



Pannon Egyetem

Vegyésmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola

DOI:10.18136/PE.2017.656

Bogyós gyümölcsök levének besűritése kíméletes, membrán szeparációs eljárással

DOKTORI (Ph. D.) ÉRTEKEZÉS

Készítette:

Boór András
Okleveles környezetmérnök

Témavezetők:

Bélafiné Dr. Bakó Katalin
Egyetemi tanár

Dr. Nemestóthy Nándor
Egyetemi docens

Pannon Egyetem

Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutató Intézet

Veszprém
2017

**BOGYÓS GYÜMÖLCSÖK LEVÉNEK KONCENTRÁLÁSA KÍMÉLETES,
MEMBRÁN SZEPARÁCIÓS ELJÁRÁSSAL**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:

Boór András, okleveles környezetmérnök

Készült a Pannon Egyetem Vegyészmérnöki- és Anyagtudományok
Doktori Iskolája keretében

Témavezetők: **Bélafiné Dr. Bakó Katalin**, intézetigazgató, egyetemi tanár
Dr. Nemestóthy Nándor, egyetemi docens

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton%-ot ért el,

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló neve: igen /nem

.....

(aláírás)

Bíráló neve: igen /nem

.....

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján%-ot ért el.

Veszprém,

.....

a Bíráló Bizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése

.....

Az EDHT elnöke

Kivonat

A tudomány és a technológia fejlődése lehetővé teszi számunkra, hogy az élet minden területén új, innovatív megoldások szülessenek, nem kivétel ez alól az élelmiszeripar sem. Kutatásom során a húsos som, a kökény, a lisztes berkenye és a fekete bodza gyümölcseiből nyert levek kíméletes, membrános besűrítését tűztem ki célul.

A kísérleti munka során először a vadon termő, színes, bogyós gyümölcsökből leveket állítottam elő, s pektináz enzimek alkalmazásával 10 %-os lékihozatal növelést értem el.

Az így előállított levek víztartalmát membránokon keresztül, szelektív transzport segítségével csökkentettem, amihez két membrán szeparációs módszer, az ozmotikus desztilláció (OD) és a membrán desztilláció (MD) kombinációját használtam (ozmotikus- és membrán desztilláció – ODMD). A gyümölcsleveket a kíméletes, membrános eljárással sűrítettem be 60 tömeg %-os értékre. A folyamat során elérhető átlag fluxus értékek 0,4-1,5 l/m²h voltak.

A kísérletek bebizonyították az eljárás hatékonyságát a beltartalmi értékek megőrzésére vonatkozóan. Az antioxidáns, összfenol, antocianin és C-vitamin tartalom mérésével a koncentrált gyümölcslevekből visszahígított és a friss levek jellemzőit hasonlítottam össze. Méréseim eredményeként megállapítottam, hogy a sűrítmények megőrizték hasznos beltartalmi értékeiket 70-80 %-át.

Az eljárás további fejlesztése végett több-lépcsős kaszkád rendszert terveztem. Szacharóz modell oldatokat használva új, egyszerűsített anyagátadási modellt állítottam fel, melynek segítségével az ODMD rendszerre jellemző anyagátadási tényezőt határoztam meg. Majd a gyümölcslevek besűrítését a modell szerint 2-, 3- és 4-lépcsős kaszkád rendszerekben vizsgáltam. A kísérletekkel bizonyítottam az rendszer hatékonyságát. A kaszkád rendszer segítségével az ozmotikus ágens (CaCl₂ oldat) regenerálása nélkül, 15-21 %-kal rövidebb koncentrálnálási idő alatt lehet végrehajtani a gyümölcslevek töményítését.

Abstract

The development of science and technology provides new and innovative approaches in every field of life; the food industry is not an exception either. During my experiments, I have reached a significant 10 % raise in the juice gained from cornelian cherry, blackthorn, rowanberry and elderberry fruits by dosing pectinase enzymes.

I have decreased the water content of the produced juices, through membranes, with the help of selective transportation. I used the procedure osmotic- and membrane distillation (MOD, which is a combined technology of two separate membrane method, osmotic distillation (OD) and membrane distillation (MD). The juices were concentrated to the desired 60 weight % concentration by the improved, mild MOD technology. During the process, the average flux value was 0.4-1.5 l/m²h.

The experiments had proved the effectiveness of the method concerning the preservation of the inner content in the juices. By the comparison of the antioxidant capacity, polyphenol, antocianin and C-vitamin content in the re-diluted and in the original juices, I have determined that the products had preserved 70-80 % of their inner measured values.

Further improving the procedure, I have developed a multiple-stage cascade system. I have implemented a simplified mass transfer model, by concentrating saccharose solutions, thus I have defined a mass transfer coefficient characteristic of the MOD method. Then, I have performed the concentration of the juices according to the cascade model in 2-, 3- and 4-stage systems. With the tests, I have demonstrated the efficiency of the system. Using the cascade system, the time of juice concentration had been reduced by 15-21 %, without the regeneration of the osmotic agent (CaCl₂ solution).

Auszug

Die Entwicklung der Wissenschaft und Technologie ermöglicht es uns, neue, innovative Lösungen auf allen Gebieten des Lebens zu schaffen, auch die Lebensmittelindustrie stellt dabei keine Ausnahme dar. Das Ziel meiner Forschung war die schonende, membrantechnische Eindickung von Obstsaften, die aus Kornelkirsche, Schlehe, Mehlbeere und schwarzen Holunder gewonnen wurden.

Während meiner experimentellen Arbeit wurde aus den wildwachsenden, farbigen Waldbeeren zuerst Saft hergestellt, und durch Anwendung von Pektinase Enzym wurde die Saftausbeute um 10% erhöht.

Der Wassergehalt der hergestellten Säfte wurde durch Membrane, mit Hilfe von selektivem Transport erniedrigt, wobei die Kombination von zwei Membranseparationsmethoden, die osmotische Destillation (OD) und die Membrandestillation (MD) verwendet wurden (osmotische- und Vakuumdestillation – ODMD). Die Obstsaften wurden mit schonenden Membranverfahren auf 60 w/w% eingedickt. Die bei dem Prozess erreichbare durchschnittliche Fluxwerte betragen 0,4-1,5 l/m²h.

Die Wirksamkeit des Verfahrens wurde hinsichtlich der Erhaltung der Nährwerte durch die Versuche erwiesen. Durch Messung des Antioxidanten-, Gesamtphenol-, Anthocyane und Vitamin C-Gehalts wurden die Parameter der frischen und der aus den konzentrierten Obstsaften verdünnten Säften verglichen. Als Ergebnis meiner Messungen wurde festgestellt, dass die Konzentrate 70-80 % ihrer nützlichen Nährwerte bewahrten.

Um das Verfahren weiterzuentwickeln, wurde ein mehrstufiges Kaskadensystem geplant. Durch Anwendung von Modell-Saccharose Lösungen wurde ein neues, vereinfachtes Stoffübergangsmodell erarbeitet, mit Hilfe von dessen die Stoffübergangskoeffizienten für das ODMD-System bestimmt wurden. Danach die Eindickung von Obstsaften wurde in 2-, 3- und 4-stufigen Kaskadensystemen untersucht. Durch diese Versuche wurde die Wirksamkeit des Systems bewiesen. Die Eindickung der Obstsaften konnte mit Hilfe des Kaskadensystems – ohne die Regenerierung des osmotischen Agents (CaCl₂-Lösung) – bei 15-21 % niedrigeren Konzentrierungszeiten durchgeführt werden.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	9
2. Irodalmi összefoglaló	10
2.1. Kíméletes membrán szeparációs műveletek alkalmazása	10
2.1.1. Membránok, modulok csoportosítása	12
2.1.2. A membrán szeparáció jellemzői.....	14
2.1.3. Membrános eljárások	15
Mikroszűrés (MF)	16
Ultraszűrés (UF).....	16
Nanoszűrés (NF)	17
Fordított ozmózis (RO)	17
2.1.4. Membrán eltömődés.....	20
2.2. ODMD – ozmotikus desztilláció és membrán desztilláció	20
2.2.1. Membrán desztilláció (MD).....	20
2.2.2. Ozmotikus desztilláció (OD)	21
2.2.3. Ozmotikus desztilláció és membrán desztilláció (ODMD)	22
2.2.4. Az ODMD technológia alkalmazásának eddigi eredményei	24
2.3. Bogyós gyümölcsök és leveik bemutatása	25
2.3.1. Húsos som (<i>Cornus mas</i> L.).....	26
2.3.2. Kőkény (<i>Prunus spinosa</i> L.)	28
2.3.3. Lisztes berkenye (<i>Sorbus aria</i> L.).....	29
2.3.4. Feketebodza (<i>Sambucus nigra</i> L.)	31
2.4. Enzimek alkalmazása a lékinyerés növelésére.....	32
2.5. Célkitűzések	35
3. Anyagok és módszerek	37
3.1. ODMD – a membrán modul és a kísérleti eszköz részeinek bemutatása.....	37
3.2. Felhasznált vegyszerek.....	42
3.2.1. Tartósítószer, modell oldatok és enzimek	42
3.2.2. Beltartalmak vizsgálatához használt vegyszerek	43
3.2.3. Ozmotikus oldat (CaCl ₂).....	44
3.3. Mérési módszerek.....	45

3.3.1.	Gyümölcsle előállítása	45
3.3.2.	Lékihozatal növelés enzimekkel	47
3.3.3.	Gyümölcsle előkezelés, sűrítés, melléktermék kezelés	49
3.3.4.	Érzékszervi vizsgálatok	50
3.3.5.	Beltartalmi értékek és szárazanyag tartalom meghatározása.....	50
	Antioxidáns aktivitás meghatározása	51
	Összfenol tartalom meghatározása	52
	Antocianin tartalom meghatározása	52
	C-vitamin tartalom meghatározása.....	53
	Szárazanyag tartalom meghatározása (TSS)	54
4.	Eredmények és értékelésük	55
4.1.	Lékihozatal növelése enzimek segítségével	55
4.2.	Gyümölcsle besűrítése ODMD módszerrel.....	59
4.3.	Érzékszervi vizsgálatok eredményei, aroma és íz világ megtartás	64
4.4.	Beltartalmak megőrzésének eredményei.....	66
4.5.	Kaszád rendszer.....	70
	4.5.1. A kaszád modell.....	72
	4.5.2. Anyagtranszport kísérletek szacharóz oldatokkal, "K" érték meghatározása...	74
	4.5.3. Szacharóz oldat besűrítése kaszád rendszerrel	76
	4.5.4. Gyümölcsle besűrítése kaszád rendszerrel.....	78
5.	Összefoglalás.....	81
	Jelölések jegyzéke	82
	Irodalomjegyzék.....	84
	Tézisek	92
	Theses.....	93
	Publikációs lista	94
	Köszönetnyilvánítás	96
	Mellékletek.....	97

1. Bevezetés

Napjainkban az egészséges táplálkozás, az emberi szervezet számára nélkülözhetetlen vitaminok, ásványi anyagok és hasznos összetevők jelentősége rendkívül fontossá vált. Különböző betegségek gyengítik immunrendszerünket, amelyek ellen hatékonyan védekezhetünk, lényegesen csökkenthetjük kialakulási esélyüket, ha megfelelően táplálkozunk. A tudomány jelenlegi állása szerint ezen anyagok legnagyobb természetes forrásai a gyümölcsök és a zöldségek. Célszerű az alapanyagokból levet, illetve sűrítményt készíteni, mivel azok tárolása, szállítása és eltarthatósága kedvezőbb és olcsóbb. A technológiai fejlődéseknek köszönhetően manapság elérhetővé váltak olyan megoldások, amelyek lehetővé teszik ezen iparágak fejlődését, új és innovatív alkalmazások használatát.

A folyadék elválasztás területén ígéretes alapkutatói eredményekkel rendelkeznek a különböző membrán technológiai eljárások. A Pannon Egyetem Műszaki Kémiai Kutató Intézetében a 2000-es évek elején kezdődött együttműködés a Budapesti Corvinus Egyetemmel és a Szegedi Tudományegyetemmel karöltve. Több lehetséges membrán technológiát vizsgálva, kiválasztásra kerültek azok a megoldások, amelyek alkalmasak az élelmiszeriparban való használatra. Koroknai Balázs munkatársam doktori értekezésében vizsgálta két alapjaiban és működési feltételeiben hasonló folyamat együttes alkalmazásának lehetőségét. A két membrán folyamat az ozmotikus desztilláció és a membrán desztilláció, melyek hajtóereje ugyan különbözik, de a folyadék elválasztásra használt membrán azonos tulajdonságokkal rendelkezik. A műveletet technikai megvalósítása számos azonosságot mutat, együttes alkalmazásuk a folyamat hatékonyságát és a hajtóerőt növelheti.

Céлом az eljárás tökéletesítése, alkalmazásának további bővítése és kíméletességének bebizonyítása voltak. A kíméletes sűrítési eljárást más, eddig nem vizsgált gyümölcsökre kívántam kiterjeszteni. A levek különböző beltartalmi értékeinek nyomon követése szolgált a hatékonyság „indikátora”-ként. Célkitűzéseim voltak, hogy a sűrítmények megőrizték eredeti íz, szín és aroma tulajdonságaikat, illékony komponenseiket, valamint tartósítószer hozzáadása és hűtés alkalmazása nélkül eltarthatóak legyenek. Laboratóriumi kutatásaim alapjául Magyarországon őshonos, vadon termő, színes bogyós gyümölcsöket választottam: húsos som, berkenye, kökény és fekete bodza, amelyek magas antioxidáns és vitamin tartalommal rendelkeznek.

2. Irodalmi összefoglaló

Kutatásom során különböző gyümölcslevekkal foglalkoztam, így első megközelítésként célszerű e fogalom pontos definícióját, leírását megadni:

„A gyümölcslé olyan nem erjesztett, de erjeszhető termék, amelyet egészséges, megfelelően érett, friss vagy hűtéssel tartósított, egy- vagy többfajta gyümölcsből nyernek, és az előállításához felhasznált gyümölcsökre jellemző színe, illata, íze van. Ugyanaz a gyümölcslé visszanyerhető olyan gyümölcsből, amelyből feldolgozása során elkülönítették aromáját, velőjét és rostját. A gyümölcslé előállítható koncentrátumból, sűrítmenyből is úgy, hogy a gyümölcslé besűrítése során kivont vízmennyiséget, valamint a gyártási folyamatban a léből elveszett, azonos típusú aromát, és – ha szükséges – velőt és rostot visszapótolják.

A hozzáadott víz kémiai, mikrobiológiai és érzékszervi szempontból nem befolyásolhatja a gyümölcslé alapvető minőségét. Az így előállított terméknek olyan érzékszervi és analitikai jellegzetességeket kell mutatniuk, amelyek alapvetően megegyeznek az azonos típusú gyümölcsből készült gyümölcslével" (*Fogarassy, 2012; Magyar Élelmiszerkönyv, 2001*).

