosan magasabb volt a mérés során, illetve, hogy a mérés rövidebb ideig tartott annak ellenére, hogy magasabb sűrítési arányt értem el. Ez alapján elmondható, hogy a friss bogyóból készült lé alkalmasabb a feldolgozásra.



20. sz. diagram: Friss bogyóból készült lé előszűrése (MF; $Q_{rec} = 500$ l/h, $T = 30$ °C, $\Delta p_{TM} = 3$ bar), M1 membrán



21. sz. diagram: Friss és fagyasztott bogyóból készült lé előszűrése (MF; $Q_{rec} = 500$ l/h, $T = 30$ °C, $\Delta p_{TM} = 3$ bar), M1 membrán

5.2.2.2. Ultraszűrés alkalmazása a 100 % gyümölcstartalmú homoktövis lé előszűrésére

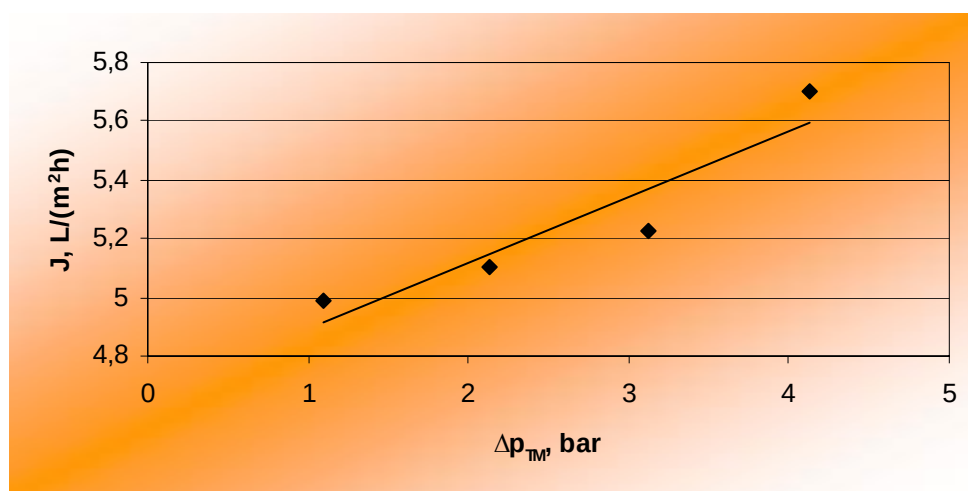
A mikroszűréssel elvégzett kísérleteknél tett megállapítás alapján csak a friss bogyóból előállított lé előszűrésevel próbálkoztam.

A membrán megfelelő kondicionálása után végeztem el a permeátum fluxus, és az optimális műveleti paraméterek meghatározását az ultraszűrő membránon. A kísérletet a lé kímélése miatt 25 °C-on végeztem el, a recirkulációs térfogatáramnak a 1,5 m³/h értéket választottam, mely értéket a membrán gyártója ajánlott. A

transzmembrán nyomáskülönbséget folyamatosan változtattam 1-4 bar között. Az eredményt a 22. sz. diagram szemlélteti. Jól látható, hogy a nyomás növelésével folyamatosan nőtt a szűrletfluxus értéke.

Az előkísérletek során megállapított optimális műveleti paraméterek a vizsgált tartományban:

- $Q_{rec}=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$
- $T=25^\circ\text{C}$
- $\Delta p_{TM}= 4 \text{ bar}$



22. sz. diagram: 100 %-os homoktövis lé szűrlet fluxusa (UF, $Q_{rec}= 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, $T=25^\circ\text{C}$)

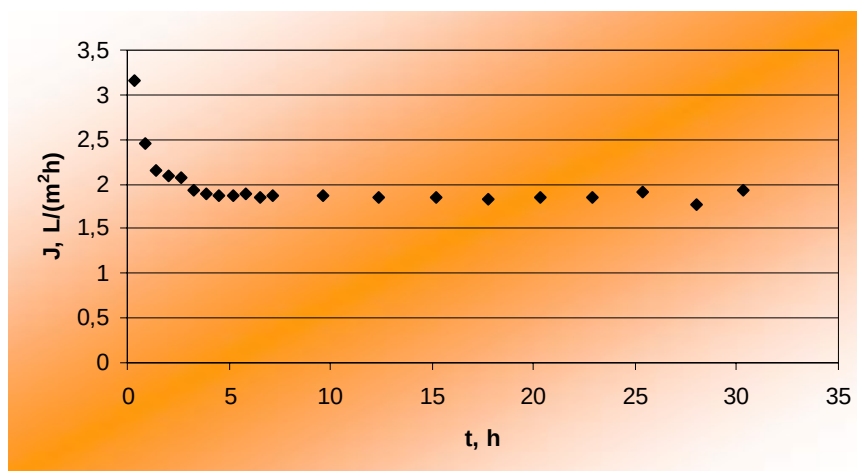
Előszűrés

A gép konstrukciója miatt a megszűrni kívánt homoktövis levet nem tudtam egyszerre a gépbe önteni, ezért a mérés kezdetén a táptartályba elérő maximális mennyiséget töltöttem bele, majd 2 l permeátum elvétele után hozzáadtam újabb 2 liter levet. Ezt addig ismételtam, amíg a teljes mennyiségű levet elő nem szűrtem. Az alkalmazott eljárás nem minősül diaszűrésnek, mivel nem hígítottam a betáplált oldatot, a cél csak a nagyobb mennyiségű előszűrt lé volt.

A mérés eredményét a 23. sz. diagram szemlélteti. Az előszűrés folyamán a szűrlet fluxusa folyamatosan csökkent, majd egy idő után a kezdeti fluxus felénél állandósult is. Ez a retentátum koncentrációjának növekedésével, valamint a polarizációs réteg kialakulásával magyarázható.

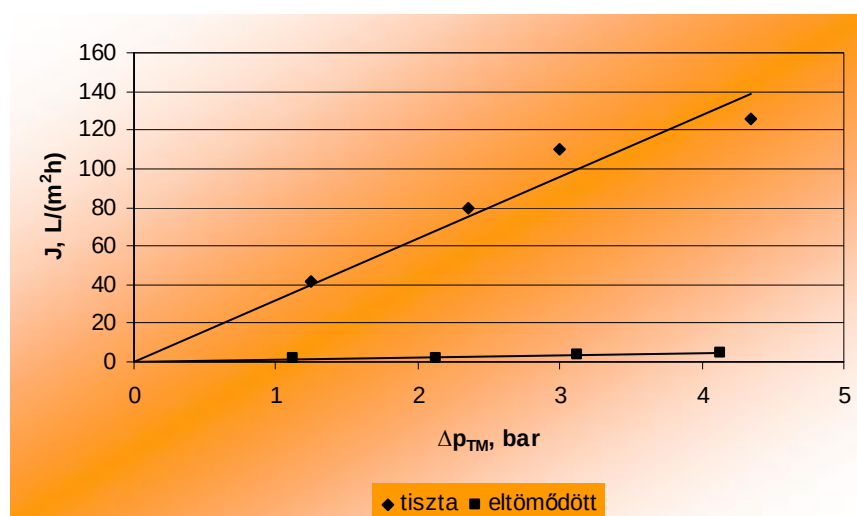
A sűrítést addig végeztem, amíg az egyre sűrűsödő retentátum viszkozitásának növekedésével a berendezés már nem tudta lehűteni a levet, és a hőmérséklet elérte a **35°C-ot**.

A mérés eredményeként 17 liter előszűrt homoktövis levet kaptam, amelynek szárazanyag tartalma 3,65 ref% volt.



23. sz. diagram: Homoktövis lé előszűrése (UF, $Q_{rec}= 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta p_{TM}=4,1 \text{ bar}$), M2 membrán

Membrán eltömődés vizsgálata



24. sz. diagram: Homoktövis lé előszűrése (UF, $Q_{rec}= 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$), M2 membrán

A membránok eltömődése hasonló mértékű volt mind a mikroszűrés (M1 membrán), mind az ultraszűrés (M2 membrán) esetében, azonban a membrán tisztíthatósága az ultraszűrő esetében volt a jobb. A mikroszűrő membrán kezdeti vízfluxusa nem volt visszaállítható, így ennek a membránnak a használatát elvetettem. A mikroszűréssel végzett kísérletek viszont útmutatást adtak arra, hogy a friss bogyóból készült lé könnyebben szűrhető, mint a fagyasztott bogyóból készült lé. A továbbiakban csak az ultraszűréssel tükrösített, friss bogyóból készült lé besűrítésével foglalkoztam.

5.2.2.3. Ultraszűrőssel előszűrt homoktövis lé besűrítése nanoszűrőssel

Az előszűrések mind a két esetben meghozták a kívánt eredményt, hiszen az előszűrt, tükrösített homoktövis levet mind a két eljárás segítségével megkaptam. A tükrösített lé megfelelőnek bizonyult a további kísérletekhez, melyek eredményeit a továbbiakban ismertetem.

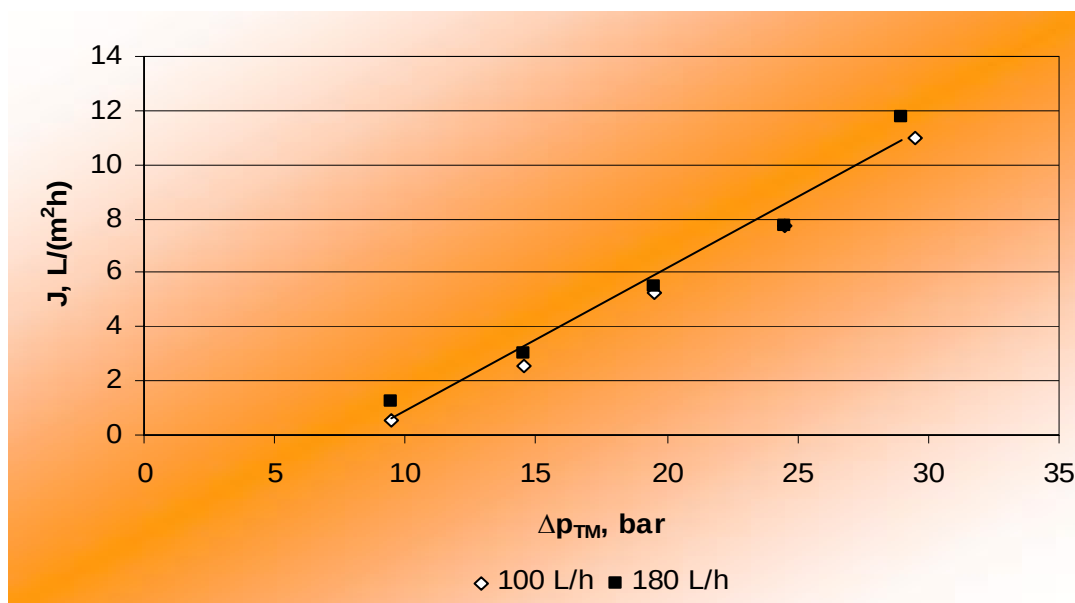
Az előszűrt lé besűrítését először nanoszűrőssel kíséreltem meg az alacsonyabb nyomás és ezzel együtt az alacsonyabb energia költségek miatt. A kísérletsorozatot az előkísérletekkel kezdtem, majd elvégeztem a besűrítési kísérleteket. A kísérletekhez az M6 jelű spiráltekercs membrán választottam (ld. 3. sz. táblázat).

Az optimális műveleti paraméterek megállapításához elvégeztem az előkísérleteket. A permeátum fluxusának megállapításához két különböző recirkulációs térfogatáramon (100-180 l/h), 25 °C hőmérsékleten végeztem el a kísérleteket, miközben a transzmembrán nyomáskülönbséget 10-30 bar között változtattam.

A szűrlet fluxusára a 100-180 l/h tartományban nincs hatással a térfogatáram, de a besűrítés folyamán én mégis a magasabb térfogatáramot választottam. Ennek az az oka, hogy a nagyobb sebességű áramlás kisebb szűrletlepény kialakulásához vezet a membrán felületén.

Az optimális műveleti paraméterek:

- $Q_{rec} = 180 \text{ l/h}$
- $T = 25 \text{ °C}$
- $\Delta p_{TM} = 30 \text{ bar}$



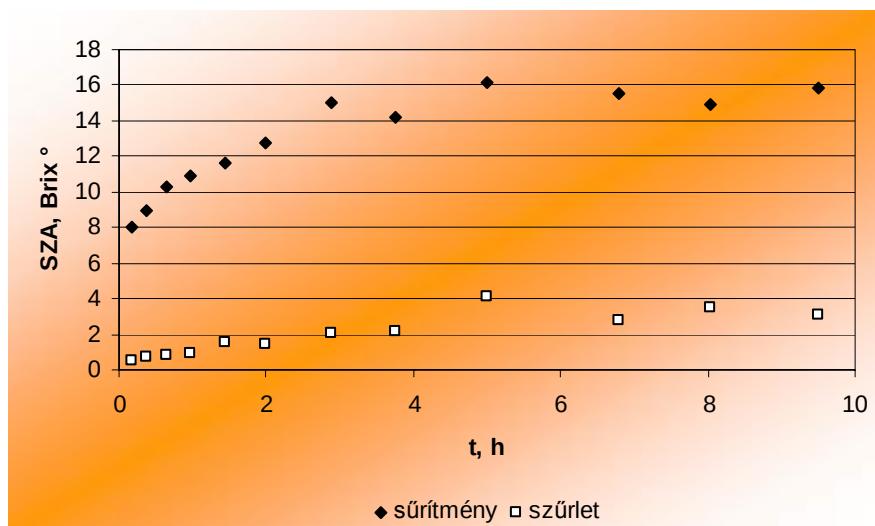
25. sz. diagram: Előszűrt homoktövis lé szűrlet fluxusa (NF, $Q_{Rec}=100-180$ l/h, $T=25^{\circ}C$, $\Delta p_{TM}=10-30$ bar), M6 membrán

Homoktövis lé besűrítése nanoszűrőssel

A homoktövis lé besűrítését az előkísérletek során megállapított műveleti paraméterek beállításával végeztem el. A berendezés laboratóriumi kialakítása miatt, a táptartály csak 4 liter befogadására volt képes, ezért 1,5 liter permeátum elvétele után 1-1 litert rátápláltam a rendszerre, mindaddig, amíg az összes előszűrt lé el nem fogyott.

Az adatokból megállapítható, hogy a szűrlet fluxusa egyenletesen csökkent, a sűrítési arány viszont folyamatosan növekedett. A sűrítési arány ingadozását a rátáplálások okozták, mivel minden egyes rátöltött plusz egy liter hígított a retentátumon. A sűrítést a homoktövis lé 15 %-os szárazanyag tartalmáig folytattam, mivel már nagyon lelassult a folyamat.

A mérés során szárazanyag tartalom méréseket végeztem 500 ml-ként digitális refraktométerrel. Az elvett permeátum színe eleinte halvány sárgás volt, majd a mérés előrehaladtával egyre intenzívebb lett a színe, szárazanyag tartalma elérte a 3-3,5%-os értéket is. Ennek oka valószínűleg a nagy viszkozitás miatt kialakult nagy ozmózisnyomás, amely már átréselte a lé egyes összetevőit a membránon (26. sz. diagram).

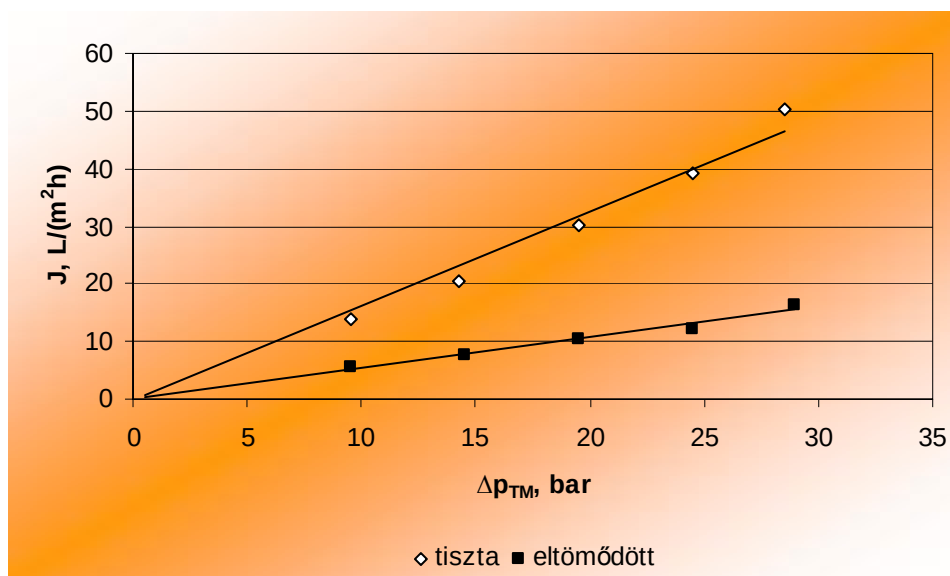


26. sz. diagram: Előszűrt homoktövis lé sűrítmény és szűrlet szárazanyag tartalmának változása
(NF, $Q_{rec}=180$ l/h, $T=25^{\circ}\text{C}$, $\Delta p_{TM}=30$ bar) M6 membrán

Membrán eltömődés vizsgálata

A membrán eltömődés vizsgálatát hasonlóan ez eddigiekhez, a rendszer desztillált vizes kiöblítése után a tiszta membrán kezdeti vízfluxusának megállapításához használt műveleti paramétereken végeztem el ($Q_{rec}=180$ l/h, $T=25^{\circ}\text{C}$, $\Delta p_{TM}=10-30$ bar). A vízfluxus mérések eredményeit a 27. sz. diagram szemlélteti.

Igaz, arányait tekintve hasonló volt az eltömődés mértéke, mint az előszűretlen lénél (5.2.1.2. fejezet), de ebben az esetben a sűrítési arány tízszeres volt, így fajlagosan kisebb mértékűnek tekinthető az eltömődés. A besűrítést követően a membrán mosása következett, amely sikeresnek bizonyult, tehát visszaállítottam az eredeti vízfluxust.



27. sz. diagram: A tiszta és eltömődött vízfluxus diagramja (NF, $Q_{Rec}=180$ l/h, $T=25^\circ\text{C}$, $\Delta p_{TM}=10$ -30 bar), M6 membrán

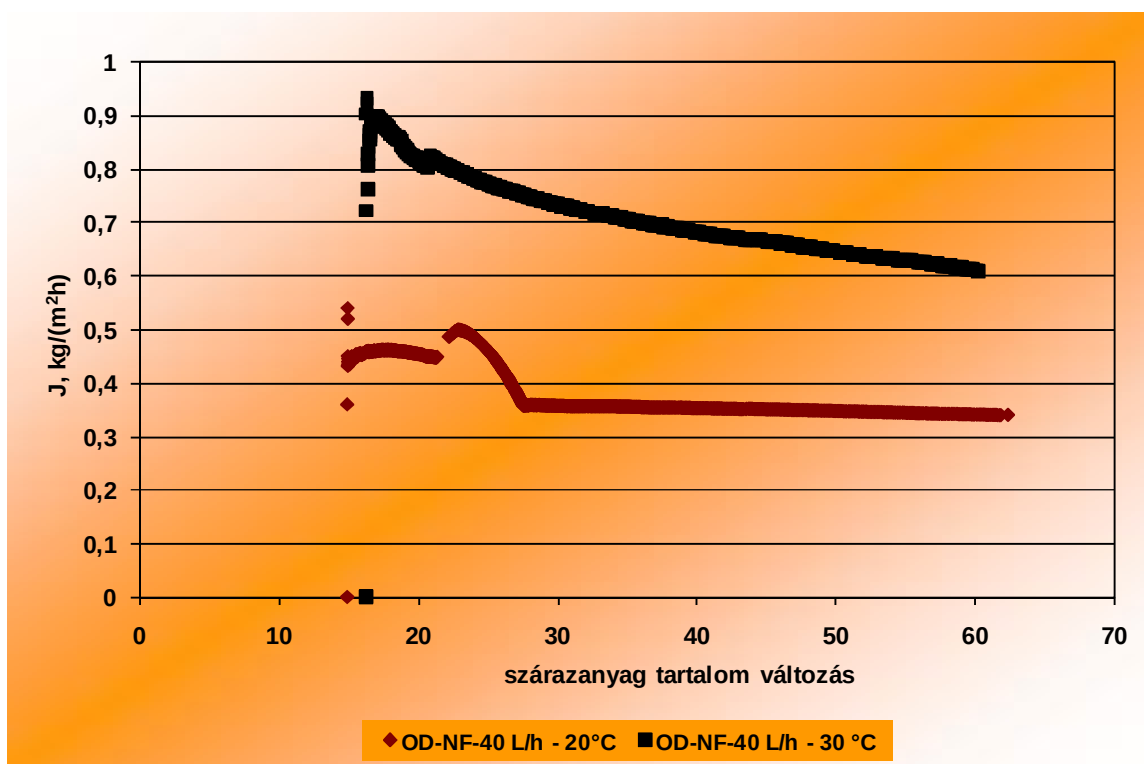
5.2.2.4. A nanoszűrt homoktövis lé koncentrációja ozmotikus desztillációval

A nanoszűrés megfelelőnek bizonyult az előszűrt homoktövis lé elősűrítésére, de az elért szárazanyag tartalom nem elegendő sem a szárítás elvégzéséhez, sem a hűtés nélküli tároláshoz, így a sűrített levet ozmotikus desztillációval sűrítettem tovább. A célom a gazdaságos szárításhoz vagy a szobahőmérsékletű eltartásához szükséges, megközelítőleg 60%-os szárazanyag tartalom elérése volt.

A mérést a következő műveleti paramétereken végeztem el az M10 jelű membránnal (ld. 3. sz. táblázat):

- 30°C -on és 40 l/h térfogatáramon;
- 20°C -on és 40 l/h térfogatáramon.

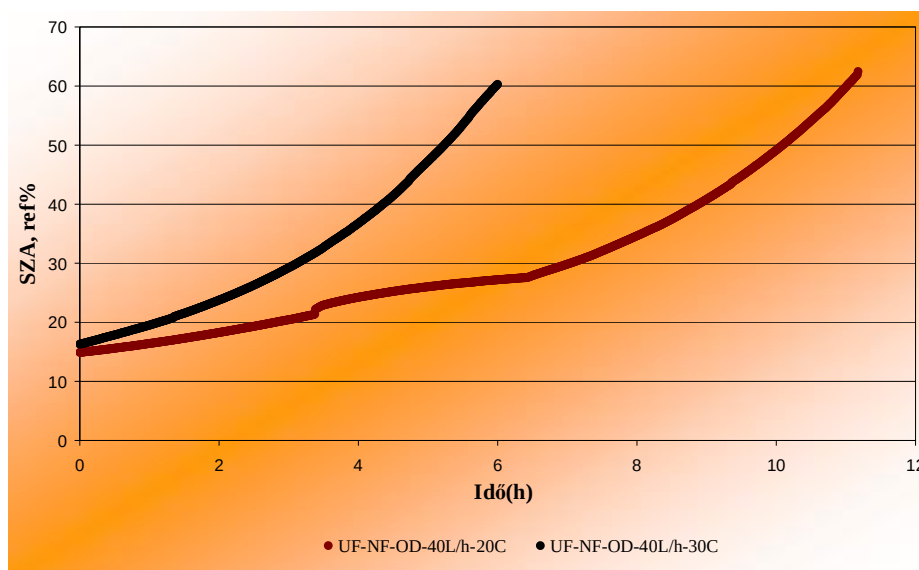
A 28. sz. diagramról jól leolvasható a különböző hőmérsékleteken mért eltérő fluxus adatok, amely alapján elmondható, hogy magasabb hőmérsékleten magasabb fluxust lehet elérni. Az irodalmi adatoknak megfelelően desztillátum képződésére hatással van a hőmérséklet.



28. sz. diagram Fluxus változása homoktövis lé besűrítése alatt (OD, $Q_{rec}=40$ l/h, $T=20-30^{\circ}\text{C}$), M10 membrán

A 29. sz. diagram szemlélteti a szárazanyag tartalom változását az idő függvényében. A kiindulási koncentráció a 20°C -on elvégzett kísérlet esetében 14,9%-os volt, a 30°C -on végzett mérésnél 16,3%-os. Az elért szárazanyag tartalom közel azonos volt mindkét mérés esetében, azaz mindkét hőmérsékleten, de a 20°C -on elvégzett mérésnél a 60 % szárazanyag tartalom eléréséhez kétszer annyi időre volt szükségem, mint a 30°C -on elvégzett mérésnél.

Ugyanaz a következtetés vonható le, mint a vízfluxusok esetén, vagyis a hőmérséklet jelentősen befolyásolja a szárazanyag tartalom változást.



29. sz. diagram: Homoktövis lé sűrítmény koncentráció változása (OD, $Q_{\text{Rec}}=40$ l/h, $T=20-30^\circ\text{C}$), M10 membrán

5.2.2.5 Ultraszűréssel előszűrt homoktövis lé besűrítése fordított ozmózissal

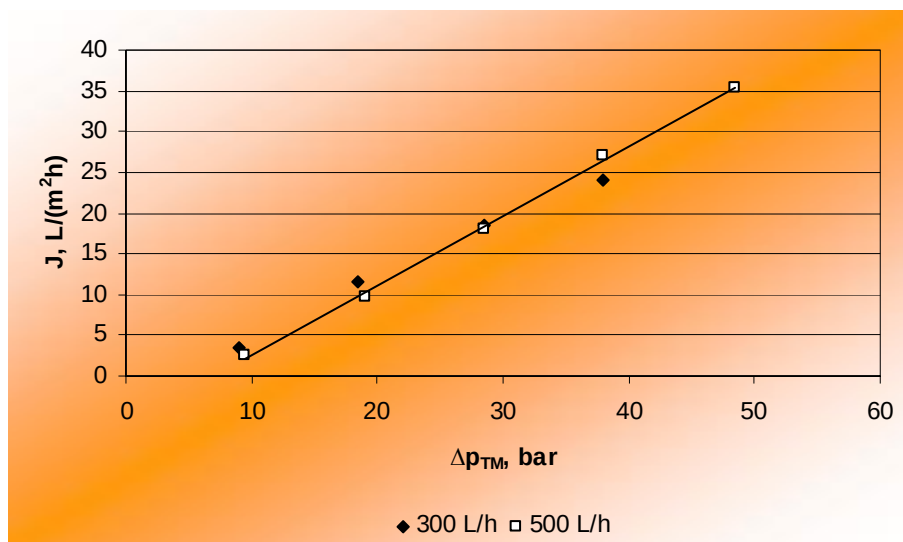
A nanoszűréssel elősűrített, majd ozmotikus desztillációval tovább sűrített homoktövis lé végső szárazanyag tartalma elérte azt az értéket, melyet célnak tűztem ki, de a nanoszűrés során a szűrlet szárazanyag tartalma folyamatosan nőtt, a permeátum érzékszervileg is érzékelhetően tartalmazott színyanyagokat, illetve a homoktövis lére jellemző savanyú ízt. Ezen okok miatt az előszűrt lé elősűrítését megpróbáltam a kisebb pórusméretei és szűrési tulajdonságai (nagyobb nyomás alkalmazhatósága, így magasabb permeátum fluxus, a kisebb pórusméret miatt „csak” a vízmolekulák jutnak át a membránon) miatt a fordított ozmózissal. Az előkísérleteket a következő üzemeltetési paramétereken végeztem el, M8 jelű spiráltekercs RO membránt alkalmazva:

- $Q_{\text{rec}}= 300-500$ l/h
- $T= 25^\circ\text{C}$;
- $\Delta p_{\text{TM}}= 10-50$ bar

Ezek segítségével állapítottam meg a besűrítéshez szükséges legkedvezőbb műveleti paramétereket. A mérések eredményeit a 30. sz. diagram szemlélteti. A diagramról leolvasható, hogy a recirkulációs térfogatáramnak ebben az esetben volt hatása a

szűrlet. A besűrítési kísérletekhez hasonló okok miatt (mint a nanoszűrés esetében is) a fordított ozmózisnál is magasabb recirkulációs térfogatáramot választottam. Az optimális műveleti paraméterek a vizsgált tartományban:

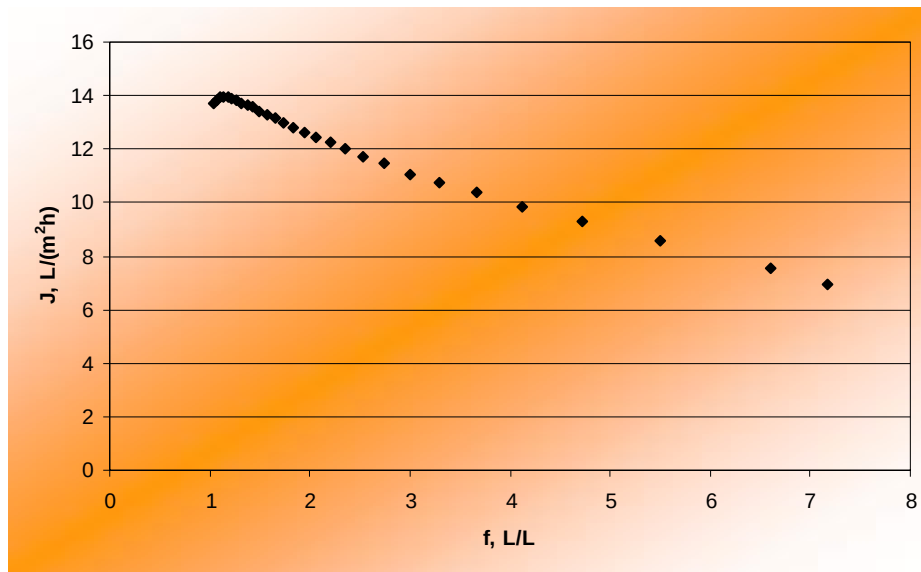
- $Q_{rec} = 500 \text{ l/h}$
- $T = 25^\circ\text{C}$;
- $\Delta p_{TM} = 50 \text{ bar}$.



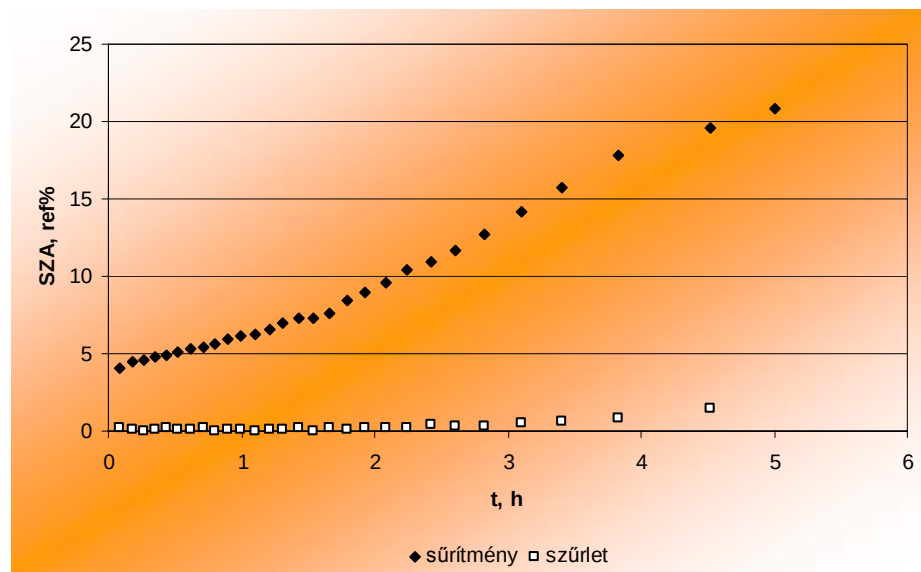
30. sz. diagram: Előszűrt homoktövis lé szűrlet fluxusa (RO , $Q_{rec}=300-500 \text{ l/h}$, $T=25^\circ\text{C}$, $\Delta p_{TM}=10-50 \text{ bar}$), M8 membrán

Előszűrt homoktövis lé besűrítése fordított ozmózissal

A besűrítési kísérletet a legjobb fluxust adó paramétereken végeztem el. A besűrítés eredményét a 31. sz. diagram mutatja be. A fordított ozmózissal történő besűrítés sokkal jobb eredményt hozott, mint a nanoszűréssel elvégzett kísérlet. Alacsonyabb sűrítési arány mellett 20,8 %-os szárazanyag tartalmat értem el (32. sz. diagram) a besűrítés végére a sűrítmény esetén. A besűrítést leállítottam, mivel a mérés végére a permeátum szárazanyag tartalma jelentősen megnövekedett, a kezdeti 0,1 %-os értékről 2 %-ra. Ekkor már halványsárgás színt kapott. A szárazanyag tartalmat minden 500 ml permeátum elvezetése után mértem kézi, digitális refraktométerrel