2.1. Kíméletes membrán szeparációs műveletek alkalmazása

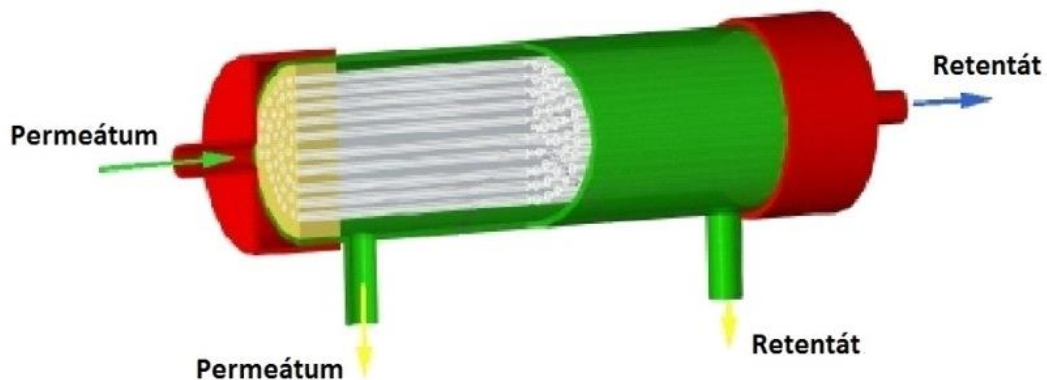
A különböző gyümölcsök leveiből előállított italok fogyasztása régmúlt időkre nyúlik vissza, gyümölcsleveket az ókorban is állítottak elő. A lé kinyeréshez használt megoldásokat az adott koroknak megfelelően fejlesztették és már a rómaiak idejében alkalmaztak membrános eljárásokat.

A membránműveletek a modern szétválasztási eljárások sorába tartoznak. Membránnak nevezzük azokat az elválasztásra alkalmas félígáteresztő anyagokat, amelyek két fázis között biztosítanak átjárhatóságot bizonyos összetevők számára. A membránokat sokféleképpen csoportosíthatjuk, például természetük, vastagságuk, felépítésük és töltésük szerint. A különböző membránok fontos szerepet töltenek be az elválasztás-technikában. Felhasználhatók sűrítésre, tisztításra, frakcionálásra és reakciók katalizálására is. A folyamat alapelve, hogy az elválasztani kívánt folyadékáramot két részre osztja: a retentát és a permeátum áramokra membrán tulajdonságaitól függően (pl.: pórusméret, oldhatóság) (*Pécs, M., 2011, Bélafi-Bakó, K., 2002*).

A permeátum vagy szűrlet, az anyagnak az a része, amely a membránon átáramlott, illetve a koncentrátum vagy sűrítmeny, a betáplált anyag azon része, amelyet a membrán

visszatart (2.1.1. ábra). (Fábry, G., 1992). A membránműveletek során valamilyen hajtóerő hatására szelektív transzport megy végbe a membránon. A hajtóerő lehet a nyomás, a koncentráció különbség, az elektromos potenciál vagy a hőmérséklet gradiense. A membrán egy permszelektív gát, amely két vagy több komponensből álló elegy egyes komponenseit átterszi, más komponenseit részben visszatartja. Ez azt is jelenti, hogy a művelet célterméke lehet mind a maradék, mind a permeátum. Ha célunk a koncentráció, akkor a sűrítmény lesz a főtermék. Ha viszont egy értékes komponenst kívánunk tisztítani, a szűrlet is lehet a produktum. A membrán technológiák előnyei a hagyományos elválasztási módszerekkel szemben:

- kisebb az energiaigényük, mint az egyéb szétválasztási műveletek, és a megfelelő membrán kiválasztásával eredményesebbé tehető a művelet;
- folyamatossá tehető;
- összeköthetők más műveletekkel;
- enyhe körülményeket igényelnek;
- méretük könnyen növelhető;
- kímélik a környezetet;
- gazdaságosak;
- fázisátmenet nélküli szeparációt jelentenek;
- kíméletesek, nincs szükség hőkezelésre, az élelmiszerben jelenlévő hőérzékeny anyagok sérülése, elbomlásának veszélye csökkenthető, és hűtővíz felhasználásra sincs szükség.



2.1.1. Ábra: A membránszeparáció elve

A membrántechnológiák hátrányai:

- koncentráció-polarizáció, áteresztőképesség csökkenése;
- eltömődés (biofouling);
- membránok rövid élettartama;
- membránok ára.

A különböző fázis elválasztásos technológiák sora rendkívül hosszú, az elmúlt évtizedek fejlődő lehetőségei a membrános megoldások. Nincs ez másképp a folyadékok elválasztásában sem, ahol széles a skála a membránok típusa és az elválasztás minősége szerint. A membrántechnológia közel 50 éves múltra tekint vissza, ugyanakkor hasonló eljárásokat és azok elválasztásos tulajdonságait régóta ismerik.

Kelet-európában már évtizedekkel ezelőtt, felismerték és hasznosították a membránokkal alkalmazható ozmotikus dehidratációs eljárást. A frissen kinyert gyümölcslevet féligáteresztő (membrán) anyagból készült zsákokba töltötték és ezt tömény sóoldatba merítették, hogy annak víztartalmát lecsökkentsék (*Czukur et al., 2003*). Az eljárás hátránya annak lassúsága volt, a leveket akár egész éjszakára az ozmotikus oldatban kellett hagyni, hogy a kívánt koncentrációt elérje a folyamat (*Petrotos et al., 2001*).

2.1.1. Membránok, modulok csoportosítása

A membrán minden membrános technológia alapja, két alaptípusa a szimmetrikus és az aszimmetrikus membrán. A membránok anyagát tekintve a következő csoportokra oszthatók fel:

Természetes:

- élő (pl.: sejtfal);
- nem-élő (pl.: liposzómák);

Szintetikus:

- szerves: polimer (pl.: CA, PS); folyadék;
- szervetlen (pl.: kerámia, fém).

A modul típusát, azaz a membrán térbeli elrendezését konfigurációnak nevezzük. A különböző membránkonfigurációk kifejlesztése során a cél mindig az, hogy lehetőség szerint növeljük a modul térfogatára vonatkozó effektív membrán felületet (m^2/m^3).

A membránokat konfigurációjuk szerint feloszthatjuk:

- **Lapmodul:** az első iparilag alkalmazott membrán-, modultípus. A modul lapmembránokból és a köztük található tartóelemekből áll, melynek elhelyezése lehet függőleges vagy vízszintes. Előnye az egyszerű felépítés, szerelhetőség, hátránya viszont a nagy helyigény. A modul térfogatára vonatkoztatott fajlagos membrán felület általában 100–400 m²/m³ között van.

- **Spiráltekercs modul:** A lapmembránoknál fellépő nagy helyigény problémájának megoldására fejlesztették ki. Több síklap formájú membránt tekercselnek fel együtt spirál alakban egy perforált csőre, majd az egészet egy nyomócső burkolattal látják el. A folyadékot tengelyirányban áramoltatják. A koncentrátum az elválasztó felület mentén lép ki, míg a permeátum a perforált csövön keresztül távozik. A térfogategységre eső membránfelület 300–1000 m²/m³ közötti érték.

- **Csőmembrán modul:** A legegyszerűbb csőmodul egyetlen cső alakú membránból áll, amit külső köpeny burkol. Gyakoribb azonban, hogy több csövet helyeznek el egy modulon belül. Előnye, hogy közel turbulens áramlást lehet rajta létrehozni, nagy szóranyag-tartalmú és viszkózus folyadékok is könnyen szűrhetők. A térfogategységre eső membránfelület általában kisebb, mint 300 m²/m³.

- **Üreges szál, vagy kapilláris membrán:** nagyszámú kapillárisból áll, amelyek átmérője leggyakrabban 0,5–1,5 mm. A kapillárisok két végét műgyantába való beöntéssel rögzítik. A modulban elhelyezett kapillárisok hossza és száma változó, ezzel a modulok teljesítménye változtatható. A modult többnyire külső köpenyvel látják el, de köpeny nélküli modulok is léteznek. Térfogategységre jutó effektív membránfelület ezeknél a modultípusoknál a legnagyobb 600–1200 m²/m³. Hátrányuk viszont, hogy érzékenyebbek az eltömődéssel és koncentráció polarizációval szemben, valamint szerelhetőségük nehézkes.

A membránmodulok működési módozata alapvetően kétféle lehet: szakaszos (*dead-end*), illetve keresztáramlásos (*cross-flow*) üzemmód. A szakaszos üzemmódnál a betáplálás árama merőleges a membránfelületre, s a szűrés során szűrőlepeny képződik, amely egy idő után annyira eltömi a membránt, hogy a műveletet le kell állítani, a membránt kitisztítani, s ekkor indulhat újra az elválasztás.

A keresztáramú szűrés olyan eljárás, amelynél a szürendő oldatot a membrán felületéhez képest tangenciálisan áramoltatjuk. Azonban a membrán felületén ekkor is kialakul, egy úgynevezett gél réteg, amelyben a részecskék dúsulnak, nagyobb lesz a szűrési ellenállás, tehát csökken az oldószer áthaladási sebessége, fluxusa. A membrán felületével

párhuzamosan cirkuláltatott oldat sebességének növelésével a gél réteg vastagsága és ezzel párhuzamosan az ellenállása is csökkenthető. A szűrési nyomás növelésével szintén növekszik a fluxus, de egy bizonyos nyomáson túl a szűrletteljesítmény már nem növelhető, mivel a gél réteg és az oldat főtömegének koncentráció-különbsége következtében kialakult ellenáramú diffúzió szabályozza a fluxust. A cső középvonalánál a részecskék csak a membrán felületével párhuzamos irányban haladnak. A membrán felületénél a részecskék már véletlenszerűen mozoghatnak, mert más erők is hatnak rájuk. A gélrétegben a koncentráció mindig nagyobb, mint a betáplált oldat koncentrációja, ezért egy ellenáramú diffúzió alakul ki, ezt nevezzük koncentráció polarizációnak. A nagyobb nyíróerő enyhítheti a koncentráció polarizációt, mivel a részecskéket elmozdítja az iszapleplenyből, ezáltal csökkentve a koncentrációjukat (*Bélafi-Bakó, K., 2002; Szép, A., 2013*).

2.1.2. A membrán szeparáció jellemzői

- Szűrlet fluxus: A membrán szeparációs eljárások során anyagátadás történik a membránon keresztül. E transzport általánosságban jellemezhető a fluxussal (J), amely az esetek többségében arányos a transzport hajtóerejével, a nyomáskülönbséggel. A szűrlet fluxus a membrán egységnyi felületén egységnyi idő alatt átjutott permeátum mennyisége. Az eltelt idő, a lefolyt szűrlet térfogata és a membrán aktív felületének ismeretében kiszámítható a fluxus. A membránokon keresztül megvalósuló szeparáció során a fluxus egyenes arányban áll a hajtóerővel, s fordítottan arányos a viszkozitással, és az elválasztáskor fellépő teljes ellenállással.

$$J = \frac{\Delta p}{(\eta * R)} \quad (1)$$

Ahol, J : fluxus (l/m^2h); Δp : nyomáskülönbség (Pa); η : dinamikai viszkozitás (Ns/m^2); R : szűrési ellenállás (m^{-1}).

- Eltömődési index (Fouling Index): A permeátum fluxusa leírható a mérési idő segítségével:

$$J = J_0 * t^{-k} \quad (2)$$

Ahol, J_0 : kezdeti permeátum fluxus (l/m^2h); t : szűrési idő (h); k : eltömődési index. Az eltömődési index (k), a mért adatokból hatványfüggvény illesztésével számolható ki (*Kertész et al., 2009*).

2.1.3. Membrános eljárások

A legfontosabb membrános eljárásokat a 2.1.1. táblázatban foglaltam össze. Csak a nyomáskülönbségen alapuló membrános műveleteket illetve a membrános és ozmotikus desztillációt részletezem.

2.1.1. Táblázat: Membrán szeparációs eljárások csoportosítása

Művelet	Hajtóerő	Anyagátadási mechanizmus
Mikroszűrés (MF)		Konvekció, szitahatás
Ultraszűrés (UF)	Nyomáskülönbség	Konvekció, szitahatás
Nanoszűrés (NF)		Konvekció, szitahatás
Fordított ozmózis (RO)		Diffúzió
Pervaporáció (PV)	Gőznyomáskülönbség	Diffúzió
Membrán-abszorpció (MAB)	Koncentrációkülönbség	Diffúzió
Membrán-extrakció (MEX)	Koncentrációkülönbség	Diffúzió
Membrán-desztilláció (MD)	Hőmérsékletkülönbség	Diffúzió
Ozmotikus desztilláció (OD)	Ozmózisnyomás-különbség	Diffúzió
Gázszeparáció (GS)	Koncentrációgradiens	Diffúzió
Elektrodialízis (ED)	Elektromos potenciálkülönbség	Diffúzió

Nyomáskülönbségen alapuló membrános eljárások

A nyomáskülönbségen alapuló membrános eljárásoknál a membrános művelet hajtóereje a membrán két oldala között fennálló nyomáskülönbség. Az oldott anyag, vagy részecske mérete határozza meg az alkalmazandó membránt. A mikroszűréstől a fordított ozmózis felé haladva a részecske mérete egyre csökken, következésképpen az alkalmazott membrán pórusmérete is egyre kisebb lesz. De ez együtt jár a membrán anyagátadási ellenállásának növekedésével, s így az ugyanazon fluxushoz szükséges nyomáskülönbséget fokoznunk kell. Azonban a különböző eljárások között nem lehet éles határvonalat húzni. A szeparálandó részecske méretének növekedésével a jellemző nyomásértékek csökkennek, ami az alkalmazott egyre nagyobb pórusú membránoknak, azok kisebb ellenállásának köszönhető.

Mikroszűrés (MF)

Ez a membrános művelet áll a legközelebb a hagyományos értelemben vett szűréshez. A mikroszűrő membránok pórus mérete a szuszpenziók és emulziók tartományával egyezik meg. Így például vizes oldatból baktériumokat, kolloidokat, vagy esetleg szilárd részecskéket választhatunk le és termékként tiszta szűrletet nyerünk. A termék lehet a leválasztott nagyobb részecskék sűrítménye is. Az alkalmazott nyomás 0,2-0,6 MPa között változik. A mikroszűrés kulcsa maga a szűrőanyag, a membrán, melyeknek vissza kell tartaniuk a kívánt szilárd részecskéket, ugyanakkor lehetőleg gyorsan át kell engedniük a folyadékot. A leggyakrabban használt mikroszűrő membránok anyagai lehetnek: hidrofób polimer (pl.: polipropilén, polietilén), hidrofil polimer (pl.: cellulóz észterek, poliszulfon), kerámia (pl.: alumínium-oxid, titán-dioxid), egyéb szervesetlen anyag (pl.: szén, üveg, fémek). A mikroszűrő membránok tehát pórusos membránok, szerkezetileg egyaránt lehetnek szimmetrikusak és aszimmetrikusak. Főbb alkalmazási területek: gyümölcslevek, borok és sörök tükresítése; olaj-víz emulziók elválasztása; italok és gyógyszerkészítmények hideg sterilizése.

Ultraszűrés (UF)

Az ultraszűrő membránt általában makromolekulák és kolloidok leválasztására alkalmazzák. Pórusai sokkal kisebbek az MF membránokéhoz képest, így nagyobb transzmembrán nyomás szükséges. A membrán konfigurációjától függően az alkalmazott nyomás 0,2-1 MPa. Minőségét meghatározó paraméter a cut-off érték (névleges vágási érték), amely az a Daltonban kifejezett globuláris fehérjére vonatkoztatott mól tömeg érték, amelyet a membrán az anyagtranszport során 90 %-ban visszatart. Az ultraszűréshez a kisebb pórusok kialakítási technikája miatt aszimmetrikus membránokat használnak, s ezen belül is leginkább kompozitokat. A leggyakrabban előforduló anyagok a poliszulfon, 20 poliamid, poliakrilonitril és származékai, cellulóz származékok és alifás poliamidok. Ultraszűrő membránokkal igen sokféle alkalmazási területen találkozhatunk: tej koncentrációja sajtgyártásra, savó frakcionálása, tejpor előállítás, gyümölcslevek szűrése és olajos szennyvizek szeparálása.

Nanoszűrés (NF)

A nanoszűrő membránok visszatartása jóval kisebb az egyértékű ionokkal szemben, mint a fordított ozmózis membránoké. A kétértékű ionokat viszont visszatartják, mikro szennyezőkkel, kis molekulatömegű oldott anyagokkal együtt. Azoknál a sóknál, ahol az anion egyértékű (NaCl, CaCl₂), a visszatartás mértéke 20–80 %, míg kétértékű anionnal rendelkező sók esetében (pl.: MgSO₄) a visszatartás mértéke nagyobb, 90–98 %-os. A nanoszűrésnél alkalmazott nyomás általában 1 és 3 MPa közötti. Az NF membránok mindegyike aszimmetrikus szerkezetű. A nanoszűrés energiafelhasználás szempontjából kedvező, átlagban 21 %-al alacsonyabb az energiafelhasználása a fordított ozmózishoz képest. Jellemző alkalmazási területe a felszíni vizekben lévő színezőanyagok eltávolítása, a TOC csökkentése, keménység vagy rádium eltávolítása kútvizekből, a TDS csökkentése, valamint szerves és szervesetlen komponensek elválasztása az élelmiszeriparban. A nanoszűrés alkalmazását a gyógyszeripari szennyvizek tisztítására számos kutató vizsgálta és magas visszatartást tapasztaltak KOI-ra és diklofenákra (*Bellona & Drewes, 2005; Kimura et al., 2003*).

Fordított ozmózis (RO)

A fordított ozmózis során egy hígabb oldattól permszelektív membránnal elválasztott tömény vizes oldatra az ozmózisnyomásnál nagyobb nyomás hat. Ilyenkor a vízmolekulák a hígabb oldatba áramlanak és a töményebb oldat koncentrációját növelik. Az RO membrán akadályt jelent az oldott sók és szervesetlen molekulák számára, míg a víz akadálytalanul átjut rajta. Az oldott sók visszatartásának mértéke jellemzően 95-98 %-os. Az RO-berendezések transzmembrán nyomása 2-10 MPa-ig terjedhet. A fordított ozmózis membránok mindegyike aszimmetrikus szerkezetű. Az RO-technikát ma már számtalan területen alkalmazzák, a tengervíz sótelenítésével, a brakkvizek kezelésével történő ivóvíz előállításra, hulladékvizek visszaforgatására, élelmiszer- és üdítőital-ipari célokra, biokémiai, gyógyszeripari elválasztásokra, ivóvíz házi-tisztítására, ipari folyamatokhoz (*Fritzmann et al., 2007; Radjenovic et al., 2008, Szép, A., 2013*).

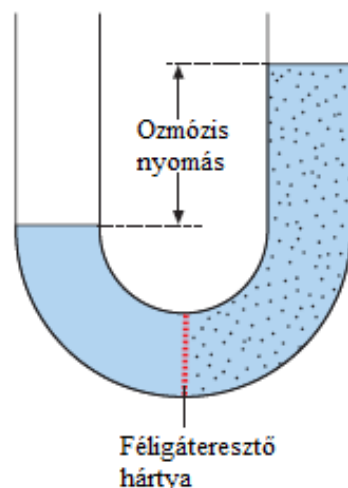
Az 1970-es években kezdték el komolyabban vizsgálni a fordított ozmózis (reverse osmosis) jelenségét és annak elválasztás technológiában való alkalmazását, valamint élelmiszer technológiai vonatkozásait. A technológia előnye a kíméletes gyümölcsle koncentráálás területén a következők voltak: kisebb energia felhasználás, nagyobb

aromaanyag visszatartás és hő károsodás csökkentése (*Chua et al., 1987; Merson et al., 1968*).

Az oldott anyag a rendelkezésre álló tér egyenletes kitöltésére törekszik, ha ebben semmi nem akadályozza, akkor diffúzió útján egyenletesen eloszlik az oldószerben. Ha az oldatot egy membrán választja el a tiszta oldószerrel (vagy hígabb oldattól), amelyen csak az oldószer molekulák léphetnek át, ellenben az oldott anyag molekulái nem képesek áthatolni, akkor oldószer áramlik a féligáteresztő hártán át a töményebb oldat felé. Ezt a jelenséget nevezzük ozmózisnak. Az ozmózis addig tart (ha külső okok nem akadályozzák), amíg az oldószer teljes mennyisége el nem keveredik az oldattal, illetve a membrán két oldalán lévő oldat azonos koncentrációjúvá nem válik.

Az ozmózis oka, hogy a kémiai potenciálok különbsége folytán a tiszta oldószer felől több molekula jut másodpercenként a féligáteresztő hártához és jut be az oldatba, mint amennyi az oldat felől hatol be a hártába és lép ki a tiszta oldószerbe. Az oldott anyag ugyanis hígítja az oldószerrel, és ez által csökkenti a kémiai potenciálját, minek folytán kevesebb oldószer molekula éri el a folyadék határát, mint különben azonos körülmények között tiszta oldószer esetén.

Megakadályozhatjuk az ozmózist, ha az oldatot kellő nagy nyomás alá helyezzük, s ezzel az oldatban lévő oldószerrel átsajtolni igyekszünk a féligáteresztő hártán keresztül a tiszta oldószerbe. Az oldat nagyobb nyomása az oldószernek az ozmózissal ellentétes irányú áramlását hozza létre. Ha az oldatra kifejtett nyomás akkora, hogy az oldószernek ez által előidézett kiáramlása pontosan egyenlő az ozmózis okozta beáramlással, akkor dinamikus egyensúly jön létre, a rendszerben közönséges eszközökkel észlelhető változás nem történik. Azt a nyomást, amelyet az oldatra ki kell fejtetni, hogy ez az ozmotikus egyensúly létrejöhön, ozmózisnyomásnak nevezzük (*Bélafi-Bakó, K., 2002; Argyelán, J., 2003*).



2.1.2. Ábra: Az ozmózisnyomás szemléltetése

A fordított ozmózis esetében azonban, a folyamat hajtóerejével, az ozmotikus nyomáskülönbséggel elérhető legmagasabb koncentráció 25–30 tömeg %, ami jelentősen elmarad a bepárlással elérhető 80 %-tól (*Paulson et al., 1985; Pepper et al., 1985*). Az eljárást más alkalmazások területén fejlesztették tovább, ahol hatékonyan végzi a különböző alkotóelemek visszatartását.

A direkt vagy közvetlen ozmotikus koncentráció olyan membrános eljárás, mely alacsony hőmérsékleten és nyomáson képes a gyümölcslevek szeparációjára, mindamellett az aroma tulajdonságok megtartására. A speciálisan megválasztott ozmotikus közegek a permszelektív membrán két oldalán ozmózisnyomás különbséget idéznek elő és ezzel megteremtik a folyamat hajtóerejét. A vizes oldatok között kialakuló vízgőz-nyomás hatására, víz jut át az alacsonyabb gőznyomású oldalra (*Lawson & Lloyd, 1997*). A direkt ozmotikus sűrítésnek nagy hátránya, hogy ugyancsak nem érhető el vele a bepárlással azonos koncentráció, az eljárás maximum 50 tömeg % besűrítésre képes. További negatívumok még, a módszer költségessége és alacsony fluxus értéke (*Bolin & Salunke, 1971; Girard & Fukumoto, 2000; Herron et al., 1994; 1999; Hodúr, C., 1995*). Ha az említett nyomás- és/vagy hőmérséklet különbségeken alapuló módszereket kombináljuk, akkor alacsony hőmérsékleten nem történik hő-károsodás, a folyadék megtartja értékes aroma és vitamin anyagait (*Wagner, J., 2001; Fonyó et al., 2004; Chiam et al., 2013; Souza et al., 2013*).

2.1.4. Membrán eltömődés

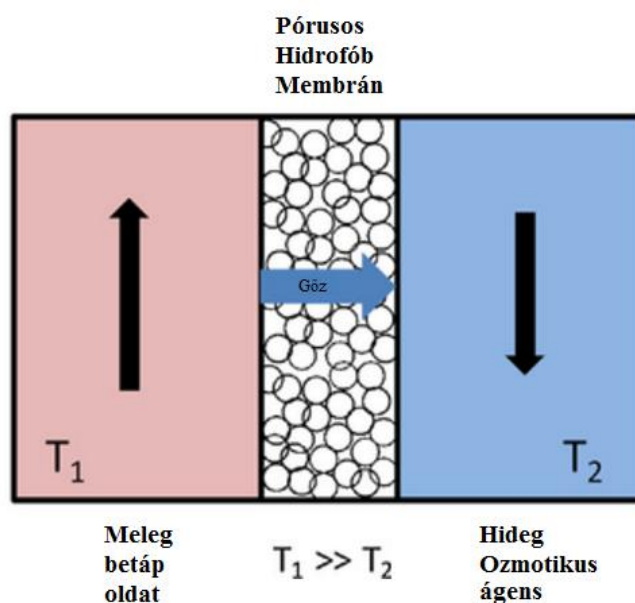
Napjainkban a legnagyobb problémát a membrános műveletek alkalmazása során az eltömődés (fouling) okozza, amelynek hatására a fluxus jelentősen lecsökken, gyengül a szeparációs művelet hatékonysága, végül le kell állítani az elválasztást, a membránt kitisztítani vagy újra cserélni kell, s az eljárást újra kezdeni (*Boerlage, S., E., 2001*). Alapvetően az eltömődés kétféle mechanizmussal játszódhat le: vagy a membrán felületére rakódnak le a részecskék, szűrőleplenyt alkotva, vagy a pórusokban rekednek a részecskék, s emiatt csökken le a fluxus. A pórusok felületén az elválasztandó részecskék a pórusok bemeneténél hidat képezve akadályozhatják a szeparációt, amely részleges eltömődést eredményezhet. Ha a részecske teljes egészében elfedi a pórusbejáratot, akkor úgynevezett blokkolásról beszélünk. A pórusokban rekedő részecskék okozhatnak részleges, és teljes eltömődést. Részleges eltömődésnél a szabálytalan alakú, és mélységben változó méretű pórusba behatoló részecske megrekedhet a pórusban, ha mérete közel van a pórus adott helyen mérhető átmérőjéhez. Ekkor a részecske adott helyen fog rögzülni, eltömődékeli a pórust. Az eltömődés teljes lesz, ha a részecske teljes mértékben kitölti a pórust az adott helyen. A membrános szeparáció során a makromolekulák (fehérjék) általában random, vagy felcsavarodott állapotban vannak jelen. Ezek a tekeresszerű molekulák általában nem képesek behatolni a membrán pórusaiba. Ha azonban a szálak valamiképpen széthajtódnak, ezek bekerülhetnek a pórusok szájába, s a teljes molekula a membrán felületére fog adszorbeálódni (*Bélafi-Bakó, K., 2002*).

2.2. ODM – ozmotikus desztilláció és membrán desztilláció

2.2.1. Membrán desztilláció (MD)

A membrán desztillációnál két különböző hőmérsékletű folyadékot áramoltatnak a membrán két oldalán. A hőmérsékletkülönbség gőznyomáskülönbséget okoz, ezáltal a gőzmolekulák az alacsonyabb gőznyomású hely felé kezdenek vándorolni. A magasabb hőmérsékletű oldalon a víz elpárolog, a gőzmolekulák átdiffundálnak a membránon, és az alacsonyabb hőmérsékletű oldalon lekondenzálnak. A meleg oldalon a párolgás következtében a hőmérséklet csökkenni, a hideg oldalon a kondenzáció miatt pedig növekedni fog. Vizes oldatok esetén hidrofób membránt alkalmaznak, ugyanis a folyadékok nem nedvesíthetik azt, nincs közvetlen érintkezés az anyagtranszportban résztvevő két fázis között sem, ami nagyon fontos és hasznos az élelmiszeripari alkalmazások során. Az eljárás

jól alkalmazható gyümölcslevek kémleletes töményítésére (*Lawson & Lloyd, 1997; Kozák et al., 2006*).



2.2.1. Ábra: Membrán desztilláció elve, $T_{1,2}$: az oldatok hőmérséklete

2.2.2. Ozmotikus desztilláció (OD)

Az ozmotikus desztilláció hajtóereje a membrán két oldala közötti ozmózisnyomás-különbség, a membrán desztillációhoz hasonlóan, hidrofób membránt alkalmaznak. A membrán egyik oldalán híg oldatot, a másik oldalán úgynevezett ozmotikus ágenst (kis molekuletömegű, nagy töménységű oldatot) áramoltatnak. Ozmotikus ágens lehet a glicerin, a NaCl, a CaCl₂, a MgSO₄ vagy a K₂HPO₄ tömény oldata. Az ozmotikus nyomáskülönbség miatt a vízmolekulák a hígabb oldatból a töményebbe vándorolnak át. Hidrofób membránt alkalmazva a vízmolekulák gőz fázisban, diffúzióval jutnak át a membrán pórusain a kisebb vízakaktivitású oldatba. Így a két oldat nem érintkezik közvetlenül egymással, aminek fontos szerepe van az élelmiszeriparban, alkalmazási területe a gyümölcslevek végsűritése (*Vaillant et al., 2001; Rodrigues et al., 2004; Cassano et al., 2007; Kozák et al., 2007; Fogarassy, E., 2012, Khayet et al., 2011*).