31. sz. diagram: Előszűrt homoktövis lé besűrítése (RO, $Q_{\text{Rec}}=500$ l/h, $T=25^\circ\text{C}$, $\Delta p_{\text{TM}}=50$ bar), M8 membrán



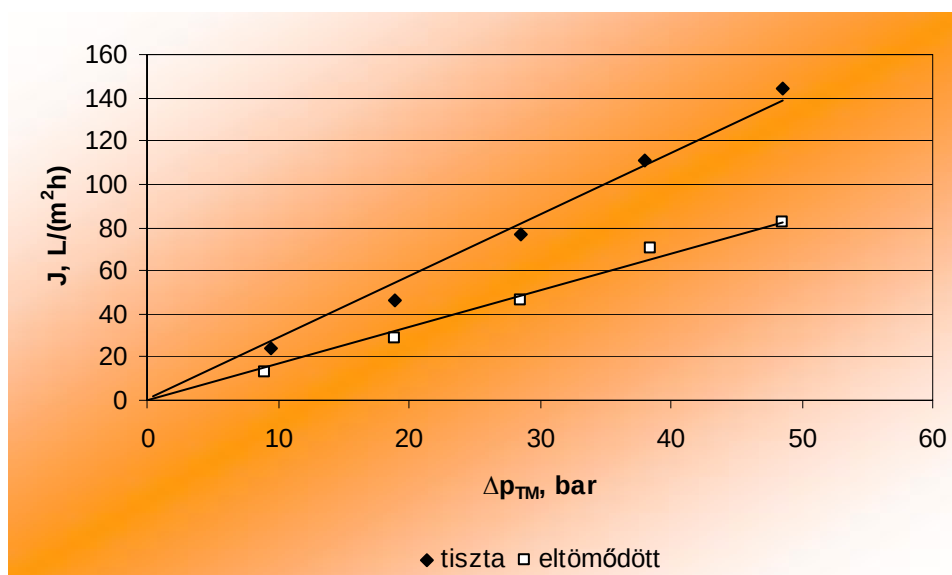
32. sz. diagram: A szárazanyag tartalom változása a besűrítés alatt (RO, $Q_{\text{rec}}=500$ l/h, $T=25^\circ\text{C}$, $\Delta p_{\text{TM}}=50$ bar), M8 membrán

Membrán eltömődés vizsgálata

A membrán eltömődést ebben az esetben is vizsgáltam. Az eltömődött membrán vízfluxusát ugyanazon paraméterek mellett mértem meg, mint a tiszta, kondicionált membrán vízfluxusát ($Q_{rec}=500$ l/h, $T=25$ °C, $\Delta p_{TM}=10-40$ bar).

A mérések eredményét és összehasonlítását a 33. sz. diagram szemlélteti. Látható, hogy a membrán eltömődés mértéke jóval kisebb volt, mint a nanoszűrés esetében, mely magyarázható azzal, hogy a nanoszűrő membrán egy régebbi generációjú, sűrűbb membrán volt, míg az ezeknél a méréseknél alkalmazott fordított ozmózis membrán úgynevezett „low fouling”, alacsony eltömődési képességgel rendelkező membrán volt.

A mérések befejezésével, ennek a membránnak a kezdeti vízfluxusát egyszeri mosással maradéktalanul vissza tudtam állítani.



33. sz. diagram: A tiszta és eltömődött membrán vízfluxusa (RO, $Q_{rec}=500$ l/h, $T=25^\circ\text{C}$, $\Delta p_{TM}=10-40$ bar), M8 membrán

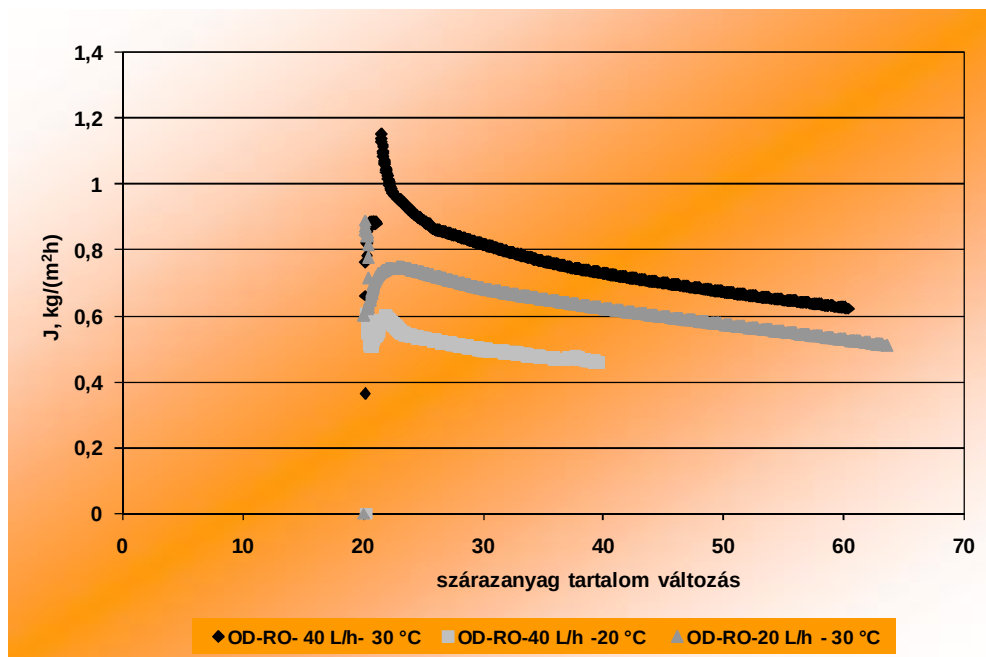
5.2.2.6. A fordított ozmózissal besűrített homoktövis lé koncentrációja ozmotikus desztillációval

Az előszűrt, majd fordított ozmózissal besűrített homoktövis levét ozmotikus desztillációs berendezéssel sűrítettem tovább (M10 jelű membrán, ld. 3. sz. táblázat).

A mérést a következő paraméterek mellett végeztem el:

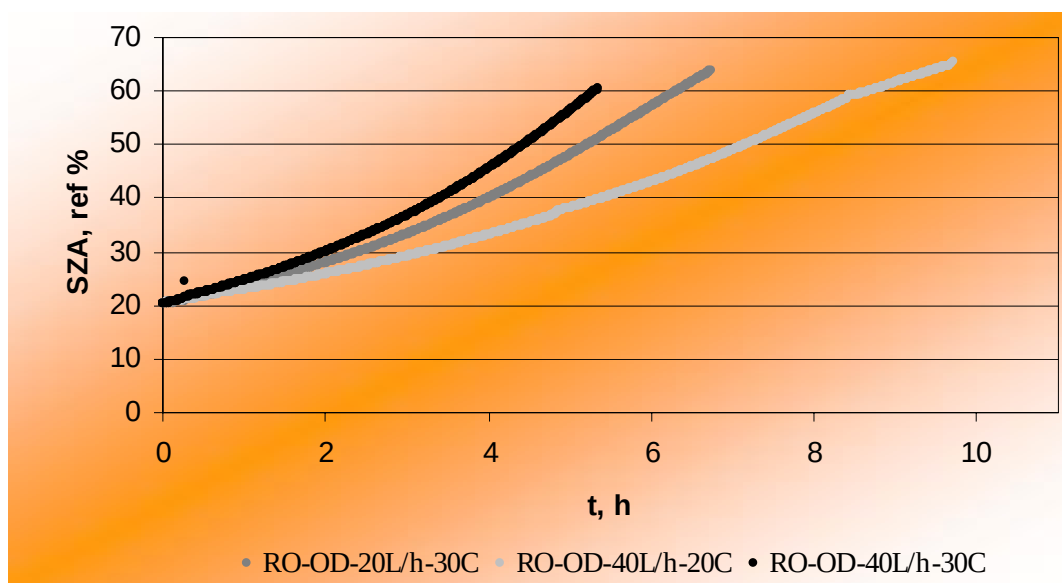
- 30 °C-on és 40 l/h térfogatáramon;
- 20 °C-on és 40 l/h térfogatáramon;
- 30 °C-on és 20 l/h térfogatáramon.

A 34. sz. diagram szemlélteti a fluxus változását a homoktövis szárazanyag tartalom változás függvényében. Jól látható, hogy a legnagyobb fluxust 30 °C hőmérsékleten és 40 l/h térfogatáram mellett érhető el, míg 20 °C-on elérhető maximális fluxus értéke közelítőleg a fele az előzőnek.



34. sz. diagram Fluxus változása homoktövis lé besűrítése alatt (OD, $Q_{rec}=40-20$ L/h, $T=20-30^{\circ}\text{C}$), M10 membrán

A koncentrációt 20 és 30°C-on, valamint 20 és 40 l/h térfogatáramon végeztem el. A kísérletek minden esetben 60 % feletti sűrítmény szárazanyagtartalmat eredményeztek. A legnagyobb különbség a mérések időtartamában volt: a nagyobb térfogatáramon és magasabb hőmérsékleten végrehajtott koncentráció fele annyi időt vett igénybe, mint a kisebb hőmérsékleten, de ugyanakkora térfogatáramon elvégzett mérés során. A szárazanyag tartalom változását a 35. sz. diagram szemlélteti.



35. sz. diagram: Homoktövis lé sűrítmény szárazanyag tartalom változása (OD, $Q_{rec}=40-20$ L/h, $T=20-30^{\circ}\text{C}$), M10 membrán

A előszűrt levek tovább sűrítése meghozta azt az eredményt, amire számítottam. Mind a nanoszűréssel, mind a fordított ozmózissal elősűrített lé tovább koncentráálásával (OD) elértem a minimálisan 60% szárazanyag tartalmat, mely az esetleges szobahőmérsékleten történő eltartásához, mellyel hűtési és tárolási kapacitás szabadul fel.

A membrán érzékszervileg érzékelhető visszatartása, és szárazanyag tartalom növekedése miatt a fordított ozmózis membrán megfelelőbbnek bizonyult a homoktövis lé besűrítésére, azonban ebben az esetben magasabb energia költséggel kell számolnom.

A két eljárás közül dönteni csak a részletes analitikai vizsgálatok és gazdasági elemzés után tudok.

5.3 A homoktövis lé besűrítéséhez kapcsolódó analitikai eredmények és értékelésük

A különböző membránberendezésekkel koncentrált levek analitikai vizsgálatának eredményét a következő fejezetben ismertetem. Az egyes minták jelölését a membránok nagybetűs rövidítésével, valamint a 'sűr.' (sűrítmény), és a 'szűr.' (szűrlet)

(szűrlet) szócskákkal egészítettem ki. Az eredményeket a 4. táblázatban szerepeltettem.

4. sz. táblázat: Az analitikai eredmények összefoglalása friss homoktövislé feldolgozása során³

Minta	pH	Viszkozitás különböző hőmérsékleten [mPas]	Sűrűség [g/cm ³]	Titrlható sav- tartalom [sav%]	Visszatartá s savtart.-ra [%]	Szárazanyag tartalom [m/m%]	Visszatartá s száraz- ra [%]
eredeti lé	2,80	1,53 (25°C)	1,018	2,267	n.a.	4-5	n.a.
UF-sűr.	2,83	1,24 (25°C)	1,017	2,066	-2,95	8,58	57,49
UF-szűr.	2,8	1,11 (25°C)	1,017	2,127		3,65	
UF-NF sűr.	2,88	1,58 (25°C)	1,062	8,487	86,64	23,22	86,00
UF-NF szűr.	2,77	1,07 (25°C)	1,003	1,133		3-3,5	
UF-RO sűr.	3,25	1,88 (30°C)	1,091	12,284	99,87	20,8	94,23
UF-RO szűr.	3,20	0,97 (30°C)	0,999	0,016		0,1-2	
UF-NF-OD sűr.	3,11	16,77 (20°C) 13,63 (30°C)	1,256	35,065	n.a.	64,3	100
UF-RO-OD sűr.	2,95	24,73 (20°C) 16,97 (30°C)	1,277	39,554	n.a.	68,14	100

n.a.: nincs adat

A szárazanyag tartalom eredmények az irodalmi és elvárt adatoknak megfelelőek: az eredeti kezeletlen lé szárazanyag tartalma 6,28%. Ehhez képest az ultraszűrővel előszűrt permeátum értéke majdnem a fele, amely szűrletet utána sűrítjük tovább. A két párhuzamosan elvégzett besűrítés (NF és RO) közül a nanoszűrt értékei a magasabbak, mivel ebben az esetben magasabb volt a sűrítési arány. A szárazanyag tartalom értékekre visszatartást is számoltam, amely szerint - a szakirodalomnak megfelelően - a fordított ozmózis membrán szárazanyag visszatartása a legnagyobb. Ezt követi a nanoszűrő, majd az ultraszűrő membrán visszatartása.

A pH érték adatai szerint nincs szignifikáns különbség az adott berendezéseken előszűrt vagy besűrített levek eredményei között, kivétel az UF-RO szűrlet, amely pH értéke magasabb a többinél.

A táblázatban a mérések hőmérsékletére vonatkoztatott viszkozitás értékeket tüntettem fel. A vártak megfelelően a szűrletek értékei a legalacsonyabbak, ezt követik a sűrítmény adatok UF, NF, RO sorrendben. A legnagyobb viszkozitással az OD koncentrátumai rendelkeznek, ezt bizonyítja az is, hogy ezek sötétbarna színű,

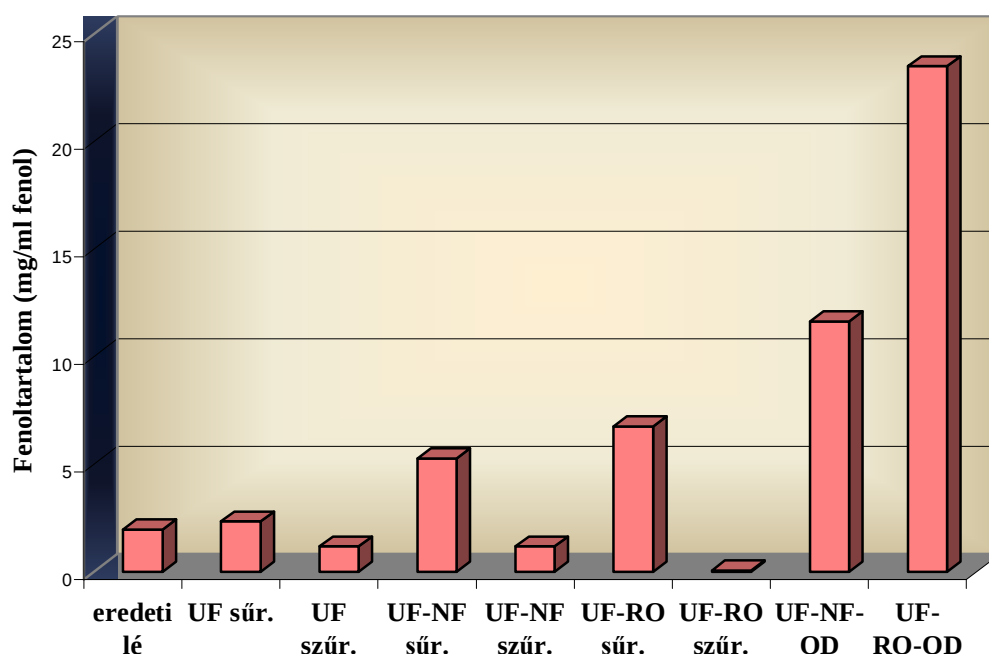
³ 4. sz. melléklet

sűrűn folyó anyagok. A sűrűségadatok hasonló tendenciát követnek, mint a viszkozitás értékei.

Az összes titrálható savtartalom adatokat megvizsgálva látható, hogy az eredeti présléhez képest a nanoszűrés négyszeresére emelte a savtartalmat, a fordított ozmózissal való besűrítés pedig 6-szorosára. A visszatartás százalécai is ezt igazolják. Az ozmotikus desztillációs mérések alapján a titrálható savtartalom további jelentős feldúsulása figyelhető meg.

Az összes polifenol tartalom

Az összes polifenol tartalom két párhuzamos mérésből állt, a 36. sz. ábrán az átlagolt értékeket tüntettem fel, mg/ml polifenol egységben.