2.2.3. Ozmotikus desztilláció és membrán desztilláció (ODMD)

Az ozmotikus desztilláció (OD) és a membrán desztilláció (MD) kombinálásával a megfelelő működtetési paraméterek beállításával a két művelet előnyei összeadódnak, s nagyobb víz fluxust érhető el. Ráadásul úgy valósítható meg a víz szelektív elvonása, hogy az értékes íz- és illatanyagok a sűrítményben maradnak (*Alves et al., 2002; Bélafi-Bakó, K., Koroknai, B., 2006; Hodúr, C., 1998*). Az ozmotikus- és membrán desztillációs folyamat hajtóerejét a membrán két oldalán keringetett folyadékok ozmózisnyomás, valamint hőmérséklet különbsége szolgáltatja.

A hidrofób jellegű membrán víztaszító képessége miatt a vizet csak gőz formájában képes átteresztetni. Ha a hajtóerő elég nagy a fázisátalakuláshoz és az egyéb gátló jelenségekhez leküzdéséhez, akkor a transzport folyamat lejátszódik. A víztartalom átalakul gőzzé és képessé válik a membrán pórusain való áthaladásra, hogy a két fázis közötti egyensúlyt kiegyenlítse, elkerülve a folyadékok közvetlen érintkezését (2.2.2. Ábra) (*Zambra et al., 2015*). Az így elvégzett vízeltávolítás során a vízben oldott összetevők (aroma és szín anyagok) a sűrítményben maradnak (*Drioli & Wu, 1985; Lefebvre, 1988; Hogan et al., 1998; Cuperus, 1998; Mulder, M., 1991; Martínez-Díez & Vázquez-González, 1999; Bowser, 2001; El Amali & Maalej, 2004*).

A vízgőztranszport leírásához szükség van a fluxust befolyásoló paraméterek ismeretére. A fluxust (J) a membrán két oldalán kialakuló vízgőznyomás-különbség határozza meg, az alábbi összefüggés szerint (*Cheryan, M., 1998*):

$$J_w = K\Delta P_b = K(P_{w1} - P_{w2}) \quad (3)$$

ahol K tömeg átadási együttható ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$), amely magában foglalja a primer és szekunder oldali anyagátadási tényezőt, valamint a membrán anyagátadási tényezőt:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_m} + \frac{1}{k_2} \quad (4)$$

A membrán két oldalán lévő ozmózisnyomások π (bar) a van't Hoff törvényen alapuló 5. és 6. egyenletek alapján számíthatók ki, ahol c_m a moláris koncentráció (mol m^{-3}), R az egyetemes gáz állandó ($\text{L atm mol}^{-1} \text{K}^{-1}$), T az oldatok hőmérséklete (K), P^* a tiszta oldatok gőznyomása (Pa), P az oldatok nyomása (Pa) és V_i az oldatok parciális mol térfogata ($\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$). A van't Hoff együttható ($i = 3$) (*Rautenbach, R., 1997; Mulder, M., 1991; Wang et al., 2001*).

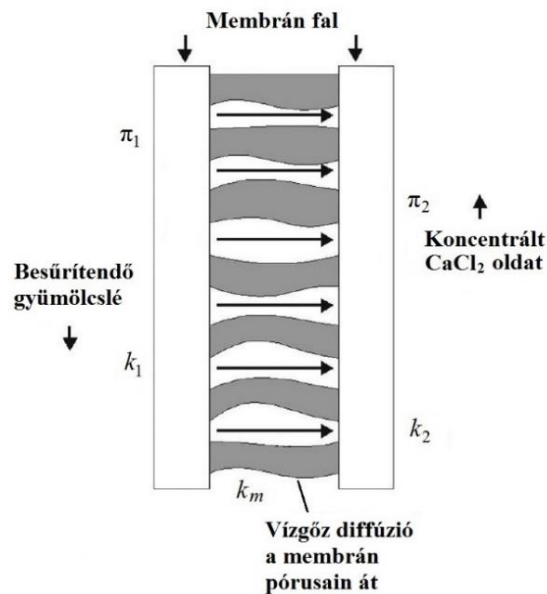
$$\pi = c_M RT = \frac{RT}{V_i} \ln \frac{P^*}{P} \quad (5)$$

$$\pi = \frac{n}{V} RT = iMRT \quad (6)$$

A tiszta víz gőznyomása (hőmérsékletfüggő) az *Antoine* egyenlet segítségével az alábbiak szerint határozható meg (*Koroknai, B., 2006*).

$$\ln(P^*) = A - \frac{B}{T + C} = 23.238 - \frac{3841}{T - 45} \quad (7)$$

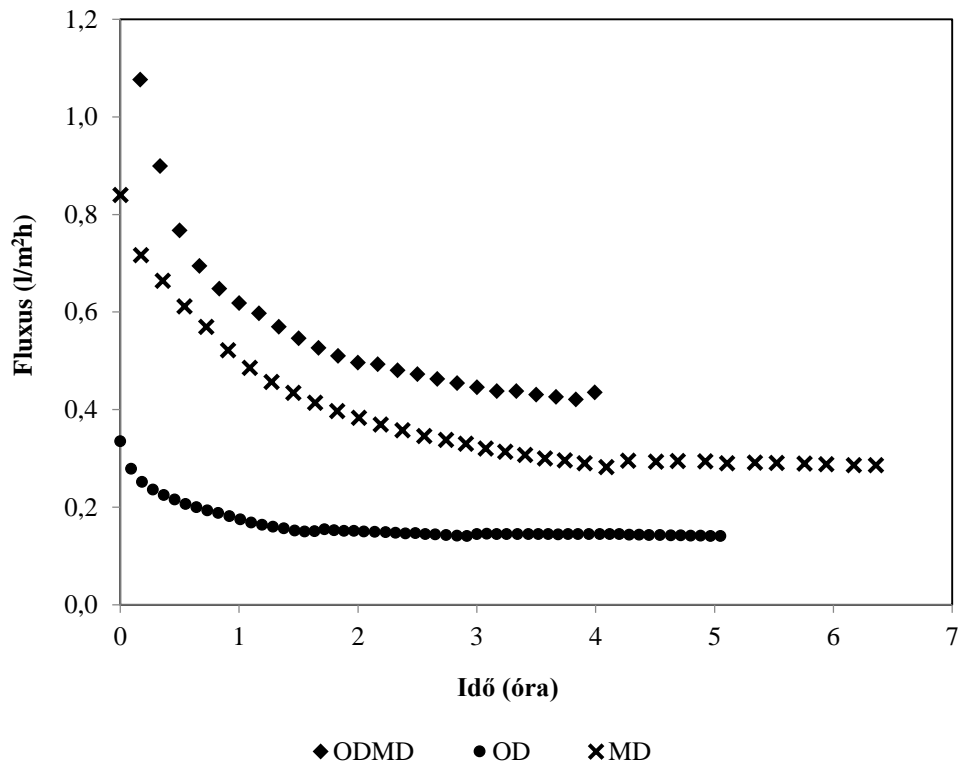
Ahol A , B , C *Antoine* állandók. Az anyagátadás hajtóereje az összes vízgőznyomás-különbség lesz.



2.2.2. Ábra: Vízgőz transzport a hidrofób membrán pórusain keresztül, ahol: k_1 : primer oldali anyagátadási tényező, k_2 : szekunder oldali anyagátadási tényező, k_m : a membrán anyagátadási tényezője, π_1 : a membrán primer oldalán lévő ozmózisnyomás és π_2 : a membrán szekunder oldalán lévő ozmózisnyomás

Ha az ozmotikus oldatot úgy választjuk meg, hogy annak koncentrációja a legnagyobb legyen a besűrítendő folyadék koncentrációjához képest, akkor a folyamat hajtóereje növelhető.

Az ozmotikus desztilláció, a membrán desztilláció és a kombinált ODMD eljárás fluxusainak alakulására mutat be egy példát a 2.2.3. ábra. Látható, hogy kombinált esetben a két külön módszer fluxusai összeadódnak.



2.2.3. Ábra: Az eljárások fluxus értékeinek összehasonlítása

2.2.4. Az ODMD technológia alkalmazásának eddigi eredményei

Az ozmotikus és a membrán desztilláció kombinált alkalmazásával megvalósítható eljárás háttéréről, eredményeiről részletesen Koroknai Balázs PhD dolgozatában és publikációiban számolt be (*Alves et al., 2004; Koroknai et al., 2008; Koroknai, B., 2007; Bélafi-Bakó et al., 2007*). Vizsgálatai során először modell glükóz oldatok koncentrációját végezte el, majd almaféle mintákkal végzett méréseket. Kísérleteivel bebizonyította, hogy az ODMD eljárás hatékonyabb és kíméletesebb módszer hőérzékeny komponenseket tartalmazó vizes oldatok betöményítésére, mint a hagyományos alternatívák.

A későbbiek során a töményítési vizsgálatokat kiterjesztették egyes színanyagokban gazdag bogyós gyümölcsök leveire (piros ribizli, fekete ribizli, málna,), ahol az antioxidáns hatású komponensek megőrzését is bizonyították mérési adataikkal (*Koroknai et al., 2006; Bánvölgyi et al., 2009; Jiao et al., 2004*).

Az ODMD eljárást (*Nagaraj et al., 2006*) eddig – a felsoroltakon túl – pl.: szőlőlé (*Kujawa et al., 2015*), áfonyalé, (*Zambra et al., 2015*), fekete ribizli (*Bánvölgyi, S., 2009*) illetve acerola lé (*Pagani et al., 2011*) koncentrálására alkalmazták. Nemrégiben pedig arról számoltak be, hogy olaj malom működtetésénél keletkező szennyvizek töményítésére is használták ezt az eljárást (*El-Abbassi et al., 2013*).

Az ODMD művelet hatékonyságának további növelése érdekében a kaszkád rendszerben történő alkalmazás is vonzó alternatívának tűnik. A szakirodalomban – tudomásom szerint – eddig nem mutattak be olyan ODMD rendszert, ahol kaszkád műveletet alakítottak ki, így újdonságtartalma nem kérdőjelezhető meg. A kaszkád rendszert először modellezéssel kívántam tanulmányozni, majd ezt követően az eredményeket kísérletekkel alátámasztani.

2.3. Bogyós gyümölcsök és leveik bemutatása

A táplálkozás teljes értékűségét az egészség jelzi, a táplálkozás értéktelenségét a betegség. A zöldségek, gyümölcsök, illetve belőlük készült minőségi termékek (gyümölcslevek, gyümölcskészítmények, nektárok stb.) fontos szerepet töltenek be az egészséges táplálkozásban, amelyekből naponta legalább háromszor kellene fogyasztanunk. Köztudott a zöldségek, gyümölcsök vitamin-, ásványianyag-tartalma és az egészséges életmódban betöltött szerepe. Számos vizsgálat kimutatta, hogy sok civilizációs betegség kifejlődésének hátterében a rosthiányos táplálkozás áll (*Fogarassy, E., 2012*). Többek között rosthiánnyal függ össze az elhízás (a kevés mozgás természetesen elősegíti), a cukorbetegség, a magas koleszterinszint, az érlemeszesedés és a székrekedés kialakulása is (*Odes et al., 1993, Abate & Chandalia, 2003; Nagy et al., 2003*). A gyümölcsök között is kiemelkedően magas hasznos összetevő tartalommal rendelkeznek a bogyós fajok (*Papp et al., 1999*).

A kutatás alapjául szolgáló gyümölcsöket számos feltétel szerint kellett megválasztani. Fontos, hogy mérhető mennyiségben tartalmazzanak hasznos, egészségvédő összetevőket (pl.: C-vitamin, antioxidánsok). További, elengedhetetlen kitétel, hogy a gyümölcsök hozzáférhetőek legyenek, és belőlük levet lehessen előállítani. Kutatásom kezdetén, igyekeztem olyan alapanyagokat választani, amelyek beltartalmi értékei nem ismertek, nem született róluk kutatás, publikáció, ezzel a vizsgált gyümölcsök palettáját szándékoztam bővíteni. A kör a bogyós gyümölcsökre szűkült, mivel azok nagy mennyiségben tartalmazzák az általam vizsgálni kívánt jellemzőket. Ugyancsak fontos volt számomra, hogy Magyarországon őshonos növényekkel dolgozzam, amelyek termése lakó és kutató

helyemhez közel fellelhető. A választás így esett négy, az említett tulajdonságokkal rendelkező gyümölcsre: húsos som, kökény, bodza és berkenye; amiket a következő néhány oldalon keresztül részletesen bemutatok. Szerencsés helyzetben voltam, hiszen a Veszprém környéki lankás, napos domboldalak természetes termőhelyet biztosítanak az összes általam kiválasztott gyümölcs típusnak. Az említett bogyós gyümölcsök vadon termők, eltérő cukor-, nedvesség-, egészséges összetevő tartalommal és jellemzőkkel rendelkeznek (*Demir et al., 2003; Stefanovits-Bányai et al., 2004; Radván, L., 2006; Güleriyüz et al.*). A gyümölcsök termésait a következő fejezet ábrái szemléltetik, élénk színükből jól látható, hogy színezőanyagokat nagy mennyiségben tartalmaznak. A kutatáshoz felhasznált minden alapanyagot a Magyarország nyugati részén található Dunántúli régióban gyűjtöttem, ahol mind a négy faj őshonos növénynek számít és több száz éves hagyományokkal rendelkezik, felhasználásukat és termesztésüket illetően. Általában lekvárt, dzsemet, szörpöt, egyéb édes italokat, orvosi és kozmetikai alapanyagokat, párolt és szárított ételeket készítettek a bogyókból. Kiváló természetes forrásául szolgálnak az antioxidánsoknak, amelyek védelmet nyújtanak a káros szabad gyökök ellen, ezáltal csökkentik a rákos megbetegedések és különböző szívbetegségek kialakulásának esélyét (*Serpil & Ilka, 2008; Hassanpour et al., 2011; Veberic et al., 2009; Sidor & Gramza-Michałowska, 2014; Dawidowicza et al., 2006; Barros et al., 2010*). Számos kutatóintézet és tudós kutatja világszerte a hozzájuk hasonló gyümölcsstermések fizikai és kémiai tulajdonságait, hogy azokat ez egészség megőrzésének, javításának szolgálatába állítsák (*Dalmadi et al., 2007; Kadir et al., 2009*).