36. sz. diagram: A homoktövis minták összes polifenol tartalma⁴

Az eredeti lé és az ultraszűrt lé polifenol-tartalmát összevetve láthatjuk, hogy közel megegyeznek, és a permeátumban is nagy mennyiségben előfordul. A nanoszűrés és a fordított ozmózis esetén kétszeres, háromszoros értékeket láthatunk az eredeti lé adataihoz képest, viszont a permeátumok esetén éppen ellenkező a helyzet: a polifenol tartalmat okozó molekulákat az RO membrán sokkal nagyobb mértékben dúsítja fel, mint a nanoszűrő membrán. A kialakult eredmények igazolására meghatároztam a visszatartás értékeit is.

⁴ 4. sz. melléklet

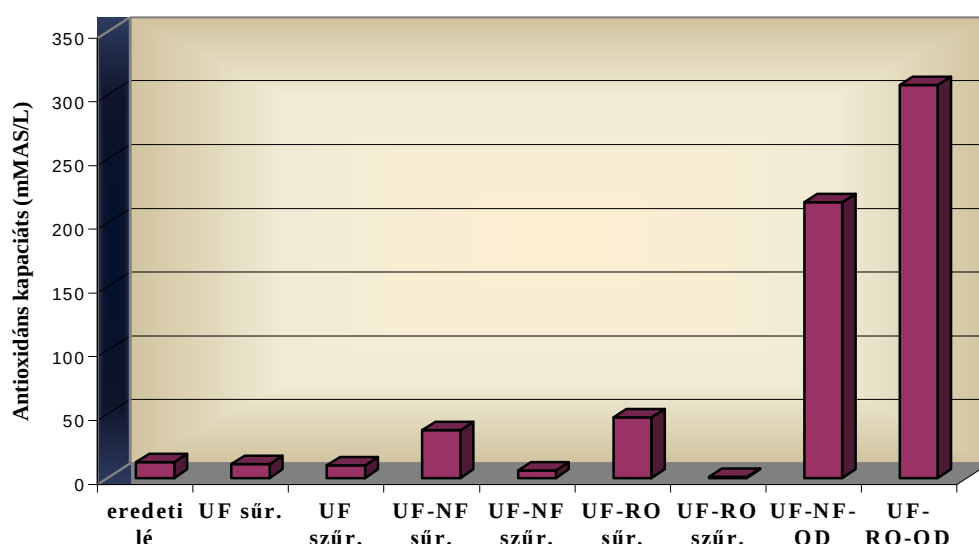
5. sz. táblázat: Különböző membránok polifenol visszatartása

UF visszatartás	NF visszatartás	RO visszatartás
49,8%	77,65%	99,08%

A legmagasabb értékeket az RO-val koncentrált homoktövislénél találjuk, amely az eredeti léhez képest közel háromszoros polifenol-tartalmat jelent, míg az ozmotikus desztillációval továbbbsűrített lé esetében a polifenol tartalom növekedés 9-szeres.

Az antioxidáns kapacitás

A minták antioxidáns kapacitásának mérési eredményeit (37. sz. ábra) vizsgálva ugyanaz figyelhető meg, mint a polifenol-tartalom esetén, vagyis az UF visszatartása a legkisebb, a legnagyobb visszatartással pedig a fordított ozmózis rendelkezik. Az antioxidáns kapacitás növekedése mértéke 15-szörös.



37. sz. diagram: A minták antioxidáns kapacitása⁵

⁵ 4. sz. melléklet

6. sz. táblázat: Különböző membránok antioxidáns kapacitás visszatartása

UF visszatartás	NF visszatartás	RO visszatartás
10,73%	84,85%	98,32%

5.4 Membránszűrési folyamatok matematikai modellezése

Az előző fejezetek alapján látható, hogy a kísérleteimet két nagy témakörben végeztem: kávé extraktum és homoktövis lé besűrítése. Modellezés szempontjából a nanoszűrést és a fordított ozmózist emelem ki, a folyamatok matematikai leírását erre a két membránszűrési eljárásra dolgoztam ki.

A membránszűrési folyamatok matematikai modellezését az alábbi fejezetben tárgyalom. A modellezés bemutatást a kávé extraktum nanoszűréssel történő besűrítésén mutatom be.

A folyamatok matematikai modellezésére a van't Hof összefüggést alkalmaztam:

$$\Delta\pi = (c_R - c_P) \cdot R \cdot T \quad (22)$$

$\Delta\pi$ – ozmózis nyomás (Pa)

c_R – sűrítmény koncentráció (mg/L)

c_P – permeátum koncentráció (mg/L)

R – egyetemes gázállandó (J/(mol*K))

T – hőmérséklet (K)

A szűrlet fluxus meghatározható a membránszűrés folyamán fellépő nyomások különbségének és az összes ellenállás viszkozitással súlyozott hányadosával.

$$J = \frac{\Delta p_{TM} - \Delta\pi}{\eta \cdot R_T}$$

(23)

ahol:

J – szűrlet fluxus (m³/(m²s))

Δp_{TM} – transzmembrán nyomás különbség (Pa)

$\Delta\pi$ – ozmózis nyomás különbség (Pa)

η – dinamikai viszkozitás (Pa*s)

R_T – összes ellenállás (1/m)

$$\Delta\pi = \Delta\pi_R - \Delta\pi_P$$

(23a)

Az ozmózis nyomás különbség kifejezhető a retentátum oldali- és a permeátum oldali ozmózis nyomás különbségeként.

$$\Delta\pi = c_{MR} \cdot R \cdot T - c_{MP} \cdot R \cdot T$$

(23b)

Tekintettel arra, hogy a retentátum koncentráció és a permeátum koncentráció között nagyságrendi különbség van, a permeátum oldali koncentráció/ozmózis nyomás elhanyagolható ($c_P \sim 0$), az előző egyenlet a következőképpen módosul:

$$\Delta\pi = c_{MR} \cdot R \cdot T$$

(23c)

A kísérleteket állandó nyomás és hőmérsékleten végeztem el, így a megfelelő helyettesítések után

$$c_{MR} = k_1 \cdot c_R \quad [\text{ref \%}]$$

(24)

$$\Delta\pi = k_1 \cdot R \cdot T \cdot c_R$$

$$T = \text{áll.}$$

(25)

$$k_1 \cdot R \cdot T = k_2$$

(25a)

$$\Delta\pi = k_2 \cdot c_R$$

(25b)

Majd behelyettesítve a (23) egyenletbe:

$$J = \frac{\Delta p_{TM}}{\eta \cdot R_T} - \frac{k_2}{\eta \cdot R_T} \cdot c_R$$

(23d)

Feltételezve, hogy az összes ellenállás nem változik a folyamat során:

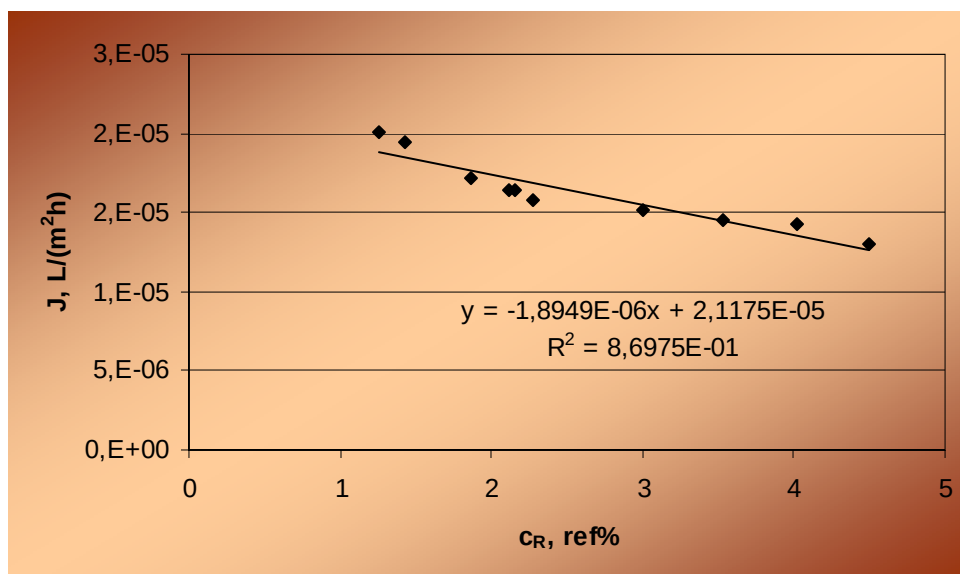
$$a = \frac{\Delta p_{TM}}{\eta \cdot R_T} = \text{áll.}$$

$$b = \frac{k_2}{\eta \cdot R_T} = \text{áll.}$$

A fluxus és a retentátum koncentráció közötti összefüggés pontjaira egyenest illeszthetünk:

$$J = a - b \cdot c_R \quad (23e)$$

A szűrlet fluxust a sűrítmény koncentráció függvényében ábrázolva, a pontokra illesztett egyenes tengelymetszete 'a', iránytangense 'b'.



38. sz. diagram: kávé extraktum besűrítése nanoszűrőssel (20 bar, 25 °C)

Az 'a' paraméter segítségével meghatározható 'R_T', míg az iránytangens segítségével az ozmózisnyomás, Δπ_{számított}.

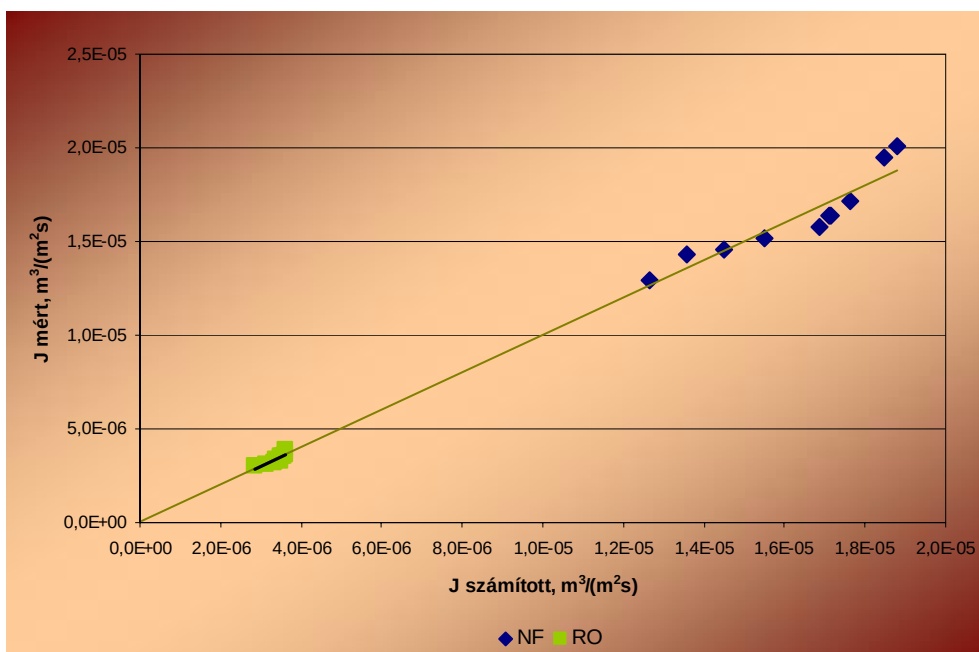
$$R_T = \frac{\Delta p_{TM}}{a \cdot \eta}$$

$$\Delta \pi_{számított} = b \cdot \eta \cdot R_T \cdot c_R$$

A modell segítségével meghatározott fluxus értékeket az alábbi egyenlet alapján számítottam:

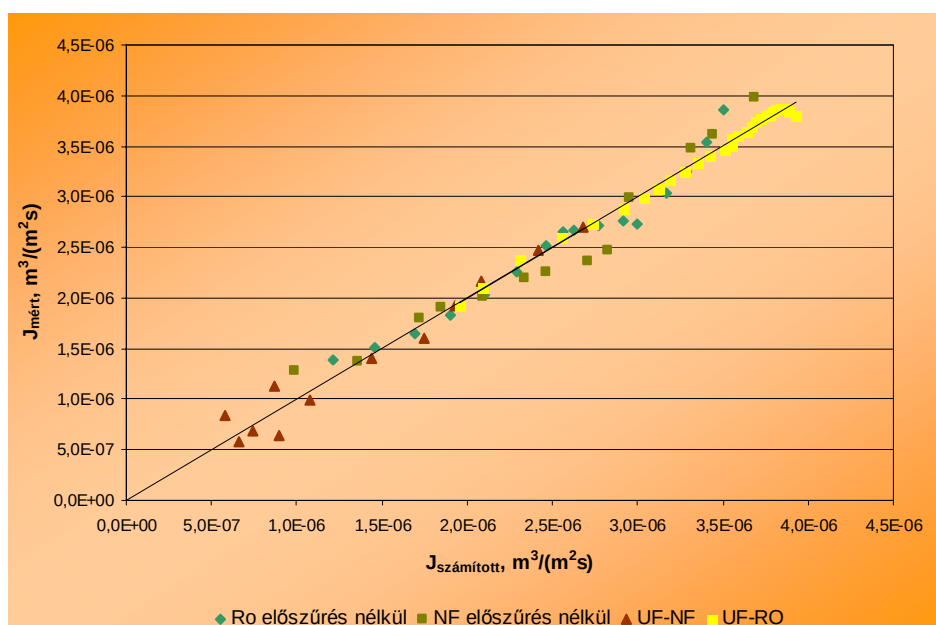
$$J_{számított} = \frac{\Delta p_{TM} - \Delta \pi_{számított}}{\eta \cdot R_T} \quad (26)$$

A 39. számú diagram a modellezés eredményét mutatja be kávé extraktum besűrítésére. Jól látható, hogy a mért és számított fluxus értékek egy azonos egyenesre esnek mind a nanoszűrőssel, mind a fordított ozmózissal végzett kísérletek esetében.



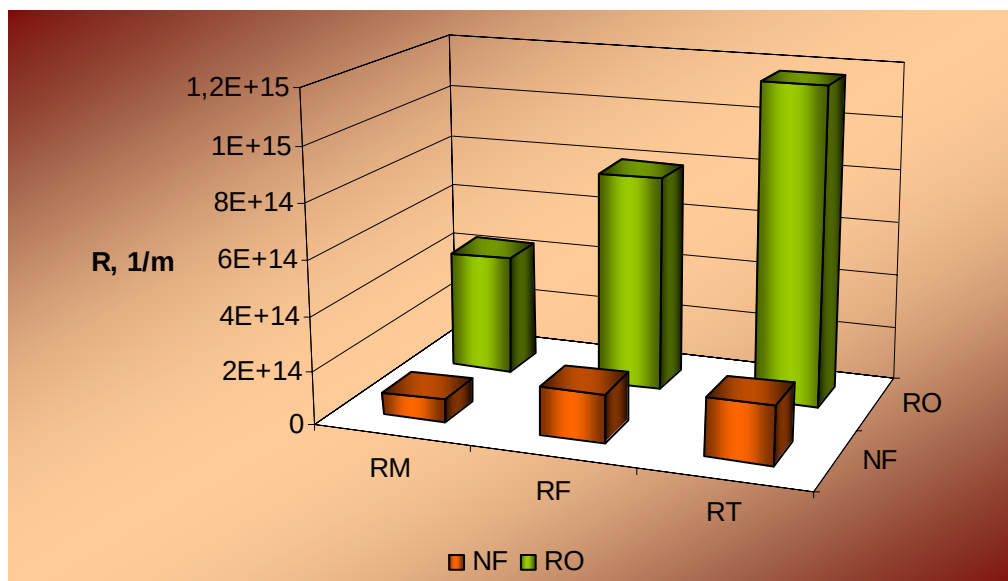
39. sz. diagram: Kávé extraktummal végzett kísérletek matematikai modellezésének eredménye

Az előzőekhez hasonlóan a modellezést elvégeztem a homoktövis lével végzett kísérletek leírására is, melynek eredményét a 40. sz. diagram szemlélteti. Ebben az esetben is látható, hogy a modell segítségével számított és a kísérletek során mért fluxus értékek minden típusú kísérlet esetében egy azonos egyenesre esnek.