2.3.1. Húsos som (*Cornus mas* L.)

A húsos som Magyarországon őshonos, 4-5 méter magasra is megnövő fa vagy bokor, növénytani neve *Cornus mas*. Száraz cserjéseinkben, erdőszéleken gyakori, lombfakadás előtt hozza, négytagú, apró, sárga, hímnős virágait, amelyek a tavasz hírnökei. A som levelei egyszerű felépítésűek, keresztben átellenesek. A gyümölcsöt német nyelven *kornelkirsche* vagy *dirndl*-nek hívják, a szó első része a latin *cornus*, szarv vagy szaru szóból ered és a jellegzetesen kemény fájára utal, amely széles körben felhasználható. Nevének második fele (*kirsche*) a gyümölcs küllemére utal, mivel messziről a cseresznyére emlékeztet, habár eléggé ovális. A francia neve is latin eredetű: *cornouiller male*. A termés angol elnevezése a némethez hasonló: *cornelian cherry*.



2.3.1. Ábrák: A húsos som levélzete, virága és termése

A termés hosszúkás, piros, ehető húsú, csonthéjas gyümölcs, amely augusztus végén, szeptember elején érik. Külső megjelenésében két eltérő változata van: a *forma macrocarpa* (nagy gyümölcsű) és a *forma luteocarpa* (sárga gyümölcsű). Sok vitamint, cukrot, almasavat, pektint, illat- és festékanyagot tartalmaz. C-vitamin tartalma 200 mg/100 g körül van, karotinban gazdag. A cukrok közül glukóz és fruktóz található benne.



2.3.2. Ábrák: Som terméseinek alaki változatai, a Balaton-felvidéken

Manapság a kertekben és a közparkokban főként dízcserjének ültetik, pedig a som igen értékes gyümölcsöt terem, amelyből kellemes fanyar íze miatt kiváló lekvár, szörp, dzsem, továbbá kompót készíthető. Az éretlen termését az olajbogyóhoz hasonlóan már az ókor óta szokás sós vagy ecetes vízben köménymaggal eltenni. Savanyítani is szokták, főleg vadhúsból készült ételek mellé. Korábban a házi kertekben gyakori növény volt, mára háttérbe szorult (*Radván, L., 2006., Fintha et al., 2005; Pawlowska et al., 2009*).

2.3.2. Kőkény (*Prunus spinosa* L.)

Európában majdnem mindenütt megtalálható, a rózsafélék családjába tartozó, egyik legáltalánosabban elterjedt növényféle a kőkény. Erdőszéleken, legelők szélén, kultúrterületek és a mezőgazdasági térségek határain, bokros, bozotos, lejtős oldalakon szinte mindenütt előforduló bokornövény. Magyarországon vadon termő, de a keletre fekvő országokban termesztett növényféle. Kertekbe ültetve egyszerűen termesztendő évelő, akár négy méter magasra is megnövő tövises cserje, elhanyagoltan áthatolhatatlan, fészekrakásra is alkalmas élő sövényt alkot, amely méhlegelőként is értékes. Sokoldalúan felhasznált növény, fáját szívesen használták fűtésre évszázadokkal ezelőtt, mivel lassan ég és jó fűértékkel rendelkezik.

Népies nevei: ekeakadály, tövisfa, kőkönye, boronafa, kőkényszilva. Szárazanyagtartalma csak érett, dércsípott állapotban nagy és csak vízzel macerálva, darálva préselhető (lékihozatal így 50 %-osra növelhető).

A kőkény termése 10-12 mm átmérőjű, fekete színű, kékes-lila viaszbevonattal rendelkező csonthéjas bogyó, amely ősszel terem és az első fagyok után októberben vagy novemberben szüretelik. A bogyók fanyar ízűek és húsuk vékony, amely a dér hatására édessé, fogyaszthatóvá válik.



2.3.3. Ábrák: A virágzó kőkény bokor és termése

A kőkény bizonyos részeit a népi gyógyászat is alkalmazza, így például leveléből és virágbimbójából tea-főzetet készítenek. Melius J. Péter Herbáriumja szerint: „ha a kőkényvirágnak vizét vészed, az öklelést, oldalfájást, nyilallást meggyógyítja.” Gyógyhatásának alapanyagát, áprilisban szedhető virágai és októberi termései adják. A szárított virágokból készített forrázat vízajtó, enyhe hashajtó és húgyúti betegségek ellen használható. A C-vitaminban gazdag terméséből készített lekvár, bor, pálinka vagy likőr

betegségek után kiváló roboráló szer, immunrendszer- és idegerősítő. Gyümölcsének fogyasztása zsírcsökkentő hatású, fogyókúra esetén nélkülözhetetlen. Méregtelenítő és vértisztító tulajdonsága miatt, bőrkiütések megszüntetésére is alkalmazzák. Egyes országokban pék- és teasütemények ízesítésére is használatos. A kökény magja is figyelemre méltó; 0,5-1,5 % illóolajt, 35 % olajt, szaponint, nigellin keserűanyagot és cseranyagot tartalmaz. Almával mártás készíthető belőle, amit húshoz és vadhúshoz ízesítőként használhatunk; mézzel, gyógyító hatású dzsem, vagy zselé készítésére is alkalmas (*Makai, A., 2015*).

A gyógy- és étrendi hatáson túl más irányú felhasználásra is kiváló a kökény, helye van a sokoldalú kerti növények között, mert: virágával, termésével szépen díszít. Sarjadzik, ezért nagyszerű sövénynek, rézsűfogónak, de a kertekben, parkokban szoliterként is megállja a helyét, sőt valamelyik szilvaalanyra szemezve mutatós törzsos formára nevelhető (*Sipos, B., Z., 2014*).

2.3.3. Lisztes berkenye (*Sorbus aria* L.)

A lisztes berkenye, más néven süvölvény berkenye, lombhullató, a rózsavirágúak (*Rosales*) rendjébe és a rózsafélék (*Rosaceae*) családjába tartozó fa faj, amelynek termése élénkpiros színű bogyó, hasonló a madárberkenye bogyójához, ugyanakkor kevésbé lédús. A berkenye gyümölcse frissen is fogyasztható és belőle lekvár, dzsem, szirup, édességek és üdítőitalok egyaránt készíthetők. Fája Európában őshonos; széles, lapos koronája akár a 12 métert is elérheti. A lisztes berkenye fénykedvelő fa, de a félárnyékot is elviseli, szereti a mérsékelt száraz, meszes, meleg talajokat, virágzási ideje május és június közé tehető. Virágjait rovarok porozzák, piros termését gyakran pedig madarak fogyasztják.

Törzse egyenes, gyakran több törzsű bokorfaként fejlődik, gyenge élőhelyen cserjetermetű marad. Gyökérrendszere terjedelmes, a talajban mélyre hatoló. Kérgé fiatalon sötétszürke, sima, idős korban repedezik, lombzata tömött, levelei elliptikusak, 10-14 cm hosszúak, szélük kétszeresen fűrészkes. A fiatal levelek eleinte színükön is fehéren molyhosak, ez később lekopaszodik, és a levél sötétzöld színűvé válik. A 1,5 cm átmérőjű, krém-fehér virágai bugákban nyílnak május folyamán. Szeptemberben érő termései kissé megnyúltak, kb. 1,5 cm hosszúak, lisztes hússal fanyar ízű. A fanyarság kicsit enyhül, mikor a dér megcsípi a gyümölcsöket. Az első fagyos éjszakák után a terméshús „szotyósodik”, a termések színe sötétvörösre változik. Lassan növekvő, hosszú életű faj, amely akár 120-150 évig is élhet. Elterjedési területe tagolt, nem egybefüggő. Északnyugat-Afrikában, valamint

Európa nagy részén megtalálható, kivéve Skandináviát és a kelet-európai sík területeket. Hazánkban is honos, szurdokerdőkben, mészkedvelő tölgyesekben, találkozhatunk vele az Északi- Középhegységben, a Budai-hegységben, a Gerecsében, a Vértesben, a Bakonyban, Sopron, ill. Kőszeg környékén is.



2.3.4. Ábrák: A lisztes berkenye bokra és termése

A Dunántúli- Középhegységben szigetszerűen elkülönül a faj összefüggő területeitől, jégkori maradványként (*glaciális reliktum*) van jelen. A Vértesben jellegzetes alakjában nem található, valószínűleg csak más fajokkal képzett átmeneti alakjaiban maradt fenn. Melegkedvelő faj, de a téli nagy hidegeket is elviseli, ugyanakkor igényli a nyár eleji csapadékot és a meleg, hosszú vegetációs időszakot. Meszes és enyhén savanyú talajon is megtalálható. Száraz, termőhelyeken is él, a tartós szárazságot jól tűri. Kifejezetten fényigényes, emiatt főleg sziklaerdőkben, ritkás koronaszintű tölgyesekben vagy cserjésekben találjuk meg.

Kis termete és lassú növekedése miatt faipari jelentősége nincs, ökológiai szerepe viszont jelentős. Mivel gyökérzete mélyre hatoló, terjedelmes, jól megköti a meredek hegyoldalak talaját. Bőséges, könnyen bomló lombja kedvezően hat a talaj tápanyagforgalmára. Szárazságtűrése miatt olyan területeken is megél, ahonnan igényesebb fafajok kiszorulnak. Gyümölcse madaraknak, kisemlősöknek szolgál táplálékkul. Éhínségek idején megszáritott termeshúsából lisztet őröltek, kenyeret sütöttek. Díszfaként nagyon kedvelt, bár tüzelhalásra való fogékonysága miatt felhasználása korlátozott. A városi

szennyezett levegőre érzékeny, megfelelő területen azonban utcák, parkok és kertek fásítására is alkalmas ([Rapics, R., 1940](#); [Kárpáti, Z., 1948](#); [Erdészeti Lapok, 1995](#); [Nyári, L., 2005](#)).

2.3.4. Feketebodza (*Sambucus nigra* L.)

A feketebodza a *Dicotyledonopsida* osztályba, a *Lamiidae* alosztályba, a mácsonya-virágúak rendjébe (*Dipsacales*) és a bodzafélék (*Sambucaceae*) családjába tartozik. A bodzafélék családjában a virágok sugaras szimmetriájúak, a termésük fekete-ibolya színű csonthéjas bogyó. A *Sambucus* nemzetségben mintegy 25 faj található, melyeknek szárnyasan összetett levelük van ([Borhidi, A., 1995](#)). A feketebodza kozmopolita növény, szinte egész Európában, erdők szélén, ligetekben, elhagyott, nitrogénben gazdag területeken megtalálható, akár 6 méter magasra is megnövő, bokor vagy fa alakú, évelő cserje. Díszváltozatait kertekbe és parkokba is gyakran ültetik. Leveli keresztben átellenesek, páratlanul szárnyasan összetettek. Virágai aprók, sárgás-fehér színűek, kellemes illatúak, május–júniusban nyílnak ([Sipos, B., Z., 1999](#)). A feketebodzát az Amerikai Egyesült Államokban, Ohióban kezdték el termesztetni az 1890-es években, Európában szelekciós nemesítésének 40 éves, termesztésének pedig 30 éves múltja van. Az európai országok közül Ausztria rendelkezik jelentős termőterülettel, Magyarországon jelenleg évente 25-30 ezer tonna bodzatermés kerül kivitelre, amely egyre kisebb mértékben származik vadon termő bodzából, a termesztett bodza előnyére ([Stefanovits-Bányai et al., 2004](#)).



2.3.5. Ábra: A feketebodza termése

A feketebodza gyógyhatását évezredek óta ismerik, azt tartották róla, hogy a vidéki ember „gyógyszeres szekrénye”. Leveleit (*Sambuci folium*), termését (*Sambuci fructus*) és virágát (*Sambuci flos*) a gyógyászatban, napjainkban is használják. A virágából készült drog 2-3 % flavanoidok, szaponinokat, klorogénsavat, ciánglikozidot, illóolajat és cseranyagot tartalmaz (*Földesi, D., 1993*). A feketebodza az egyik legrégebben használt gyógytea alapanyag, amely hűléses megbetegedésekben izzasztó, vizelethajtó, vértisztító és enyhe hashajtóhatást fejt ki, de a koszorúér betegségekben szenvedőknél, légszomj csillapítására és reumás bántalmak ellen is ajánlják. Levele sambunigrin glikozidot, cseranyagot, gyantát, valamint b-karotint tartalmaz (*Rápóty, J., & Romvári, V., 1990; Petri, G., 1991*). A bodzafa kérgét a népi gyógyászatban szív- és vesebetegségek ellen, valamint féregűzésre használják. Gyökere vizelethajtó hatású, vesepanaszok enyhítésére is alkalmas. A feldolgozóipar a gyümölcsből elsősorban sűrítményt állít elő, amely az élelmiszeripari termékek elsőrendű természetes színezőanyaga (*Porpáczy, A., 1987*).

2.4. Enzimek alkalmazása a lékinyerés növelésére

A vizsgálandó gyümölcsök mindegyike tartalmaz pektint, amelynek víz-visszatartó hatása közismert. A pektin szinte minden növényi sejtfalban megtalálható. Élettani szerepe, hogy más sejtalkotókkal (cellulóz, hemicellulóz) kötéseket hozzon létre, és így növelje a sejt mechanikai szilárdságát és rugalmasságát. A pektin többfajta poliszacharid gyűjtőneve, egy heterogén poliszacharid vegyület. Legismertebb tulajdonsága, hogy vizes oldatban, cukor hozzáadásával gyümölcszselék, gyümölcsíz, lekvárok, valamint befőttek besűrítéséhez használható, mivel főzés után a pektin kivonat gélesedést okoz. A pektint ma már nemcsak az élelmiszeriparban alkalmazzák. Előfordulhat kozmetikumokban, mint stabilizáló és emulgeáló anyag, valamint a gyógyszeripar is előszeretettel használja koleszterin-szintcsökkentő, nehézfém megkötő, bélműködést szabályozó képessége miatt (*Kertész, I., Z., 1951; Jayani, R., S., 2005; Kiss, K., 2009*).

A pektin régebben víz-visszatartó hatása révén elsősorban, mint megoldandó probléma jelentkezett a gyümölcs- és zöldséglevék gyártásában, hiszen jelentősen megnehezítette a lékinyerését, megnövelve ezzel az egységnyi termék előállításához szükséges alapanyag- és a feldolgozáskor keletkező melléktermék mennyiségét. Lékinyerés alatt azt a % értéket értjük, amely megegyezik a 100 kg gyümölcs alapanyagból kinyerhető x kg gyümölcs présle százalékos értékével, ha például 100 kg almából 65 kg présle nyerhető ki, akkor a lékinyerés 65 %. Felfedezték, hogy a pektinázok enzimek felhasználásával a pektin szerkezete

megbontható, ezáltal víz-visszatartó hatása megszüntethető, a gyümölcsle kinyerésének hatásfoka pedig növelhető. A pektin mennyisége és kémiai szerkezet a különböző növényekben, a növény egyes részeiben valamint a növény életkorának változása során eltérő. Az érés folyamán a pektin a növényben lévő különböző pektinázok és pektinészterázok közreműködésével töredezetté válik, így a növényi szövet puha lesz, a sejtek elkülönülnek egymástól.

A 2.4.1 táblázatban foglaltam össze a fontosabb gyümölcsök pektintartalmára vonatkozó szakirodalmi adatokat. Látható, hogy az egyes növények pektin tartalma nagy különbséget mutat, még a növényfajtákon belül is jelentős szórás tapasztalható (*Kiss, K., 2009*).

2.4.1. Táblázat: Különböző gyümölcsök pektintartalma

Növény	Összes pektin tartalom (%)	
Húsos som	1,0-1,5	<i>Dokoupil et al., 2012</i>
Fekete bodza	0,16	<i>Assessment report, 2013</i>
Alma	4,0-7,0**	<i>Neukom, 1967</i>
Alma törköly	15,0-20,0**	<i>Neukom, 1967</i>
Burgonya	2,5**	<i>Neukom, 1967</i>
Citrus héj (albedo)	30,0-35,0**	<i>Neukom, 1967</i>
Eper	0,6-0,7*	<i>Lampitt et al., 1928</i>
Fekete ribizli	1,4-1,8*	<i>Lampitt et al., 1928</i>
Málna	0,6-0,9*	<i>Lampitt et al., 1928</i>
Piros ribizli	0,9-1,5*	<i>Lampitt et al., 1928</i>
Kajsziparack	1,0*	<i>Lampitt et al., 1928</i>
Szeder	0,7-1,2*	<i>Lampitt et al., 1928</i>

*Friss gyümölcs tömegére vonatkoztatva; **Gyümölcs száraz anyagra vonatkoztatva

A pektinázokat optimális működési pH tartományuk alapján is meg lehet különböztetni. A pektinázokat a 2.4.2. táblázatban foglaltam össze az adott pektináz enzim forrása szerint (*Kashyap et al., 2001*).

2.4.2. Táblázat: A pektinázok optimális pH szerint

Forrás	Pektináz típusa	Optimális pH	Optimális hőfok (°C)
<i>Aspergillus niger</i>	Endo-pektináz	4,5 - 6,0	<50
	Exo-pektináz	3,5 - 5,0	
<i>Penicillium frequentans</i>	Endo-poli-galakturonáz	4,5 - 4,7	50
<i>Mucor pusilus</i>	Poligalakturonáz	5,0	40
<i>Clostridium thermosaccharolyticum</i>	Poligalakturonát-hidroláz	5, - 7,0	30 - 40

A savas pH tartományban működő pektinbontó enzimeket a textiliparban, különösen a cellulóz alapú szálak-anyagok (pamut, len, kender) kikészítésekor is használják (*Nyeste, L., 1997*). A savas típusú enzimek alkalmazása azonban a gyümölcsfeldolgozó iparban a legelterjedtebb, használatukkal jelentősen nő a lényérés határfoka és javul a kapott gyümölcslé tükrösíthetősége (*Kashyap et al., 2001*).

A nyers, préselt lé gazdag oldhatatlan részecskékben, amelyeket főként pektin vegyületek alkotnak. Ezek a részecskék teszik zavarossá a levet. Ezekben a részecskékben egy pozitív felületi töltésű „fehérje magot” vesznek körbe a negatív töltésű pektin molekulák. A negatív töltések révén a pektin molekulák taszítják egymást. A pektinázok megbontják ennek a pektinnek a szerkezetét, és ott marad a pozitív töltésű fehérje. Így az elektrosztatikus taszítás lecsökken a részecskék között, amik ennek következtében egyre nagyobb aggregátumokká állnak össze. A nagyobb aggregátumok végül leülepednek, de az eljárás javítása érdekében „flokkuláló” ágensek, mint például a zselatin, tannin vagy bentonit (agyagféleség) adagolhatók a rendszerhez. A folyamat beindításához nem szükséges a pektint teljes mértékben lebontani.

A lényérés határfokát úgy is növelhetjük, ha a pektinázokat más enzimekkel együtt alkalmazzuk, ezek lehetnek például cellulázok, arabinázok, xilanázok (*Gailing et al., 2000*).

2.5. Célkitűzések

A kutatásom és kísérletsorozataim célja volt, hogy a meglévő ODMD membrános technológiát tovább fejlesszem, és a vizsgálatokat kiterjesszem további, eddig nem tanulmányozott gyümölcsökre.

A technológiával a húsos som, a kökény, a házi berkenye és a feketebodza, hagyományos, hasznos összetevőkben gazdag gyümölcsöknek (a 2.5.1. táblázat foglalja össze a gyümölcsök fontosabb jellemzőit) levét kívántam kinyerni, besűríteni, továbbá vizsgálni a beltartalmi értékeiket, azok változásából pedig következtetéseket levonni a módszer eredményességéről.

A szokatlan gyümölcsök népszerűsítése, egészséges mivoltuk bizonyítása is céljaim között szerepelt, valamint különböző enzimek alkalmazásával a kinyerhető lé tartalom növelése is.

Érzékszervi vizsgálattal kívántam összehasonlítani az eredeti és az előállított gyümölcsleveket, ezáltal is visszajelzést kapva a technológia teljesítményére.

Az ODMD további fejlesztéséhez, időtartamának csökkentéséhez elméleti és kísérleti kaszkád modellt, majd rendszer fejlesztését tűztem ki végcélként.

2.5.1. Táblázat: Az alkalmazott gyümölcsök terméseinek összehasonlítása

Gyümölcs	Termés mérete (mm), alakja	Termés színe	Különleges jellemzők
Húsos som	10-15, ovális	Piros	
Kökény	5, golyó	Kék	
Berkenye	5, golyó	Barnás-piros	
Bodza	3-5, golyó	Fekete	

3. Anyagok és módszerek

A gyümölcslevek *ODMD* technológiával történő sűrítésével kapcsolatos előzményeket, hátteret, bonyodalmakat, minden fontos részletet és az eredmények megértéséhez szükséges ismereteket mutatja be az Anyagok és módszerek fejezet. Részletezésre kerül a membrános folyamat, a modul, kiegészítő eszközeivel és tulajdonságával, a transzport hajtóereje, a lejátszódó folyamatok. Majd felsorolom és jellemzem a kísérletekhez használt vegyszereket és anyagokat.

3.1. ODMD – a membrán modul és a kísérleti eszköz részeinek bemutatása

Az ODMD rövidítés az ozmotikus és membrán desztillációs műveletekre utal, amelyeket egy időben, azonos folyamaton belül kapcsoltunk össze, hogy azok hajtóereje összeadódjon, megnövelve a vízgőztranszportot és a gyümölcslé koncentrációját, ugyanakkor megőrizve az értékes beltartalmi összetevőket. A készüléket igazoló alap kutatások, mérések álltak rendelkezésemre, amelyek feldolgozását követően további mérési tervekkel és optimalizálási kísérletekkel folytattam a vizsgálatokat. Az eljárás tesztelésére először modell cukoroldatokból állítottam elő sűrítményeket, ezt követően körültekintően megválasztott különleges gyümölcsök levét sűrítettem a kombinált membrános eljárással.

A membránokkal végzett eljárások alapulhatnak nyomás- és/vagy hőmérséklet különbségeken. Ha az említett módszereket kombináljuk, akkor alacsony hőmérsékleten nem történik hő-károsodás, a folyadék megtartja értékes aroma anyagait. Membrán desztillációnak nevezzük, ha a membrán két oldala között hőfokkülönbséget hozunk létre, a melegebb, bepárlandó oldatból a vízmolekulák elpárolognak, s gőzként átjutnak a membránon. Amennyiben gőznyomás-különbséget is előidézünk, az ozmózis hajtóerejének köszönhetően a vízmolekulák igyekeznek átjutni a membrán falán és hígítani az ozmotikus oldatot, eközben a gyümölcslé víztartalma lecsökken. Mivel hidrofób membránt alkalmazunk, a víztranszport gőz formában megy végbe, így nincs közvetlen érintkezés az anyagtranszportban résztvevő két fázis között, ami nagyon fontos és hasznos az élelmiszeripari alkalmazások során.

Az ozmotikus desztilláció (OD) és a membrán desztilláció (MD) segítségével úgy valósítható meg a víz szelektív elvonása, hogy az értékes íz- és illatanyagok a koncentrátumban maradnak. A két eljárást kombinált módon alkalmazzuk, a megfelelő működtetési paraméterek beállításával a két művelet előnyei összeadódnak, s nagyobb víz

(gőz) fluxust érünk el. A mért adatok megadják a gyümölcslevek és koncentrátumaik beltartalmi értékeit, a sűrítés előtt és annak befejeztével. Így megfelelő következtetéseket tudunk levonni a technológiára vonatkozóan és ki tudjuk választani a megfelelő paramétereket.

Az ozmotikus membrán desztillációnál a vízgőztranszport hajtóereje a membrán két oldala között fellépő vízgőznyomás-különbség. A membrán desztillációnál ez a két oldal közötti hőmérséklet különbségnek, míg ozmotikus desztillációnál a szekunder oldalon keringtetett ozmotikus ágensnek köszönhető. Mivel mindkét membrános művelet hasonló elveken nyugszik, hasonló berendezésben végrehajtható, így kombinációjuk viszonylag könnyen megoldható, s a kombinált eljárásnál a hajtóerők összeadódnak. Az alkalmazott hidrofób pórusos membrán miatt a víz csakis gőz formájában juthat át a membránon, ami kifejezetten előnyös az élelmiszeripari alkalmazásoknál higiéniai szempontokból.

A sűrítmények elkészítésére és a folyamat tulajdonságainak vizsgálatára, egy külön erre a célra elkészített, hajszálcsöves kialakítású membrán modult alkalmaztam (3.1.1. Ábrák). Az úgynevezett membrán kontaktor lehetővé teszi két különböző folyadék egymás mellett való áramoltatását úgy, hogy a köztük lévő határfelületet a membrán fala képezi (3.1.2. Ábra).



a.

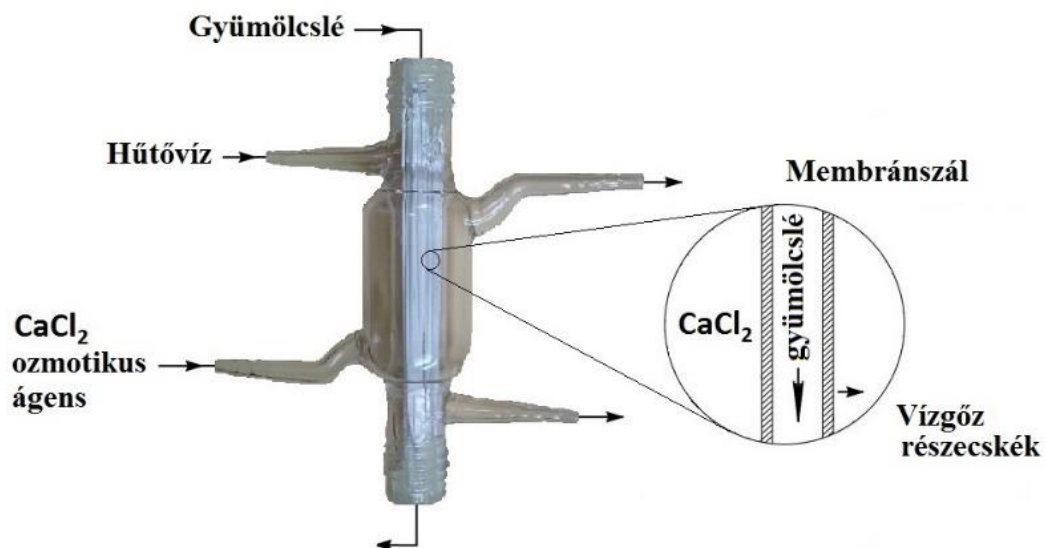


b.



c.

3.1.1. Ábrák: a) membránszálak mikroszkopikus képe, b) félbevágott membránszál mikroszkóp alatt, c) membrán modul



3.1.2. Ábra: A membrán modul működési elve

A membrán anyagát tekintve polipropilén, porózus, hidrofób membrán, amelynek 0,8 mm széles belsejében, 8 cm hosszan áramlik a besűrítendő folyadék. A hidrofób jelleg rendkívül fontos a vízben oldódó összetevők visszatartása szempontjából, ennek részleteit a későbbiekben fejtem ki. A modul 34 membránszálat tartalmaz, melyeknek teljes átadási felülete 68 cm². A modul tulajdonságait a 3.1.1. táblázat foglalja össze és a berendezésről készült képek szemléltetik (3.1.3. Ábrák).

Az összetett berendezés vázlatát a 3.1.4. ábra szemlélteti. A kísérleti berendezés lelkét, a membrán kontaktort számos egyéb eszköz egészíti ki, hogy az feladatát elláthassa. Fontos szerepet tölt be a gyümölcslevek, folyamat közbeni tárolására szolgáló, duplafalú üveg edényzet. Kezdetben 100 cm³ térfogatú gyümölcslétároló egység állt a rendelkezésemre, de további mérések és az elkészített sűrítmények vizsgálatai, indokoltá tették nagyobb űrtartalmak előállítását, méretnövelést. Egy liter térfogatú, henger alakú, három nyílással rendelkező edény került legyártásra. A nyílások a keringtetett folyadék elvételére, illetve visszajuttatására, valamint hőmérsékletmérésre és az esetlegesen keletkező gőzök szabad útjának biztosítására hivatottak.

3.1.1. Táblázat: Az alkalmazott membrán modul tulajdonságai

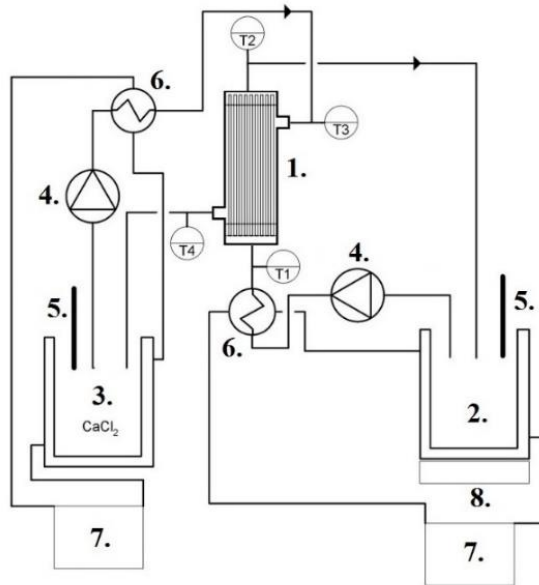
Konfiguráció	Kapilláris
Membrán típusa (gyártó)	PP (Microdyn)
Pórusmérete (μm)	0,2
Falvastagsága (mm)	0,1
Porozitása (%)	70
Membráncső belső átmérője (mm)	0,8
Köpeny anyaga	üveg
Hosszúság (mm)	80
Kapillárisok száma	34
Köpenyátmérő (mm)	15
Szabad keresztmetszet (cm^2)	0,17
Átadási felület (cm^2)	68

A henger lapos aljzattal rendelkezik, így mérlegre helyezhető, a benne lévő folyadék tömege folyamatosan monitorozható és mágneses keverővel homogén állapotban tartható. Dupla falának és a berendezéshez kötött *Julabo* típusú, termosztátnak köszönhetően, a benne keringtetett oldatokat állandó, jól szabályozható hőmérsékleten képes tartani.