40. sz. diagram: Homoktövis lével végzett kísérletek matematikai modellezésének eredménye

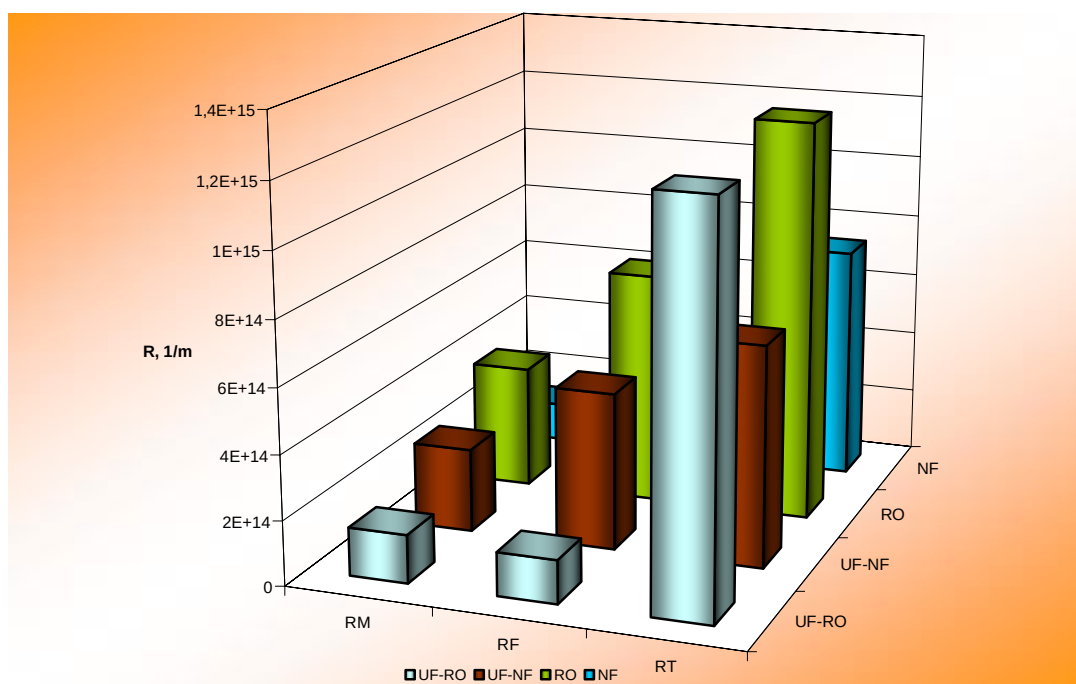
A matematikai modellezés segítségével meghatároztam az egyes membránok összes ellenállását (R_T), illetve az ellenállás modell segítségével membrán- (R_M) és eltömődött membrán (R_F) ellenállást mindkét vizsgált anyag esetében.



41. sz. diagram: Különböző membránok ellenállásai a kávé extraktummal végzett kísérletek esetében

A kávé extraktummal végzett kísérleteknél mindkét membrán esetében látható, hogy az összes ellenállás értéke a legnagyobb, mely magába foglalja a tiszta- és az eltömődött membrán ellenállását is. A RO membrán membrán ellenállása egy nagyságrenddel nagyobb, mint az NF membráné, mely alátámasztja azt a tényt, hogy a fordított ozmózis membrán pórusmérete kisebb, mint a nanoszűrő membráné. Ugyanezzel magyarázható, hogy az RO membrán eltömődési ellenállása jóval nagyobb, mint az NF membrán ugyanezen értéke. A membrán ellenállásokat a 41. sz. diagram foglalja össze.

A homoktövis lével végzett kísérletek estében is a tiszta membránnak a legalacsonyabb az ellenállása, azonban látható, hogy ebben az esetben is a fordított ozmózis membrán ellenállása a legnagyobb, hiszen ennek a membránnak a legkisebb a pórusmérete. Az ultraszűrővel előszűrt levek eltömődött membrán ellenállásai lettek alacsonyabbak, mivel ezekben már nem volt lebegő anyag, így kisebb mértékben tömítették el a membránokat, azonban ebben az esetben a nanoszűrés utáni eltömődött membrán ellenállása nagyobb volt, mint a fordított ozmózisé, mivel a nanoszűrő membrán egy un. első generációs membrán volt, magasabb „fouling” mértékkel, míg a fordított ozmózis membrán már egy „low fouling” membrán. A membrán ellenállásokat 42. sz. diagram szemlélteti.

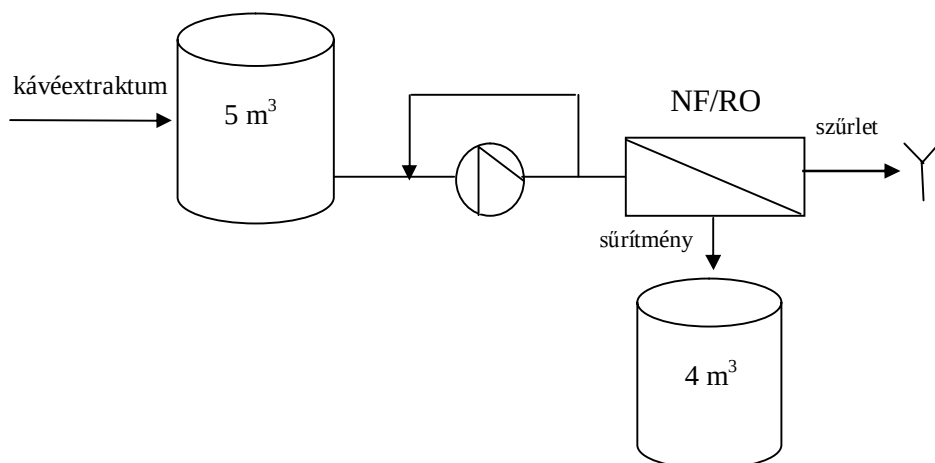


42. sz. diagram: Különböző membránok ellenállásai a homoktövis lével végzett kísérletek esetében

5.5 Üzemi méretű berendezések költségbecslése kávéextraktum és homoktövis lé besűrítésére

5.5.1 Kávéextraktum besűrítéséhez szükséges üzemi berendezés költségbecslése

A kísérletek alapján nem volt egyértelműen eldönthető, hogy a nanoszűrés vagy a fordított ozmózis alkalmasabb a besűrítés elvégzésére, így a költségbecslést mindkét folyamatra elvégeztem, melyek egyszerűsített folyamatábrája a következő, melyen a szükséges tartályok méreteit jelöltem:



10. sz. ábra: Kávéextraktum besűrítéséhez szükséges rendszer folyamatábrája

A gazdaságossági számítások elvégzéséhez szükséges a membránfelület értékének ismerete. A költségbecslés feltételezi, hogy a beruházás nem zöldmezős, a megfelelő infrastruktúra kiépített.

Elképzelésem szerint az üzem heti 5 munkanapon működik, havi 3 napos karbantartással. A kísérletek során 0,25 kg kávéból 10 l kávé extraktumot hoztam ki. Napi 1000 kg kávé feldolgozást ütemezve, a kávéüzem kapacitása 40000 l/nap, azaz 40 m³/nap. Ezen kívül nanoszűrés esetében 77 %-os kihozatalt és 2,678 m³/m²nap szűrletfluxust feltételezve,

fordított ozmózis esetében pedig 77 %-os kihozatalnak és 0,5557 m³/m²nap szűrletfluxusnak vettem az alapadatokat, végeztem el a számítást az alábbi képlet alapján:

$$A_{\text{membrán}} = \frac{K_h \cdot \dot{V}_F}{J} \quad (26)$$

ahol: $\dot{V}_F$ – a kávéüzem kapacitása [m³/nap]

K_h – a kihozatal

J – a permeátum fluxusa [m³/m²nap]

$A_{\text{membrán}}$ – a szükséges membránfelület [m²]

Az adatoknak a fenti képletbe való behelyettesítése után 12 m² szükséges membránfelületet kaptam eredményül nanoszűrés, és 55 m²-t fordított ozmózis esetén, melyhez 8 db 7,1 m²-es membránra van szükség. Ezek alapján elvégezhető az egyszerűsített mérnöki költségbecslés, amely két részből tevődik össze: BERUHÁZÁSI KÖLTSÉG (BK) és ÜZEMELTETÉSI KÖLTSÉG (ÜK).

A beruházási költség általában egyszeri kiadás, de a vásárolt berendezések amortizációjával számolva áttérhetünk a Ft/év dimenzióra. Az összes költség éves szinten a következő egyenlettel írható le:

$$\ddot{OK} = \Sigma BK + \Sigma \ddot{ÜK} \text{ [Ft/év]} \quad (27)$$

ahol $\ddot{OK}$ az összes költség [Ft/év]

ΣBK összes beruházási költség [Ft/év]

$\Sigma \ddot{ÜK}$ összes üzemeltetési költség [Ft/év]

A beruházási költségek elsődleges része a membránmodul beszerzési költsége, ami tartalmazza a membránt, valamint a modulházat. Ipari adatok alapján a nanoszűrő membrán négyzetméterenkénti beépítési árát 100 000 Ft/m²-nek vettem, fordított ozmózis membrán esetén az ár 120 000 Ft/m². A membránok amortizációja 2,5 év. Az így kialakult membrán beruházási költség:

$$BK_m = \dot{A}_m \cdot A_m \cdot \frac{1}{\Theta_m} \quad (28)$$

ahol BK_m a membrán beruházási költsége [Ft/év]

$\dot{A}_m$ a membrán egységára [Ft/m²]

A_m szükséges membránfelület [m²]

Θ_m a membrán amortizációja [év] = 2,5 év

A képlet alapján a nanoszűréshez szükséges membrán költsége 480 000 Ft egy évre vetítve, míg a fordított ozmózis membrán hasonló időszakra érvényes költsége 2 726 400 Ft.

A működő rendszer felépítéséhez szükség van tartályokra és csövezési munkákra, melyek összes költsége az NHZ Kft. 2009. októberi árajánlata alapján 6 100 eFt.

A rendszer működtetéséhez szükséges szivattyú, ultrahangos szintérzékelők, frekvenciaváltó, nyomás távadó, térfogatáram mérő, szabályozó szelep, és vezérlés összes költsége egy működő üdítőital gyár mérnökeivel egyeztetve, árajánlatok alapján 3 080 eFt. A költségek megállapításánál feltételeztem, hogy az üzem rendelkezik a megfelelő hűtőrendszerrel, mely a megfelelő köpenyhűtéshez szükséges.

Ez utóbbi két költség mindkét membrános rendszer esetén érvényes, ezen összetevők amortizációja 15 év.

Az üzemeltetési költség a következőkből tevődik össze:

- Az üzemeltetési költség nagy részét a szivattyú energiaigénye teszi ki.
 $P = Q_{rec} \cdot \tau \cdot \Delta p_{TM} \cdot \eta^{-1}$, ahol Q_{rec} a térfogatáram (NF: 15 m³/h, RO: 15 m³/h), τ az éves működési idő (5 760 h/év), a Δp_{TM} transzmembrán-nyomáskülönbség (NF: 20 bar, RO: 30 bar) és a η szivattyú hatásfoka (70 %).
 A villamos energia egységára 43,51 Ft/kWh.
- Karbantartási költség (szerviz és csereanyagok): 1,7 Ft/m³
- Tisztítási költség (vegyszerek): 2 Ft/m³

Az üzemeltetési költségeket az alábbi táblázat foglalja össze.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

7. sz. táblázat: Kávéextraktum besűrítéséhez szükséges rendszer üzemeltetési költségei

Membrán	Szivattyú energiaigénye eFt /év	Karbantartási költségek eFt/év	Tisztítási költségek eFt /év	Összesen eFt /év
NF	1070	1 600	2 000	4 670
RO	1610	1 600	2 000	5 210

A 8. sz. táblázatban foglaltam össze a kávéextraktum besűrítése során felmerülő beruházási- és üzemeltetési költségeket.

8. sz. táblázat: Költségek összefoglalása

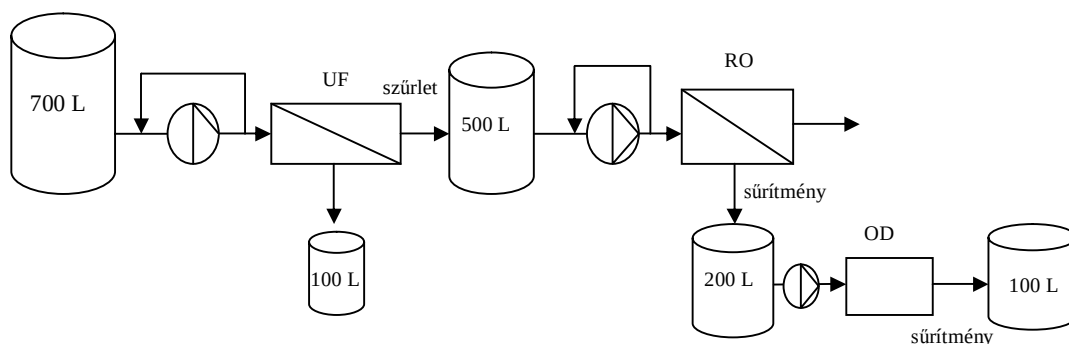
Költségtípus		NF	RO
Beruházási költség, eFt/év	Membrán	480	2 726
	Tartály, csövezés	406	406
	Szerelvények, egyéb	205	205
Üzemeltetési költség, eFt/év		4 670	5 210
Összes költség, eFt/év		5 761	8 547

A költségek összehasonlításából látható, hogy a legjelentősebb eltérés a beruházási költségekben mutatkozik, mely a membrán felületek nagysága miatt keletkezik. Az üzemeltetési költsége között minimális eltérést a fordított ozmózis membrán esetében a szivattyú magasabb energiafelvétele, ezzel annak magasabb költsége okozza.

A megtérülési számítások bemutatásával nem foglalkozom a disszertációmban.

5.5.2 Homoktövi lé besűrítéséhez szükséges üzemi berendezés költségbecslése

A kísérletek alapján a homoktövis lé besűrítéséhez egy háromlépcsős membrán rendszer szükséges, mely egy ultraszűrő membránból, egy fordított ozmózis membránból és egy ozmotikus desztillációs membránból áll. A rendszer folyamatábrája következő, melyen a szükséges tartályok méreteit jelöltem:



11. sz. ábra: Homoktövis lé besűrítéséhez szükséges rendszer folyamatábrája

A gazdaságossági számítások elvégzését a 5.5.1. fejezetben már ismertetett módon végeztem el. A költségbecslés feltételezi, hogy a beruházás nem zöldmezős, a megfelelő infrastruktúra kiépített.

A szezonális miatt a rendszer 60 napig működik, ennyi idő alatt kell a préselés során keletkezett nyers, 100 %-os homoktövis levet feldolgozni. Elképzelésem szerint az üzem napi 600 l homoktövis lé feldolgozását végzi el, két, 8 órás műszakban, azaz napi 16 óra alatt. Az ultraszűrés esetében 80 %-nak vettem a kihozatalt és 3,5 l/m²h szűrletfluxust feltételeztem, a fordított ozmózis esetében 75%-os kihozatalnak és 12,09 l/m²h szűrletfluxusnak vettem az alapadatokat, míg az ozmotikus desztillációnál a kihozatal 30 %, a szűrletfluxus 1,25 l/m²h és ezek alapján végeztem el a számításokat:

$$A_{\text{membrán}} = \frac{K_h \cdot \dot{V}_F}{J} \quad (29)$$

ahol: V_F – a üzem kapacitása [l/h]

K_h – a kihozatal

J – a permeátum fluxusa [l/m^2h]

$A_{\text{membrán}}$ – a szükséges membránfelület [m^2]

A rendszer éves szinten 1800 l 65 ref%-os sűrítményt tud előállítani.

Az adatoknak a fenti képletbe való behelyettesítése után 7,1 m^2 szükséges membránfelületet kaptam eredményül ultraszűrés, és 1,6 m^2 -t fordított ozmózis, és 0,5 m^2 -t az ozmotikus desztilláció esetén. Ezek alapján elvégezhető az egyszerűsített mérnöki költségbecslés, amely két részből tevődik össze: BERUHÁZÁSI KÖLTSÉG (BK) és ÜZEMELTETÉSI KÖLTSÉG (ÜK).

A beruházási költség általában egyszeri kiadás, de a vásárolt berendezések amortizációjával számolva áttérhetünk a Ft/év dimenzióra. Az összes költség éves szinten a következő egyenlettel írható le:

$$\ddot{O}K = \Sigma BK + \Sigma \ddot{U}K \text{ [Ft/év]} \quad (30)$$

ahol $\ddot{O}K$ az összes költség [Ft/év]

ΣBK összes beruházási költség [Ft/év]

$\Sigma \ddot{U}K$ összes üzemeltetési költség [Ft/év]

A beruházási költségek elsődleges része a membránmodul beszerzési költsége, ami tartalmazza a membránt, valamint a modulházat. Ipari adatok alapján az ultraszűrő membrán négyzetméterenkénti beépítési árát 35 000 Ft/ m^2 -nek vettem, fordított ozmózis membrán esetén az ár 120 000 Ft/ m^2 , míg az ozmotikus desztillációnál 540 000 Ft/ m^2 a membrán költsége. A membránok amortizációja 2,5 év. Az így kialakult membrán beruházási költség:

$$BK_m = \dot{A}_m \cdot A_m \cdot \frac{1}{\Theta_m} \quad (31)$$

ahol BK_m a membrán beruházási költsége [Ft/év]

$\dot{A}_m$ a membrán egységára [Ft/ m^2]

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A_m szükséges membránfelület [m^2]

θ_m a membrán amortizációja [év] = 2,5 év

A képlet alapján az ultraszűréshez szükséges membrán költsége 99 400 Ft egy évre vetítve, a fordított ozmózis membrán hasonló időszakra érvényes költsége 76 800 Ft, míg ez a költség 108 000 Ft az ozmotikus desztilláció esetében.