3.1.3. Ábrák: A gyümölcslevek keringtetésére és termosztálására szolgáló kísérleti berendezés

Az ozmotikus oldat keringtetésére egy alkalmas méretű Erlenmayer lombikot használtam. A lombik hűtése külső oldalán elhelyezett hőcserélővel, *Julabo* típusú, kriosztáttal lett kivitelezve. Az ozmotikus oldatot mágneses keverővel folyamatos keverés alatt tartottam, a túltelített oldat kikristályosodásának megelőzése érdekében. Ugyanezen hűtőfolyadék végzi az ozmotikus ágens oldat membrán modul előtti szakaszának hűtését is, egy lineáris átfolyású hőcserélőn keresztül.



3.1.4. Ábra: A kísérleti készülék felépítése

**1 - membrán modul, 2 - töményítendő oldat tartálya, 3 - ozmotikus oldat tartálya,
4 - perisztaltikus szivattyú, 5 - vezetőképesség mérő, 6 - hőcserélő, 7 - termosztát, 8 - mérleg,
T1,2,3,4 - elektronikus hőmérő**

A két ellenoldali folyadék áramlását egy *MasterFlex® L/S® Cole-Parmer®* típusú *easy-load® II. 77200-60* számú két utas fejjel ellátott, perisztaltikus pumpa biztosította, amelynek modern beállítási lehetőségei, elérhetővé tették számos paraméter változtatását. A készülékkel a térfogatáram széles skálán szabályozható, így a kísérletekhez meghatározott áramok könnyen beállíthatók voltak. Fontos a megfelelő műanyag csőszakasz kiválasztása a perisztaltikus mozgást végző szakasz biztosítására, a nem alkalmas műanyag idővel elreped, előregszik és eresztetni kezd.

A kísérleti berendezésbe több digitális eszközt is beépítettem, hogy azok a különböző folyamatokról állandó visszajelzést és adatmentést végezzenek. Például a folyadékok tömegének mérésére szolgáló *KERN 440-45N* típusú digitális mérlegek, az oldatok

hőmérsékletének digitalizálása használt *TcDirect* digitális hőmérők. Az utóbbi eszközök helye tetszőlegesen változtatható, ugyanakkor célszerű azt mérni a membrán modul bemeneti, kimeneti és a folyadékok tárolási pontjainál. A gyümölcslevek vezetőképességének mérésére *Radelkis OK-102/1* típusú konduktométert alkalmaztam, amelynek eredményei kizárhatják az ozmotikus oldat sűrítménybe történő esetleges visszakeveredését.

Minden digitális jel továbbítására képes eszközt egy asztali számítógéphez kapcsoltam a megfelelő átalakító készülék beiktatásával. Az adatok feldolgozására alkalmas szoftverek segítségével "*real-time*", folyamatos módon rögzíthettem és figyelemmel követhettem a rendszer azonnali változásait. Az elmentett adatok további feldolgozást tettek lehetővé, a részfolyamatok megismerésének és optimalizálásának irányába.

Meg kell említeni a kellő körültekintéssel megválasztott minőségű és hosszúságú csőszakasz fontosságát. Az anyagtranszportra szolgáló műanyag, ne lépjen semmilyen kölcsönhatásba a benne keringtetett folyadékokkal, továbbá célszerű annak hosszát minimalizálni, a hő veszteségek csökkentése érdekében.

A berendezést minden mérés végeztével 1 %-os NaOH oldattal mostam át, hogy annak károsodását, a gyümölcslé beszáradását és a membránok eltömődését megelőzzem. A vegyszeres öblítést desztillált vízzel való tisztítás előzte meg és követte.

3.2. Felhasznált vegyszerek

A méréseknél szem előtt tartottam, hogy végső cél az élelmiszeripari alkalmazás, ezért munkám során a gyümölcslevek és a koncentrátumok tartósítása érdekében (például a koncentrálnálási folyamat alatt), továbbá a szerelvények, membránok, modulok, csövek tisztítására, regenerálására olyan vegyszereket, kémiai anyagokat használtam (híg savakat, felületaktív anyagokat), amelyek az élelmiszeriparban engedélyezettek.

3.2.1. Tartósítószer, modell oldatok és enzimek

A frissen előállított gyümölcslevek hosszabb ideig való használhatósága érdekében tartósítószer használatára volt szükség, erre a célra az élelmiszeripar által is alkalmazott, nátrium-benzoát szolgált.

A gyümölcslevekkel végzett kísérleteket, minden esetben modell oldatokkal történt mérések előzték meg, amelyek előállításához szükséges szacharózt a *Merck*, Magyarország

nevű vállalat biztosította. A szacharóz (étkezési cukor) egy diszacharid, melyet általában cukorrépából állítanak elő, a természetben megtalálható melaszban, cukorrépa gyökerében és gyümölcsökben. A modell oldatok felhasználása során 50-60 m/m % töménységű koncentrátumokat állítottam elő, a hőmérsékletet 30-38 °C között tartva. Az adott hőfokon a szacharóz oldhatósága 70,1 m/m %. A szacharóz oldatok összetétel és áramlási hasonlóságai a valós gyümölcslevekhez lehetővé tették alapismeretek és folyamatokat megismerését. Ugyanakkor a különböző gyümölcsök, eltérő mennyiségben tartalmazzák a szacharóz monoszacharid változatait (fruktóz, glükóz), amit a mérések során figyelembe kell venni.

A gyümölcslevek mennyiségének és kinyerhetőségének növelése céljából, különböző típusú enzimeket adagoltam a levekhez, melyeket az alább ismertetem, azok hatását pedig a *lékihozatal növelése enzimek segítségével* című fejezetben mutatom be.

3.2.2. Beltartalmak vizsgálatához használt vegyszerek

Az antioxidáns-aktivitás méréséhez szükséges vegyszerek:

Nátrium-acetát-trihidrát	$\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Ecetsav	CH_3COOH
Vas-klorid	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
vas-2,4,6-tripiridil-s-triazin (TPTZ)	$[\text{Fe}^{3+}\text{TPTZ}]_2^{3+}$
Sósav	HCl
Aszkorbinsav	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$

Az antocianin tartalom meghatározásának vegyszerei:

Kálium-klorid	KCl
Sósav	HCl
Nátrium-acetát	CH_3COONa
Ecetsav	CH_3COOH

A teljes fenol tartalom meghatározásához szükséges vegyszerek:

Metilalkohol	CH_3OH
Folin-Ciocalteu reagens	
Nátrium karbonát	Na_2CO_3
Galluszsav	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$

A C-vitamin meghatározásának szükséges vegyszerei:

A folyadék kromatográf alkalmazása nem igényel különösebb vegyszer felhasználást, a minták és tartóedények előkészítéséhez, fertőtlenítőszer és alkoholt alkalmaztam.

3.2.3. Ozmotikus oldat (CaCl_2)

Az ozmotikus oldat a membrán modul szekunder, külső oldalán keringtetett folyadék, amelynek ozmózis nyomása többszöröse a primer oldali cukoroldatnak (gyümölcslevek). A mérések során alkalmazott ozmotikus oldatok túltelítettek (6 mólos), már a levegő nedvesség tartalmát is jól megkötik, rendkívül korrozív folyadékok. A gyakorlatban széles paletta áll rendelkezésre, különböző szempontok alapján célszerű kiválasztani a méréshez alkalmazható optimális oldatot. A választást leginkább befolyásolja az elérhető maximális ozmózisnyomás, a vegyszer költsége, regenerálhatósága, hogy az ne lépjen kölcsönhatásba a membrán anyagával és a besűrítendő folyadékkal. Ezeket figyelembe véve a méréseim során kalcium-kloridot ozmotikus oldatot alkalmaztam. 25 °C fokon, 1 gramm, vízmentes CaCl_2 képes 1,4 g vizet megkötni, rendkívül higroszkópos folyadék, ezért előállítás és alkalmazása során fokozottan figyelni kell a környezettel való érintkezés megelőzését. Exoterm folyamat kíséri oldódását (oldódási hője: -304,8 J/g), ami után a fizikai egyensúly általában 1 nap alatt áll be, alkalmazása előtt ezt az időtartamot célszerű kivárni (*Rácz et al., 2014*).

A kísérletekhez 6 mólos oldatot állítottam elő, mivel a vizsgálati hőmérsékleten ez az a maximum koncentráció, amin még nem kezdődik meg sókristályok kiválása, ugyanis azok a membránok eldugulását okozhatják. A CaCl_2 sóoldat viszkozitása a cukoroldattal megegyező ütemben változik, adott koncentrációnál a hőmérséklet növelésével fordított arányban, folyamatosan csökken, adott hőmérsékleten pedig a koncentrációval folyamatosan nő. Dinamikus viszkozitása egy nagyságrendbe esik a szacharóz vizes oldat viszkozitásával, viszont vezetőképességük között 3 nagyságrend különbség állapítható meg, a sóoldat javára (szacharóz oldat vezetőképessége: 0,585 mS/cm, 30 °C-on). A CaCl_2 további jellemzőit a dolgozat végén található 2. melléklet tartalmazza.

3.3. Mérési módszerek

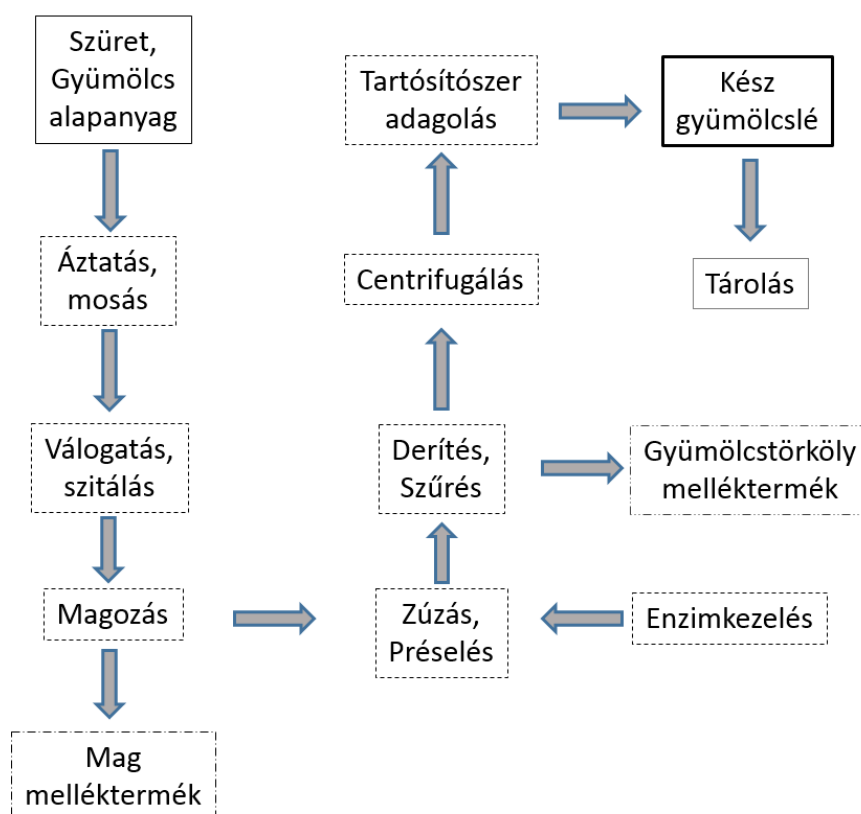
3.3.1. Gyümölcslé előállítása

A méréseim során felhasznált különböző gyümölcslevek előállítása teljes mértékben önálló munka eredménye. A gyümölcsfák és bokrok felkutatását, termési idejük meghatározását, terméseik pontos beazonosítása követte. Ezután az előre meghatározott gyümölcslé mennyiség kinyeréséhez elegendő gyümölcs összegyűjtése, szüretelése történt.

A gyümölcsök eltérő tulajdonságaiból fakadóan, más módszerekkel kellett közelíteni azok feldolgozásához. A négy fajta alapanyag mérete, lé tartalma, mag nagysága és formája mind eltérő. A gyümölcsök lé tartalmának kinyerési eredményeit a 3.3.1. táblázatban összesítettem.

A begyűjtés után, a feldolgozásra váró gyümölcsökre mosás, majd pedig válogatás várt (a romlásnak indult szemek kiválogatása), ezt követte a lé kinyerése. Mivel a termések és azok magvai különbözőek, így minden gyümölcs esetében más lyukátmérőjű szűrőt kellett elkészítenem a magok visszatartása végett. Fokozott figyelmet fektettem a felhasznált segédeszközök sterilitására és anyagára, hogy azok ne károsíthassák a levek minőségét, beltartalmaik mennyiségét. A magok eltávolítása után, a húslepényből préseléssel nyertem ki a kísérleteim folyékony alapanyagát. A préselés első fázisa kézi erővel szövethálón keresztül, majd hidraulikai prés segítségével történt. A leveket szűrtem és centrifuga segítségével ülepítettem ki a nagyobb részecskéket, amelyek a membrán modul pórusait eltömíthetik. Utolsó lépéseként pedig hozzáadtam a nátrium-benzoát tartósítószert; 0,519 g $\text{NaC}_6\text{H}_5\text{CO}_2$ / 10 dm³ gyümölcslé arányban, hogy megelőzzem azok szobahőmérsékleten való megromlását. Az azonnal fel nem használt leveket fagyaszttóban tároltam.

A húsos som termése lédús, magja ovális, húsa vékony és a magról könnyen lefejthető. Egy liter som gyümölcslé előállításához átlag 2 kg somtermésre volt szükség, s hasonló arányokat tapasztaltam a kökénynél is. Berkenyéből és fekete bodzából némileg kevesebb gyümölcs is elég volt az 1 liter léhez. A magozást, préselés követte, először kézzel, majd hidraulikus préssel nyomva a pépet. A magozáshoz 5 mm lyukátmérőjű szitát kellett kialakítani, hogy a magokat visszatartsuk, ennek anyaga műanyag volt. Míg a préseléshez 0,1 mm lyukméretű vászon anyagot alkalmaztam. Gondosan ügyelni kellett arra, hogy a bogyók és leveik ne érintkezzenek fémekkel, a beltartalmakat azok ne befolyásolhassák.