A működő rendszer felépítéséhez szükség van tartályokra (összesen 5 darab) és csövezési munkákra, melyek összes költsége az NHZ Kft. 2009. októberi árajánlata alapján 2 700 eFt.

A rendszer működtetéséhez szükséges szivattyú, ultrahangos szintérzékelők, frekvenciaváltó, nyomás távadó, térfogatáram mérő, szabályozó szelep, és vezérlés összes költsége egy működő üdítőital gyár mérnökeivel egyeztetve, árajánlatok alapján 5 940 eFt. A költségek megállapításánál feltételeztem, hogy az üzem rendelkezik a megfelelő hűtőrendszerrel, mely a megfelelő köpenyhűtéshez szükséges.

Ez utóbbi két költség mindkét membrános rendszer esetén érvényes, ezen összetevők amortizációja 15 év.

Az üzemeltetési költség a következőkből tevődik össze:

- Az üzemeltetési költség nagy részét a szivattyú energiaigénye teszi ki.

UF-Ro rendszerhez szükséges szivattyúk teljesítmény szükséglete: $P_{sz} = Q_{rec} \cdot \tau_{sz} \cdot \Delta p_{TM} \cdot \eta_{sz}^{-1}$, ahol P_{sz} a szivattyú teljesítményszükséglete Q_{rec} a térfogatáram (UF: $1 m^3/h$, RO: $1 m^3/h$), τ az éves működési idő (960 h/év), a Δp_{TM} transzmembrán-nyomáskülönbség (UF: 2 bar, RO: 50 bar) és a η szivattyú hatásfoka (70 %).

Az OD elé beépített szivattyú éves üzemeltetési költsége:

$E_{sz} = \frac{P_{sz} \cdot C_v \cdot \tau_{et}}{\eta_{sz}}$, ahol P_{sz} a szivattyú teljesítményszükséglete (0,8 kW), E_{sz} a szivattyú üzemeltetési költsége, η_{sz} a szivattyú hatásfoka (70 %), C_v a villamosenergia egységára

A villamos energia egységára 43,51 Ft/kWh.

- Karbantartási költség (szerviz és csereanyagok): $1,7 \text{ Ft}/m^3$
- Tisztítási költség (vegyszerek): $2 \text{ Ft}/m^3$

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Az üzemeltetési költségeket az alábbi táblázat foglalja össze.

9. sz. táblázat: Homoktövis lé besűrítéséhez szükséges rendszer üzemeltetési költségei

Membrán	Szivattyú energiaigénye eFt /év	Karbantartási költségek eFt/év	Tisztítási költségek eFt /év	Összesen eFt /év
UF	30	61	72	163
RO	15	51	60	126
OD	47	4	4	55

A 10. sz. táblázatban foglaltam össze a homoktövis lé besűrítése során felmerülő beruházási- és üzemeltetési költségeket, melyből látszik, hogy a legnagyobb költségvonzata a beruházási költségeknek van.

10. sz. táblázat: Költségek összefoglalása

Költségtípus		UF	RO	OD
Beruházási költség, eFt/év	Membrán	99	77	108
	Tartály, csövezés	180		
	Szerelvények, egyéb	396		
Üzemeltetési költség, eFt/év		163	126	55
Összes költség, eFt/év		1 204		

A megtérülési számítások bemutatásával nem foglalkozom a disszertációmban.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

6. 1. Következtetések

1. A kávéextraktum besűrítésére alkalmas a membránszűrés. A költségbecslés alapján a nanoszűrés tűnik gazdaságosnak a megfelelő fluxusértékek mellett. Az elérhető kihozatal 87,5 % volt nanoszűrés esetében.
2. A költségbecslés alapján elmondható, hogy a nanoszűrés alkalmazása a kávéextraktum besűrítésére, 44 %-kal alacsonyabb költséggel jár, mint a fordított ozmózis.
3. A homoktövislé besűrítésére végzett membrános kísérletek biztatóak. A homoktövis előszűrés nélkül és előszűréssel is besűríthető.
4. Előszűrés nélkül a homoktövis lé nehezen sűríthető be. A besűrítési kísérletek során a fluxus értékek időben gyorsan csökkentek, a membrán eltömődés nagy mértékű volt mind a nanoszűrés, mind a fordított ozmózis esetében.
5. A homoktövis előszűrésére az ultraszűrés a megfelelő membránszűrési módszer. Ezzel a tükrösített lével elvégezhetőek a további besűrítési kísérletek, melyek kihozatala < 80 %.
6. Fordított ozmózissal és ozmotikus desztillációval a homoktövis lé esetében elérhető szárazanyag tartalom 65 ref %, amely biztató a további vízelvonás szempontjából.
7. A komplex eljárással a homoktövis értékes komponenseinek koncentrációja 10-12-szeresére növekedett (polifenol tartalom és antioxidáns kapacitás)
8. A homoktövissel besűrítésére felállított komplex rendszer összes költsége 1 204 eFt/év, melyből nagyobb részt, a költségek 60%-át a beruházási költségek adják, míg a maradék 40 %-ot az üzemeltetési költségek.

6. 2. Javaslatok

1. A kávé extraktummal végzett kísérletek tovább gondolásaként érdemes elvégezni az ozmotikus desztillációs és vízelvonási kísérleteket (porlasztva- vagy fagyasztva szárítás).
2. A homoktövissel végzett kísérletek folytatásaként a vízelvonási kísérletek (porlasztva- vagy fagyasztva szárítás) elvégzését tartom szükségesnek.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

I. Kávé extraktum besűrítése céljából végzett kísérletek

1. A nanoszűrés és a fordított ozmózis is alkalmas a kávé extraktum besűrítésre.

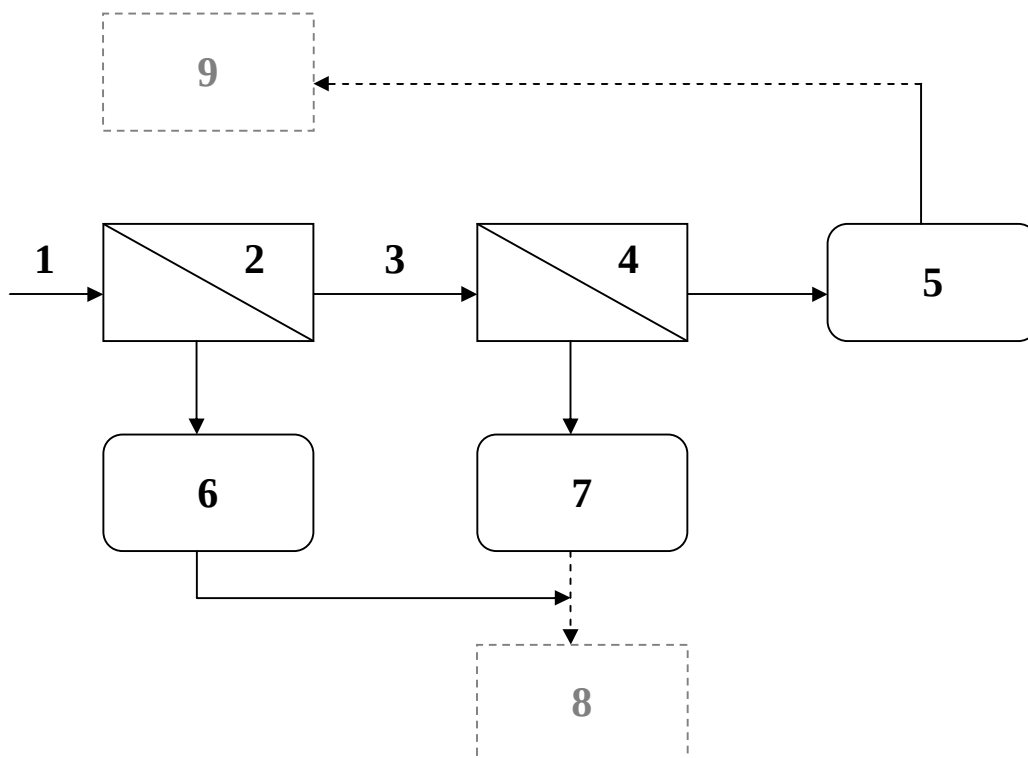
A besűrítéshez lap és spiráltekercs membránt is alkalmaztam. A nanoszűrő membrán NaCl visszatartása 64%, míg a fordított ozmózis membráné 99,8 % volt. Mindkét membrán megfelelő mértékben növelte a kávé szárazanyag tartalmát; NF esetében 45 g/l, míg RO esetében 60 g/l értéket értem el.

2. A gazdasági számítások alapján elmondható, hogy a nanoszűrő membrán esetében az összes költség 5 761 eFt/év, míg RO membrán beépítésével a rendszerbe ez az összeg 8 547 eFt/év. A fordított ozmózis membrán üzemeltetési költsége 10% magasabb, mint a nanoszűrő membráné.

II. Homoktövis lével végzett kísérletek

1. A homoktövis lé a benne lévő olajok és rostok miatt nehezen sűríthető be előszűrés nélkül, azonban nanoszűréssel és fordított ozmózissal is elértem szárazanyagtartalom növekedést; mindkét alkalmazott membrán esetében négyeszeres növekedést értem el 4 ref %-ról 16 ref %-ra
2. Az előszűrést elvégeztem fagyasztott és hőkezelt, valamint friss bogyóból készült lével mikroszűrő membrán alkalmazásával. A MF membrán 0,45 μm pórusméretű kerámia csőmembrán volt. Mind a friss, mind a fagyasztott bogyóból készült lé gyorsan eltömítette a membránt, a membrán nem lehetett tisztítani, azonban a frissen préselt lével (40 l/(m²h)) négyszer magasabb permeátum fluxus értéket értem el a besűrítés alatt, mint a fagyasztott bogyóból készült lével (10 l/(m²h)).
3. Az előszűrést friss bogyóból préselt lével és ultraszűréssel végeztem el. Az UF membrán 100 kDa vágási értékű, PAEK (poliariléterketon) üreges csőmembrán volt. A UF membrán alkalmazásával tükrös levet kaptam, melynek szárazanyag tartalma 3,65 ref% lett.

4. Az előszűrés után elvégeztem a levek elősűrítését NF- (85 % NaCl visszatartású spiráltekeres membrán) és RO (99,8 % NaCl visszatartású spiráltekeres membrán) membránokkal. A nanoszűrt sűrítmény szárazanyag tartalma 16 brix° lett, míg a szűrlet szárazanyag tartalma 3 Brix°-ra emelkedett, így a visszatartás 86 % volt. RO esetében a szárazanyag tartalom 20,8 Brix°-ra nőtt a besűrítés során. Az RO membrán visszatartása 94,23% lett szárazanyag tartalomra vonatkoztatva.
5. Az elősűrítés után elvégeztem a levek végsűrítését ozmotikus desztilláció (0,2 µm pórusméretű kapillárcső membrán) alkalmazásával. A nanoszűrt lé szárazanyag tartalma 62 ref%, míg a fordított ozmózissal besűrített lénél ez az érték 64,3 ref% lett a végsűrítés után.
6. Az elvégzett analitikai vizsgálatok alapján elmondható, hogy a besűrített homoktövis lé (UF-RO-OD) polifenol tartalma a kiindulási léhez képest kilencszeresére növekedett (2,5 mg/ml → 22,5 mg/ml), míg az antioxidáns kapacitása tizenötször (20 mMAS/l → 300 mMAS/l) lett magasabb.
7. A kísérletek alapján az alábbi komplex rendszert dolgoztam ki a homoktövis lé besűrítésére:



1. homoktövis présle
2. mikroszűrő berendezés
3. előszűrt homoktövis lé
4. fordított ozmózis berendezés
5. szűrlet/víz
6. lebegő anyagok
7. homoktövis sűrítmény
8. porlasztva szárítás
9. mosás

8. A gazdasági számítások alapján elmondható, hogy komplex rendszer összes költsége 1 204 eFt/év, ahol az üzemeltetési költségek az összes költség 28,6%-át teszik ki, míg a maradék 72,4% a beruházási költség.

III. Matematikai modellt állítottam fel mind a kávéval, mind a homoktövissel végzett kísérletekre.

1. A van't Hoff egyenlettel leírhatók a folyamatok mindkét vizsgált anyag esetében. A modell segítségével az következő egyenletet határoztam meg a számított permeátum fluxus kifejezésére.

$$J_{\text{számított}} = \frac{\Delta p_{TM} - \Delta \pi_{\text{számított}}}{\eta \cdot R_T}$$

2. A modell segítségével meghatároztam mindkét vizsgált anyag esetében, minden felhasznált membrán ellenállását. Megállapítottam, hogy minden esetben a membránok összes ellenállása a legmagasabb, míg a tiszta membrán ellenállása a legalacsonyabb. Szintén megállapítottam, hogy a nanoszűrő membrán ellenállása minden esetben alacsonyabb, mint a fordított ozmózis membráné.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A jó minőségű élelmiszeripari termékek előállítását megköveteli a gazdasági verseny. Munkám során egészséges, magas beltartalmi értékekkel rendelkező félkész termékek, sűrítmények gazdaságos előállítását tűztem ki célomul.

A kávé sűrítmény előállításához nanoszűrést és fordított ozmózist használtam. Megállapítottam, hogy a mindkét típusú membránszűrési eljárás alkalmas a kávé extraktum hatékony besűrítésére, azonban a költségbecslés alapján a nanoszűrést javaslom, mint lehetséges alkalmazási forma.

A homoktövis lével végzett kísérleteim során megpróbáltam a lé előszűrés nélküli besűrítését nanoszűréssel és fordított ozmózissal, melyek nem hoztak eredményt, mivel a membránok gyorsan eltömődtek, tisztításuk az egyéb esetekben használt eljárással nem volt megfelelő, nem tiszta membrán vízfluxusa nem volt visszaállítható. Ugyanez mondható el a 0,45 µm-es kerámia mikroszűrő csőmembránnal végzett előszűrésről is. Az előszűrt lé tükrös lett, alkalmas volt a további kísérletekre, azonban a membrán tisztítása nem hozott megnyugtató eredmény.

A kísérleteket elvégeztem friss bogyóból és fagyasztott bogyóból préselt levekkel is, melyek alapján a friss bogyóból készült lé volt alkalmasabb a besűrítésre.

Az ultraszűréssel (100 kDa vágási értékű kapillár csőmembrán) végzett előszűrési kísérleteknél a permeátum fluxusa alacsony volt, azonban a membrán könnyen tisztítható volt, így ezt az előszűrést sikeresnek tekintettem. Az előszűrt levet nanoszűréssel és fordított ozmózissal sűrítettem tovább. Mindkét módszer megfelelőnek bizonyult, így tovább folytattam a kísérleteket, és ozmotikus desztillációval 60 ref % feletti szárazanyag tartalomra sűrítettem be a homoktövis levet. A fordított ozmózissal elősűrített lé végső szárazanyag tartalma 65 ref % lett, így ezzel dolgoztam ki egy komplex eljárást a homoktövis lé besűrítésére, és végeztem el a folyamat költségbecslését.

Elvégeztem az analitikai vizsgálatokat is, amely alapján a polifenol tartalom 9-szeresére, míg az antioxidáns kapacitása 15-szörösére növekedett a kiindulási léhez képest a komplex eljárás során.

8. CONCLUSION

Producing high quality products is important in food industry and in the market.

During the experiments my main objectives were to produce healthy semi finished products, concentrates in an economical way.

Nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO) were used for coffee experiments. It was established that both membrane procedure are able to use for coffee concentration, but based on cost calculation, nanofiltration was chosen.

Concentration of seabuckthorn with nanofiltration and reverse osmosis without using any type of prefiltration was not successful, because the membranes were fouled so fast, it was not able to reset the initial pure water flux of the membranes. It can be also told about 0,45 μm pore size microfiltration membrane, which was used for prefiltration. The juice was clear, and it could be used for further experiments, but cleaning of the membrane was so difficult.

Experiments were also carried out with juices squeezed from fresh and frozen berries. Based on these experiments it can be told, that juice from fresh berries is better for concentration.

At ultrafiltration (cut off 100 kDa) the permeate flux was low, but the membrane could be cleaned. The prefiltrated juice was concentrated with nanofiltration and reverse osmosis. Both methods were successful, so concentration was continued using osmotic distillation (OD) over 60 ref% total soluble solid content.

Total solid content of juice preconcentrated with RO after osmotic distillation was 65 ref %, that's why the complex system was carried out with these methods, and cost calculation was also done for this system.

Analytical experiments were also carried out for seabuckthorn. The total phenol content of the juice was nine time higher, while antioxidant capacity of the juice was 15 times higher after concentration, than the initial juice.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. inventors.about.com/od/cstartinventions/a/coffee.htm
2. www.itdg.org/docs/technical_information_service/coffee.pdf
3. www.sspindia.com/food_processing/industry/instant-tea-coffee-plant.html
4. C. Allagré et.al. 2006: Cholesterol removal by nanofiltration: Applications in nutraceuticals and nutritional supplements; Journal of Membrane Science 269, pp. 109-117
5. Ávarez, S. et al. 2000, New integrated membrane process for producing clarified apple juice and apple juice aroma concentrate Journal of Food Engineering 46 pp.109-125
6. Atkinson C. , Bank M., McFadden C. 2004 Nagy Kávét Enciklopédia; Jászöveg Műhely Kiadó
7. Bernáth J. (szerk.) 1993. Vadon termő és termesztett gyógynövények. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
8. Bernáth J. (szerk.) 2000. Gyógy-és aromanövények. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
9. Bernáth J., Földesi D. 1992. Seabuckthorn: a promising new medicinal and food crop. J. Herbs, Spices and Medicinal Plants 1(1/2): 27-35.
10. Bessabarov, D., Twardowski, Z. 2002 Industrial application of nanofiltration – new perspectives Membrane Technology
11. Bíró Gy., Lindner K. 1999. Tápanyagtáblázat. Medicina Könyvkiadó Rt. Budapest.
12. Centenaro, G., Capetti, G.P., Pizzocaro, F., Marchesini, A. 1977. The fruit of the sea buckthorn as a source of vitamin C. Anali dell' Instituto Sperimentale per la valorizzazione Tecnologica dei Prodotti Agricoli. 8: 63-70.
13. Cheng, T.J., Li T.J., Duan, Z.X., Cao, Z.J., Ma, Z.R., Zhang, P.Y. 1990. An experiment on acute toxicity of sea-buckthorn pulp oil and protective effect of the oil against experimental hepatic injury. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine. 15: 45-47.
14. Cuvelier, M.E., Richard, H., Berset, C. 1996. Antioxidative Activity and Phenolic Composition of Pilot-Plant and Commercial Extracts of Sage and Rosemary. J Am Oil Chem Soc. 73: 645-650.
15. Dános B. 1998. Farmakobotanika 3. Gyógynövényismeret. Egyetemi tankönyv.
16. Demeczky M., Khell M., Godek E. 1978. Membránszeparáció. Élelmezési Ipar. 11: 450-453, 12: 454-459
17. Dörnyei J. 1981. Pillanatoldó élelmiszerek gyártása
18. Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition, Vol. 2, Academic Press, London, 1993
19. R. Ghosh 2003: Novel cascade ultrafiltration configuration for continuous, high-resolution protein-protein fractionation: a simulation study; Journal of Membrane Science 226., pp. 85-99
20. Häkkinen, S., Heinonen, M., Kärenlampi, S., Mykkänen, H., Ruuskanen, J., Törrönen, R. 1999. Screening of selected flavonoids and phenolic acids in 19

- berries. Food Research International. 32 (1999) 345-353.
21. Hirschberg F. (1976): Instantizálás, instant termékek
22. Hoffmann K., Wágner J. 1903. Magyarország virágos növényei. Állami Könyvterjesztő Vállalat Reprint sorozata.
23. Hornok L. (szerk.) 1990. Gyógynövények termesztése és feldolgozása. Mezőgazdasági Kiadó Vállalat. Budapest.
24. Huang, Q., Zhao, H., Wang, B., Zong, D. 1991. The development and utilization of sea-buckthorn in Mongolia. *Hippophae* 2: 43-46.
25. Iirkina, M., Shishkina . 1976. Sea-buckthorn food products. Sadovostov. 8: 29.
26. Kalinina, I.P., Panteleyeva Y.I. 1987. Breeding of sea buckthorn in the Altai. In: Advances in Agricultural Science. Moscow, Russia. P. 76-87.
27. Kallio, H., Yang, B., Peippo, P., Tahvonen, R., Pan, R. 2002. Triacylglycerols, glycerophospholipids, tocopherols and tocotrienols in sea-buckthorn *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis* and ssp. *mongolica* berries and seeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50. 3004-3009.
28. Kéry Á. (szerk.) 2003. Gyógynövényekkel az egészségért. Gyógynövények, növényi drogok és készítményeik ismerete. Kereskedeli és Idegenforgalmi Továbbképző Kft. Budapest.
29. Ma, Z., Cui, Y., Feng, G. 1989. Studies on the fruit character and biochemical compositions of some forms within the Chinese sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*) in Shanxi. China. In: Proceedings of International Symposium on Sea Buckthorn (*H. rhamnoides* L.), Xian. China. p. 106-112.
30. Mei-E, Y., Ting-Fu J., Yan-Ping S. 2003. Fast determination of flavonoids in *Hippophae rhamnoides* and its medicinal preparation by capillary electrophoresis using dimethyl- β -cyclodextrin as modifier. Chinese Academy of Sciences. Lanzhou. China.
31. Mironov, V.A. 1989. Chemical composition of *Hippophae rhamnoides* of different populations of the USSR. Proc. Int. Symp. Sea-buckthorn. Xian. China. 67-69.
32. MSZ 3619-1983: Az összes titrálható savtartalom meghatározása
33. MSZ ISO 6557-2: Aszkorbinsav tartalom meghatározása
34. Mulder M. (1997): Basic Principles of Membrane Technology. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers
35. Muszbek N., Koncz T., V. Hajdú P., Ádány R. 2002. Daganatos betegségek korai felismerésére irányuló populációs szintű szűrőprogramok egészség-gazdaságtani elemzése – rendezett irodalmi áttekintés. Magyar Onkológia. 46: 119-129.
36. P. S. Negi, A. S. Chauhan, G. A. Sadia, Y. S Rohinishree, R. S. Ramteke – Antioxidant and antibacterial activities of various seabuckthorn (*Hippophaea rhamnoides* L.) seed extarcts 2004 Food Chemistry (elérhető a www.sciencedirect.com oldalon)
37. Ozerinina, O.V., Berezhnaya, G.A., Vereshchagin, A.G. 1997. Triacylglycerol composition and structure of sea buckthorn fruits grown in different regions. Russian Journal of Plant Physiology. 44: 62-69.
38. Pallas Nagy Lexikon
39. Pap E. 1998. Feledékenységre homoktövis. Kertbarát Magazin. 21: 9.34.
40. Petri G. 1999. Fitoterápia az orvosi gyakorlatban. Springer Orvosi Kiadó. Budapest.

41. Porpáczy A., Soltész M. 1998 Integrált Gyümölcstermesztés Mezőgazda Kiadó
42. Porter M. C. (1990): Handbook of industrial membrane technology. New Jersey, USA: Noyes Publications
43. Rongsen, A. 1992. Seabuckthorn a multi-purpose plant species for fragile mountains. ICIMOD Occasional paper No. 20. Khatmandou. Nepal. 62.
44. Rousi, A., Aulin, H. 1977. Ascorbic acid content in relation to ripeness in fruits of six H. r. clones from Pyhäntä, SW Finland. Annales Agriculturae fenniae. 16: 80-87.
45. Römpö Vegyészeti Lexikon; Műszaki Könyvkiadó 1984
46. Shapiro, D.C., Anikhimovskaya, L.V., Narizhnaya, T.I. 1979. Chemical composition of sea- buckthorn grown in Belorussia. Konservnaya i Ovoshchesushil'naya Promyshlennost. No.10. 23-24.
47. Singleton, V.L., Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phospholybdic-phosphotungstic acid reagents. Am. J. Enol Vitic 16. 144-158.
48. Soltész M. (szerk.) 1997. Integrált gyümölcstermesztés. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
49. Souci, S.W., Fachmann, W., Kraut, H. 1989. Die Zusammensetzung der Lebensmittel. Nährwert- Tabellen 1989/90. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft GmbH. Stuttgart.
50. J. Stastová, J. Jez, M. Bártlová, H. Sosová 1996. Rate of the vegetable oil extraction with supercritical CO₂-III extraction from sea buckthorn (Chemical Engineering Science, Vol. 51. No. 18. p. 4347-4352
51. Stocker, O. 1948. Tiroler Sanddorn (Hippophae rhamnoides L.) als Vitamin C-Höchstleistungspflanze. Züchter. 19: 9-13. (in German)
52. Stoll K., Gremminger U. 1986. Besondere Obstarten. Ulmer Kiadó. Stuttgart.
53. Szabadalmi Közlöny, Eljárás homoktövis értékes anyagának a kinyerésére és feldolgozására 1991.02.28. SZKV/1991.02.
54. Yao, Y. 1994. Genetic diversity, evolution and domestication in sea- buckthorn. University of Helsinki. Helsinki. (Phd Dissertation).
55. Yang, B., Kalimo, K., Tahvonen, R., Mattila, L., Katajisto, J., Kallio, H. 2000. Effect of dietary supplementation with sea buckthorn (Hippophae rhamnoides) seed and pulp oils on the fatty acid composition of skin glycerophospholipids of patients with atopic dermatitis. Journal of Nutritional Biochemistry. 11: 338-340.
56. Yang, B., Kallio, H. 2001. Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn (hippophae rhamnoides) berries of different origins. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49: 1939-1947.
57. Yang, B. 2001. Lipophilic components in seeds and berries of sea buckthorn and physiological effects of sea buckthorn oils. Phd thesis book. University of Turku. Turku. Finland : Tema-Team.
58. Wahlberg, K., Jeppsson, N. 1992. Development of cultivars and growing techniques for sea-buckthorn, blackchokeberry, honeysuckle and rowan. Sveriges Lantbruksuniversitetet Balsgård-Avdelningen för Hortikulturell. Vaxföreläring Samrådsberättelse. 1990-1991: 86-100.
59. Wolf, D., Wegert, F. 1993. Experience gained in cultivation, harvesting and utilization of sea-buckthorn. Cultivation and Utilization of Wild Fruit Crops. Bernhard Thalacker verlag GmbH & Co. 29-33.

60. Zhang, W. 1989. Preliminary study of biochemical constituents of sea-buckthorn berries growing in Shanxi Province and changing trend. Proc. Int. Symp. Sea-buckthorn. Xian, China. 96-105.

JELÖLÉSEK

$A_{\text{membrán}}$	A membrán aktív felülete	$[m^2]$
$\dot{A}_{\text{membrán}}$	A membrán ára	$[Ft/m^2]$
a, n	Állandók	
BK	Beruházási költség	$[Ft/év, Ft/m^3]$
c	Koncentráció	-
c_B	A főtömeg koncentrációja	-
c_G	A gélréteg koncentrációja	-
c_M	A membrán felületén az oldott anyag koncentrációja	-
c_P	A permeátum koncentrációja	-
c_R	A permeátum koncentrációja	-
C_V	A villamos energia egységára	$[Ft/kWh]$
E_{SZ}	Szivattyúk üzemeltetési költsége	$[Ft/év]$
f	Sűrítési arány	$[m^3/m^3]$
J	Fluxus, a membrán áteresztőképessége	$[L/(m^2h)]$
$J'_{\text{víz}}$	Az ionmentes víz fluxusa	$[m^3/(m^2s)]$
J_{Perm}	Fluxus	$[m^3/(m^2nap)]$
ÖK	Összköltség	$[Ft/év, Ft/m^3]$
Q_{rec}	Recirkulációs térfogatáram	$[L/h, m^3/s]$
R	Visszatartás	$[\%]$
R	Egyetemes gázállandó	$[J/molK]$
R_F	Az eltömődésből eredő ellenállás	$[1/m]$
R_G	A gélréteg ellenállása	$[1/m]$
R_H	A határréteg ellenállása	$[1/m]$
R_M	A membrán ellenállása	$[1/m]$
R_P	A polarizációs réteg ellenállása	$[1/m]$
Re	Áramlási Reynolds-szám	-
Re_K	Keverési Reynolds-szám	-
Sc	Schmidt-szám	-

JELÖLÉSEK

Sh	Sherwood-szám	-
t	Idő	[h]
τ_{sz}	Szivattyú éves üzemeltetési idő	[h/év]
T	Hőmérséklet	[°C, K]
ÜK	Üzemeltetési költség	[Ft/év, Ft/m ³]
V _F	A betáplált elegy térfogata	[L]
V _R	A retentátum térfogata	[L]
β	A koncentráció-polarizáció mértéke	-
ρ	Sűrűség	[kg/m ³]
η	Dinamikai viszkozitás	[Pas]
η_{sz}	Szivattyú hatásfoka	-
$\Delta\pi$	Az ozmózisnyomás-különbség	[Pa]
Δp_{TM}	transzmembrán nyomás-különbség	[bar], [Pa]
θ	Amortizációs idő	[év]

MELLÉKLETEK

1. sz. melléklet

Homoktövis feldolgozása (kivonat a Szabadalmi Közlönyből)

A homoktövis gyümölcsét kiperéselik és a présléhez literenként 1-4 g foszforsavat és 2-10 mg butil-hidroxi-toluolt adnak. A törkölyt 2-3% foszforsavat és 25-30% etil-alkoholt tartalmazó vízzel két lépésben hidegen extrahálják. Az 1. lépésben kapott préslevet és a 2. lépésben kapott extraktumot egyesítik, a felülúszó olajos fázist eltávolítják, majd a levet dekantálják és szükség esetén derítik vagy szűrik, a léhez adott esetben 1-3% 1,2-propándiol és 0,2-0,8% propolisz kivonatot adnak, és betöményítik. A betöményített levét a már jól ismert módon cukor, gyümölcslé vagy gyümölcssűrítmény, esetenként aromaanyag és/vagy egyéb adalékanyag hozzáadásával magas vitamintartalmú élelmiszerré, előnyösen zselévé, szörppé vagy szörpkoncentrátummá dolgozzák fel.

Bár a homoktövis sok előnyös tulajdonsággal rendelkezik, feldolgozása és tárolása igen sok gondot okoz, mert tárolás közben könnyen romlik, értékes hatóanyagtartalma erősen csökken. A megfelelő feldolgozási, tárolási, kezelési és stabilitási technológia hiánya nehezíti, gyakran lehetetlenné teszi a homoktövis-gyümölcs felhasználását.

A szabadalmi leírásban ismertetett komplex technológia lehetővé teszi a homoktövis gyümölcsének korszerű feldolgozását, a benne lévő értékes anyagok maximális kinyerését és hosszabb időn történő veszteségmentes megőrzését, stabilizálását.

A találmány alapja az a felismerés, hogy ha a homoktövis gyümölcs kiperéselt levéhez meghatározott mennyiségű foszforsavat és butil-hidroxi-toluolt adunk, a préslé nem erjed meg, nem oxidálódik és a mikróbas fertőzések is elkerülhetők, sőt több éven át tartó tárolás is lehetővé válik, ha a fenti két komponensen kívül 1,2-propán-diol és propolisz kivonatot is adunk a présléhez. A préselés után visszamaradt homoktövis törkölyből további jelentős mennyiségű értékes anyag, például C vitamin és karotin nyerhető ki foszforsavat és etil-alkoholt tartalmazó vízzel végzett extrakcióval. A préslé és a törköly extraktumának egyesítésével kapott anyagból magas vitamintartalmú és sok egyéb értékes anyagot tartalmazó élelmiszerek állíthatók elő.

A találmány szerinti eljárás előnye, hogy segítségével a homoktövis értékes anyagai gyakorlatilag veszteségmentesen kinyerhetők, hosszú időn át változatlan formában eltarthatók és a kapott kivonatból az eddigieknél több értékes anyagot tartalmazó élelmiszerek állíthatók elő.

2. sz. melléklet

Szabályozások, kivonat a Magyar Élelmiszerkönyvből

Instant kávé (Magyar Élelmiszerkönyv 2-86 Instant kávékeverék)

Olyan termék, amelyet kávékeverékből kizárólag vizes extrakcióval állítanak elő. Granulátum vagy por formájú termék, amelyet pörkölt kávé és egy vagy több különböző fajta szénhidráttartalmú növény (pótkávé) tisztított, szárított és pörkölt részeiből nyernek.

Előállítási folyamat: A pörkölt kávé és pótkávé(ka)t őrlés, megfelelő arányú keverés után vizes extrakciónak vetik alá, majd az extraktumból porlasztva vagy fagyasztva szárítással készül az instant kávékeverék. Esetenként a keveréket granulálják. Előfordul, hogy az instant kávé és az instant pótkávé utólag keverik össze.

Minőségi követelmények:

Fizikai és kémiai jellemzők

- Idegenanyag-tartalom nincs megengedve
- Vízben oldódó szárazanyag-tartalom* legalább 95,0% (m/m)
- Vízben oldhatatlan rész* legfeljebb 5,0% (m/m)
- Víztartalom legfeljebb 6,0%
- Koffeintartalom* legalább 0,5% (m/m)
- Koffeintartalom* a koffeinnel dúsított termékek esetében legfeljebb 1,5% (m/m)

Érzékszervi jellemzők

- *Szín, külső:* Az instant kávékeverék lisztfinomságú, grízszerű vagy különböző méretű granulátum. Színe egyöntetű, a világosbarnától a sötétbarnáig terjed. Az

* szárazanyagra vonatkoztatva

ízesített kávékeverék színe a felhasznált anyagokra jellemző. Állaga laza, csomóktól mentes.

- **Íz, illat:** Az instant kávékeverék íze és illata a felhasznált alapanyagokéra jellemző. Az ízesített instant kávékeverék íze és illata a felhasznált ízesítőanyagokra és a kávékeverékre jellemző.

Az instant kávékeverék részletes érzékszervi jellemzőit és a termék vizsgálatra történő előkészítését a gyártmánylapnak kell tartalmaznia.

Jelölés, Megnevezés. Instant kávékeverék vagy azonnal oldódó kávékeverék. A felhasznált instant pótkávé mennyiségére utalni kell a megnevezéssel azonos látómezőben. A „pótkávé” szó helyettesíthető a felhasznált pótkávéfajta nevével is. Fantázianév használata megengedett. Például: Instant kávékeverék, 20% instant pótkávéval. Azonnal oldódó kávékeverék, 60% instant pótkávéval. Instant kávékeverék 50% instant cikóriával.

Egyéb jelölés. Ízesített instant kávékeverék esetében az ízesítőanyagra, koffein hozzáadása esetén annak tényére utalni kell a megnevezéssel azonos látómezőben. Az ital készítésére vonatkozó elkészítési módot fel kell tüntetni.

Homoktövisből készült termékek jellemzői

A homoktövisre és a belőle készült koncentrátumra, gyümölcsporra az alábbi előírások vonatkoznak:

Gyümölcslevek és egyes hasonló, emberi fogyasztásra szánt termékek

I. A termékek megnevezései, meghatározásai és jellemzői

(1) (a) Gyümölcslé

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

Citrusfélék esetén a gyümölcslevet az endokarpiumból kell nyerni. A limettalé azonban előállítható a teljes gyümölcsből olyan megfelelő kinyerési eljárással, amellyel a gyümölcs külső részéből származó összetevők aránya a lében minimálisra csökkenthető.

(b) Koncentrátumból (sűrítmenyéből) előállított gyümöclslé

Olyan termék, amelyet a gyümöclslé besűrítése során kivont vízmennyiség, valamint a gyártási folyamatban a léből elveszett, saját vagy azonos típusú aroma, – és ha szükséges – velő és rostok visszapótlásával állítanak elő.

A hozzáadott víz kémiai, mikrobiológiai és érzékszervi szempontból nem befolyásolhatja a gyümöclslé alapvető minőségét.

Az így előállított terméknek olyan érzékszervi és analitikai jellegzetességeket kell mutatnia, amelyek alapvetően megegyeznek az azonos típusú gyümöclsből az (a) pont szerinti eljárással készült termékével.

(2) Sűrített gyümöclslé

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

(3) Gyümöclslé por

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

Engedélyezett eljárások és segédanyagok:

- mechanikai kivonási eljárás;
- sűrített gyümöclslevek előállítására a szokásos fizikai eljárások alkalmazhatók, beleértve (a szőlő kivételével) a gyümöclsök ehető részének in-line vizes extrakcióját (diffúzió) is, feltéve, hogy az így nyert sűrített gyümöclslevek megfelelnek az I. fejezet 1. pontjának;
- szőlőlé esetében, ahol a kénezéshez kén-dioxidot használnak, megengedett a fizikai eljárással végzett kéntelenítés, ha a végtermékben jelen levő kén-dioxid teljes mennyisége nem haladja meg a 10 mg/l-t;
- pektinbontó enzimek;
- fehérjebontó enzimek;

- keményítóbontó enzimek;
- étkezési zselatin;
- csersavak;
- bentonit;
- szilícium aerogél;
- aktív szén (faszén);
- kémiaailag inaktív szűrési segédanyagok (pl.: perlit, mosott kovaföld, cellulóz, oldhatatlan poliamid, polivinil-polipirrolidon, polisztirol), amelyek megfelelnek az élelmiszerekkel érintkezésbe kerülő anyagokról és eszközökről szóló MÉ előírásainak;
- kémiaailag inaktív adszorpciós segédanyagok, amelyek megfelelnek az élelmiszerekkel érintkezésbe kerülő anyagokról és eszközökről szóló MÉ előírásainak, valamint amelyeket a citruslevek limonoid- és naringintartalmának csökkentésére használnak anélkül, hogy jelentősen befolyásolnák a limonoid glükozid-, sav- és cukor- (beleértve az oligoszaharidokat) vagy ásványianyag-tartalmát.

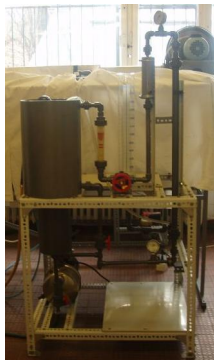
4. számú melléklet az 1-3-2001/112. számú előíráshoz

Gyümölcsnektárokra vonatkozó speciális előírások

Gyümölcsnektár a következő gyümölcsből	Minimális gyümölcslé- vagy/és pürétartalom (térfogatszázalékban a késztermékben)
<i>I. Savas levű gyümölcsök, élvezhetetlenek a természetes állapotukban</i>	
Golgotavirág (maracuja) gyümölcse	25
Quito narancs	25
Fekete ribizli	25
Fehér ribizli	25
Piros ribizli	25
Piros ribizli	25
Egres	30
Homoktövisbogyó (Hippophae)	25
Kökény	30
Szilva	30
Ringló	30

3. sz. melléklet

A mérések során használt berendezések fényképei



Mikroszűrő berendezés M1



Spiráltekerces nanoszűrő és fordított ozmózis berendezés M6/M8



Nanoszűrő lapmembrán M5



Ozmotikus desztillációs berendezés
M10

MELLÉKLETEK

4. sz. melléklet

Analitikai mérések eredményei

pH mérés

Minta	pH1	pH2	pH3	átlag pH
eredeti	2,77	2,85	2,78	2,8
UF sűrítmény	2,85	2,87	2,77	2,83
UF szűrlet	2,74	2,81	2,84	2,796666667
UF-NF sűrítmény	2,77	2,95	2,93	2,883333333
UF-NF szűrlet	2,75	2,77	2,79	2,77
UF-RO sűrítmény	3,18	3,28	3,28	3,246666667
UF-RO szűrlet	3,2	3,26	3,23	3,23
UF-NF-OD	3,12	3,11	3,11	3,113333333
UF-RO-OD	3,05	2,92	2,89	2,953333333

sűrűségmérés

Minta	ρ1	ρ2	ρ3	ρátlag
eredeti	1,01789	1,01823	1,01801	1,018043333
UF sűrítmény	1,01689	1,01688	1,01691	1,016893333
UF szűrlet	1,01672	1,01672	1,01681	1,01675
UF-NF sűrítmény	1,06475	1,05528	1,06509	1,061706667
UF-NF szűrlet	1,00022	1,00736	1,00004	1,00254
UF-RO sűrítmény	1,09069	1,0908	1,0908	1,090763333
UF-RO szűrlet	0,99907	0,99908	0,99907	0,999073333
UF-NF-OD	1,25822	1,24949	1,25944	1,255716667
UF-RO-OD	1,27648	1,27706	1,27792	1,277153333

titrálható savtartalom mérés

Minta	fogyás1	fogyás2	fogyás3	átlag fogyás	faktor	sav %	hígítás
eredeti	4,15	3,6	3,6	3,783333333	1,00005	0,253496008	
UF sűrítmény	3,4	3,45	3,5	3,45	1,00005	0,231161558	
UF szűrlet	3,35	3,45	3,35	3,383333333	1,00005	0,226694668	
UF-NF sűrítmény	6	6,5	6,4	6,3	1,00005	0,84424221	
UF-NF szűrlet	1,8	1,8	1,75	1,783333333	1,00005	0,119489308	
UF-RO sűrítmény	9,2	8,7	8,7	8,866666667	1,00005	1,18819274	
UF-RO szűrlet	0,3	0,2	0,2	0,233333333	1,00005	0,015634115	
UF-NF-OD	1,2	1,25	1,2	1,216666667	1,00005	3,2608297	20
UF-RO-OD	1,25	1,25	1,25	1,25	1,00005	3,3501675	20

Összes fenol tartalom és antioxidáns kapacitás számítás

S.sz.	Minta	Folin-C	MeOH	NaCO3	Pr.	C	A	A					
		1250	200	1000	50			0,089					
					100			0,195	0,0935				
					150			0,268					mMAS/l
			50		200			0,352	mg/ml fenol				
1.	homtöv.1.1.	1250	240	1000	10		0,698	0,703	1,872994652	homtöv.1.1.	10	0,308	11,05092593
2.	1.2.						1,046	1,051	2,803475936	1.2.	10	0,298	10,69212963
3.	2.1.						0,438	0,448	1,184491979	2.1.	10	0,285	10,22569444
4.	2.2.						0,434	0,436	1,163101604	2.2.	10	0,256	9,185185185
5.	3.1.				10x10		0,248	0,254	6,711229947	3.1.	10	1,382	49,58564815
6.	3.2.						0,252	0,258	6,818181818	3.2.	10	1,265	45,38773148
7.	4.1.		200		50		0,132	0,133	0,070855615	4.1.	0	0,224	0,803703704
8.	4.2.						0,101	0,102	0,054278075	4.2.	0	0,22	0,789351852
9.	5.1.				10x10		0,198	0,207	5,414438503	5.1.	10	1,071	38,42708333
10.	5.2.						0,189	0,196	5,147058824	5.2.	10	1,021	36,63310185
11.	6.1.				10		0,436	0,444	1,176470588	6.1.	10	0,165	5,920138889
12.	6.2.						0,438	0,448	1,184491979	6.2.	10	0,152	5,453703704
13.	7.1.				100x10		0,041	0,043	11,22994652	7.1.	100	0,596	213,8425926
14.	7.2.						0,042	0,048	12,03208556	7.2.	100	0,611	219,224537
15.	8.1.				10x10		0,873	0,882	23,46256684	8.1.	100	0,819	293,8541667
16.	8.2.						0,877	0,885	23,55614973	8.2.	100	0,9	322,9166667

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT KÖZLEMÉNYEK

IF-es folyóiratcikk

- [1] **I. Vincze**, Gy. Vatai (2004): Application of nanofiltration for coffee extract concentration; *Desalination*, 162, p. 287-294.
- [2] **I. Vincze**, É. Stefanovits-Bányai, Gy. Vatai (2006): Concentration of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice with membrane separation; *Separation and Purification Technology*. 57, p. 455–460. ISSN 1383-5866.
- [3] **I. Vincze**, É. Stefanovits-Bányai, Gy. Vatai (2006): Using nanofiltration and reverse osmosis for the concentration of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice; *Desalination*, Volume 200, Issues 1-3, p 528-53
- [4] Á. Kozák, Sz. Bánvölgyi, **I. Vincze**, I. Kiss, E. Békássy Molnár, Gy. Vatai (2008): Comparison of integrated large-scale and laboratory-scale membrane processes for the production of black currant juice concentrate, *Chemical Engineering and Processing*, 47:1171-1177

Lektorált cikk

- [5] **Vincze I.**, Vatai Gy.(2005): Homoktövis (*Hippophae rhamnoides* L.) lé besűrítése membránszűréssel; *Membrántechnika*, 2005. október, 38-47. o.
- [6] **Vincze I.**, Bányainé Stefanovits É., Vatai Gy. (2006): Homoktövis (*Hippophae rhamnoides* L.) lé sűrítmény előállítása membránszűréssel; *Olaj, Szappan, Kozmetika*, 2006. LV. Évfolyam, 3. szám; 2006. július-szeptember; p. 90-94. HU ISSN 0472-8602

Teljes anyag hazai konferencia kiadásban

- [7] **Vincze I.**, Vatai Gy.(2004): Kávéextraktum besűrítése nanoszűréssel: modellezés és gazdaságossági vizsgálatok; XII. Membrántechnikai Konferencia, Budapest, 2004. szeptember 2. 61-66. o. ISBN 963-9319-42-2

Teljes anyag nemzetközi konferencia kiadványban

- [8] **I. Vincze**, É. Stefanovits-Bányai, Gy. Vatai (2005): Concentration of sea-buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice with membrane separation; PERMEA, Lengyelország, Polanica Zdrój; (CDROM)
- [9] **I. Vincze**, É. Stefanovits-Bányai, Gy. Vatai (2006): Element composition of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice concentrated by membrane filtration, 7 th International Symposium on Metal elements in environment, medicine and biology, 06-08. 11. 2006. Proceedings, p. 339-342. ISBN (13) 978-973-620-238-4
- [10] **I. Vincze**, É. Bánfi, Á. Kozák, Gy. Vatai (2007): From the plantation to the table: using complex membrane process for the concentration of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice, PERMEA 2007, Membrane Science and Technology Conference of Visegrad Countries, Siófok, Magyarország, konferencia-kiadvány (CD) ISBN 978-963-9319-69-1

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, **Dr. Vatai Gyulának** dolgozatom elkészítésében nyújtott áldozatkész segítségét. Köszönöm, hogy mindvégig segítségemre volt, bármilyen problémával fordulhattam hozzá.

Köszönöm **Békássyné Dr. Molnár Erikának**, hogy magas szintű szakmai tanácsaival és ötleteivel mindvégig segítségemre volt.

Szeretném megköszönni az Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék dolgozóinak, a volt és jelenlegi PhD hallgatóknak, hogy rengeteg gyakorlati segítségük és tanácsuk mellett megfelelő hangulatot biztosítottak a munkához, és önzetlenül segítettek nekem a homoktövis szüreteken.

Külön köszönöm **Dr. Márki Editnek, Danics Istvánné Áginak, Bánvölgyi Szilviának és Román Andrásnak**, hogy a szakmai segítségük mellett barátként is mindvégig mellettem álltak.

Köszönöm azoknak a diákoknak, **Bánfi Évának, Zelenyánszki Annának, Ábrók Zsuzsannának, Tóvári Lajosnak és Bekecsné Nagy Máriának** a lelkiismeretes és kitartó munkáját, akik TDK- ill. diploma-dolgozatuk készítése során segítségemre voltak.

Köszönet jár **dr. Berta Zoltánnak** (Bio-Drog Berta Kft), aki kiemelkedő segítséget nyújtott a homoktövissel kapcsolatos méréseimben, azzal, hogy a megfelelő mennyiségű bogyót biztosította, ill. az iparban szerzett gyakorlati tapasztalatait megosztotta velem; **Bányainé Dr. Stefanovits Évának**, aki szakmailag végig támogatott az analitikai mérésekben; **Beszédes Sándornak**, aki szabadidejét nem kímélve olvasta át disszertációm és hasznos tanácsaival látott el, **Sümegei Lénárdnak és Seszták Dánielnek**, hogy segítettek egy működő rendszer összeállításában. Nagyon köszönöm a segítségüket.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni **Anyának, Apának, Beátának, Kristófnak, Petra Annának, Péternek, Lorának és barátaimnak**, hogy mindvégig mellettem álltak, biztattak, és hittek benne, hogy be tudom fejezni disszertációm.