3.3.1. Ábra: A gyümölcslé előállítás folyamatábrája

A táblázat alapján megállapítható, hogy e vadon termő, színes bogyós gyümölcsökből – a termesztett, nemesített, „népszerű” gyümölcsök többségéhez képest – összességében kevesebb levet lehet kinyerni, mivel nagyobb arányban tartalmaznak magvakat, héjat.

3.3.1. Táblázat: A gyümölcsök terméseinek jellemzői (az eredmények kerekített átlag értékek)

	Húsos som	Kökény	Berkenye	Bodza	
més	1000	1000	1000	1000	g
m Törköly	400	450	350	300	g
m Magok	300	350	400	300	g
V Lé	450	400	430	500	cm ³
m Mag	350	330	400	220	mg/db
m Bogyó	2	2	1,8	1,5	g/db
Lé kinyerés	50-55	50	40-50	55	%

3.3.2. Lékihozatal növelés enzimekkel

Mint arra már utaltam, fontossá vált a gyümölcslevek mennyiségének növelése, amely nem csak kísérleteim során, de az iparban is alapvető célkitűzés. Ennek egyik kézenfekvő és elterjedt módja a különböző enzimek és azok kombinációinak a gyümölcsökhöz való hozzáadása. A következő enzimek használatával vizsgáltam a lékinyerés növelését:

- *Pectinex Ultra SP-L*
- *Microzym 200*
- *Pektopol PT-400*

A *Pectinex Ultra SP-L* egy összetett enzimek készítmény, *Aspergillus aculeatus*-ból (*Novozymes*, Dánia) Standard aktivitása 26000 PG/cm³ (pH: 3,5), a standard aktivitást a kezelt pektinsav oldat viszkozitás csökkenésével határozzák meg, pH: 3,5 és 20 °C-on. Hagyományosan gyümölcspépek kezelésére kifejlesztett készítmény, mivel pektináz enzimek mellett hemicelluláz és celluláz aktivitást is mutat. Az iparban főként alma és körte kezelésére használják, legnagyobb aktivitását 4,5 pH értéken mutatja. *Pectinex Ultra SP-L* esetében a méréseket először állandó hőmérsékleten (37 °C) és fél óra rázatási idő alatt végeztem el. 10 µl enzimek készítmény / 30 g gyümölcspép arányú kezelés már látványos eredményhez vezetett, növelve a hozzáadott mennyiséget, 30 µl felett már nem nőtt tovább a léhozam. A rázatási idő növelése nem eredményezett növekedést. A hőmérsékletet növelése valószínűleg pozitív irányba vitte volna a lékinyerést, de a gyümölcsleveket nem szerettem volna 37 °C-nál magasabb hőmérsékletre melegíteni, megelőzendő a hő károsodást és a beltartalmi értékek veszteségét. A gyakorlatban gyakran nincs mód a hőmérséklet szabályozására, ezt az enzimet alkalmazhatjuk alacsonyabb hőfokon is, mivel aktivitása lényegesen nem csökken.

A *Microzym 200*, por alakú, teljesen tiszta enzimek készítmény, amely nagy mennyiségben tartalmaz pektinészterázt, poligalakturonázt és poligalakturonáz-liázt. Gyártója elsősorban borok és mustok kezelésére javasolja. Mivel a borok és mustok pH értéke 2,8-3,5 értékhatárok között mozog, alkalmazható az általam kezelt négy gyümölcs kezelésére is, azok hasonló savassága miatt. A gyártó által javasolt mennyiség 0,5-2 g/hl szőlőmust. 0,1 g enzim/ 30 g pép koncentrációban adagolva, mind a négy gyümölcs esetében, tapasztaltam javulást a léhozamban, majd az adagolt mennyiséget háromszorosára növelve, jelentős mértékű javulást értem el a pépek szűrhetőségén és a léhozamon.

A *Pektopol PT-400*, sűrű, barna folyadék, amely szintén tartalmazza a pektinbontó enzimeket a gyümölcspép és gyümölcslé pektintartalmának bontására. Emellett még celluláz, hemicelluláz valamint proteáz és más enzimek is megtalálhatók benne. 3,1-3,7 pH értékek között mutatja a legnagyobb aktivitást. A *Pektopol PT-400* gyártó által ajánlott dózisa 100-200 g enzim/t bogyós gyümölcs pép, a javasolt kezelési hőfok pedig 40-50 °C. 10 µl nem hígított enzimet alkalmazva 30 g péphez, 37 °C-on történő kezelésnél léhozam növekedést értem el, tovább növelve az enzimkoncentrációt javulást nem volt megfigyelhető.

A mérésekhez fagyasztott bogyós gyümölcsöket használtam (húsos som: 3,03 pH; kökény: 3,53 pH; lisztes berkenye: 3,42 pH; fekete bodza: 3,78 pH). Minden mérésnél 30 g összetört gyümölcspépet mértem be egy 100 cm³-es Erlenmeyer-lombikba, majd rázógéppen inkubáltam 37 °C hőmérsékletűre. Csak ezután adtam hozzá a megfelelő mennyiségű enzimet. Az inkubálási időt 30, 60 és 120 percre választottam, míg a rázatás mindig 200 rpm intenzitású volt.

Az inkubálási idő elteltével az összehasonlíthatóság miatt minden egyes alkalommal pontosan 30 percre keresztül szűrtem 75 g/m²-es ipari szűrőpapíron (*Spektrum 3D*) a kezelt gyümölcspépet. Minden kezelés után meghatároztam a kapott szűrőleány és szűrlet szárazanyag tartalmát is.

Mivel a különböző enzim készítmények elég drágák, felhasználásuk jelentősen növelheti az eljárás összköltségét, tehát lényeges szempont az enzimmennyiség ára és beszerezhetősége. A *Microzym 200* Magyarországon kereskedelemben kapható 38274 Ft/kg-os egységáron. A *Pektopol PT-400* enzimmennyiséget Lengyelországból szerezhető be, 500 ml-es kiszerelés ára 2485 Ft + postaköltség. A *Pectinex Ultra SP-L 500* 250 ml-es kiszerelésben 47700 Ft-ba kerül.

3.3.2. táblázat: 1 kg átlag bogyós gyümölcs feldolgozásához szükséges enzim mennyisége és ára

Enzim	37°C	
<i>Pectinex Ultra SP-L</i>	150 µl/kg	25 Ft
<i>Pektopol PT-400</i>	500 µl/kg	3 Ft
<i>Microzym 200</i>	300 mg/kg	12 Ft

*Az árak 2006-os adatok

A 3.3.2-as táblázatban a 65 százalékos léhozam eléréshez szükséges enzimmennyiséget tüntettem fel. A táblázatból látszik, hogy a leggazdaságosabb a *Pektopol PT-400*.

Az enzimek hozzáadásával elért lékihozatal növekedés mértékét az eredmények fejezetben mutatom be részletesen.

3.3.3. Gyümölcsle előkezelés, sűrítés, melléktermék kezelés

A préselési folyamatok végterméke számottevő lebegőanyagot tartalmazott, amelyek a membrán pórusait eltömíthetik, tehát a levek előkezelésére van szükség, mielőtt a koncentrálnálási folyamat elindulhatna. A présleveket üleptettem, a felúszót leöntöttem, a visszamaradt flotátumot pedig ismét préseltem, hogy az abban maradt beltartalmakat is megőrizsem. Az így kinyert levét pedig 45 mikronos szűrőpapíron keresztül vákuum szivattyú segítségével szűrtem át, majd pedig egy *Sigma 4K10* típusú centrifugával, 1500 rpm fordulaton, 15 percen keresztül kezeltem és leöntöttem a felúszó tiszta folyadékot.

A sűrített gyümölcsleveket egy vagy több fajta gyümölcsből állítják elő, a víztartalmuk fizikai úton történő, részleges eltávolításával. Az eltarthatóság, a cukortartalom és a fogyasztói követelmények meghatározzák az alap 50 %-os besűrítést. A besűrített levek kevesebb helyet foglalnak, könnyebben tárolhatók és szállíthatók, további előnyük, hogy eltarthatóságuk nagymértékben megnő, köszönhetően a magas cukor tartalomnak. Amennyiben a gyümölcsleveket ODMD technológiával töményítjük, elvárható, hogy – a kíméletes működtetési körülményeknek köszönhetően – a hőérzékeny komponensek nagyobb hányadát lehet megőrizni.

A levek előállítása során jelentős mennyiségű melléktermék keletkezik, magok, törköly formájában. Ezek a szerves "hulladékok" további célokra felhasználhatók, hiszen nagy mennyiségben tartalmaznak cukrokat és vitaminokat. A gyümölcsök magjainak kiszáritásával kiváló abszorber alapanyagot kapunk. A kiperéselt gyümölcshúsok és héjak alkalmasak pálinka vagy komposzt készítésére. A törkölyt mézzel keverve, nagyon egészséges táplálék kiegészítő keveréket tudunk előállítani.

3.3.4. Érzékszervi vizsgálatok

A gyümölcslevek besűrítésével és a beltartalmaik megőrzésével nem ér véget a technológia eredményességének vizsgálata. Szükséges megvizsgálnunk a termék további, fontos tulajdonságait, amik a fogyasztási feltételeit és élvezeti értékeit nagymértékben befolyásolják. Ide tartozik a levek íz, aroma világa, illata, színe és állaga is. Ezen tulajdonságok értékelésére a legegyszerűbb és leggyorsabb módszer az érzékszervi, organoleptikus vizsgálat. A keletkezett termékeket gondos, megfelelő előkészítést követően, adott számú bíráló vizsgálja a különböző szempontok alapján és hasonlítja össze a kiindulási alapanyagokkal. A vizsgálatokhoz előre biztosítottam a megfelelő helyszínt, a kóstoláshoz szükséges eszközöket és mennyiségeket az egészségügyi és higiéniai követelményeknek megfelelően. Mind a négy gyümölcs fajtából két-két minta került az asztalra, a kiindulási és a sűrítmény, visszahígítva eredeti koncentrációra. A kóstolást megelőzően, kiszellőztettem, hogy a szaglást lehetőleg ne zavarja idegen illat, majd mindenki azonos mennyiségben és ugyanolyan pohárban kapta a mintát. Az érzékszervi vizsgálatok elvégzéséhez Horváthné Dr. Almássy Katalin Szegedi Tudományegyetem jegyzetei voltak segítségemre.

3.3.5. Beltartalmi értékek és szárazanyag tartalom meghatározása

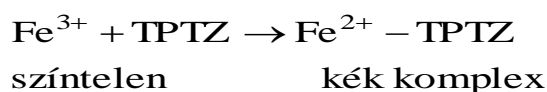
A négy féle bogyós gyümölcsből nyert levek értékes komponenseket tartalmaznak, célunk ezen tartalmak minél nagyobb fokú megőrzése, kíméletes eljárás alkalmazásával és a hő károsodás megelőzésével. A technológia hatékonyságáról ad visszajelzést a beltartalmi értékek megőrzési szintje azok, mint indikátorok szerepelnek a folyamat jellemzésére. Hogy összehasonlítást tudjunk végezni, meg kell mérni a kiindulási és a koncentráció utáni végtermék levek kijelölt komponenseinek értékét, természetesen ugyanazon koncentrációra visszahígítva azokat.

A kinyert friss gyümölcsleveket, előkezelésüket követően, analitikai vizsgálatoknak vettem alá, ahol meghatároztam azok antioxidáns aktivitását, összes polifenol, antocianin és C-vitamin, valamint szárazanyag tartalmát. A membrános besűrítés után, a koncentrátumokból vett mintákat a kiindulásival azonos töménységűre hígítottam, majd ugyanazon beltartalmakra végeztem vizsgálatokat az alább részletezett eljárások szerint.

Antioxidáns aktivitás meghatározása

A természetes antioxidánsok bizonyítottan védik a szervezet immunrendszerét, erősítik a bőr védőfunkcióját, csökkentik a szívbetegségek kialakulásának kockázatát, lassítják a bőr öregedési folyamatait és védelmet nyújtanak bizonyos daganatos megbetegedésekkel szemben. Általános megfogalmazás szerint az antioxidáns olyan molekula, amely kis koncentrációban is szignifikánsan lassítja vagy teljesen meggátolja más molekulák oxidációját. A kis molekulájú antioxidánsok közé olyan vegyületek tartoznak, mint a C-, E- és A-vitamin, a béta karotin, a flavanoidok, a fenolos vegyületek, néhány kéntartalmú aminosav, a redukált glutation. E vegyületek túlnyomó része táplálkozás útján jut szervezetünkbe, ahol a normál fiziológiai működés fenntartásában és a sok esetben oxigén szabadgyökök részvételével kialakuló betegségek elleni védelemben játszanak jelentős szerepet (*Balogh, E., 2010*).

Az antioxidáns aktivitás meghatározására több eljárást is alkalmaznak, ezek a szakirodalmakból könnyen elsajátíthatók, reprodukálhatók. A vizsgálati gyümölcslevek összes antioxidáns aktivitásának meghatározásához a laboratórium felszereltségéhez és készleteinkhez legközelebb álló, Benzie és Strain (1966) módosított módszerét alkalmaztam. Az eljárás lényege, hogy a ferri (Fe^{3+}) ionok az antioxidáns aktivitású vegyületek hatására ferro (Fe^{2+}) ionokká redukálódnak. A módszert röviden *FRAP* eljárásnak hívják (*Ferric Reducing Ability of Plasma* – vasredukáló képesség). A ferro ionok alacsony pH-n a 2, 4, 6 trypiridil-s-triazinnal (TPTZ) komplexet képezve intenzív kék színű terméket adnak, amelynek abszorbanciája 593 nm-en fotométerrel jól mérhető. A FRAP értéket úgy kapjuk meg, hogy összehasonlítjuk a minta extinkció értékét 593 nm-en, olyan reakció eleggyel, amelynek Fe^{2+} koncentrációja ismert. Ehhez előzetesen kalibrációs görbét veszünk fel, ismert elegyként aszkorbinsavat alkalmazva.



A mért antioxidáns kapacitását mg AS/l (aszkorbinsav ekvivalens) kapjuk meg. Mérésenként három párhuzamos mérést végeztem. A kémcsövekben lévő oldatok összetétele a következőképpen alakul: 60 μl minta+ 40 μl DV + 3000 μl FRAP reagens (*Benzie et al., 1996*). FRAP reagens:

25 ml Nátrium-acetát puffer oldat,

2,5 ml FeCl_3 oldat,

2,5 ml TPTZ oldat.

Összfenol tartalom meghatározása

A közvetlen szabadgyök-befogásban és a lipid-peroxidáció megakadályozásában fontos szerepet kapnak a magasabb rendű növények minden részében előforduló polifenolok és flavanoidok. A polifenol megnevezés mindazon molekulák gyűjtőneve, amelyek több fenolos hidroxil-csoportot tartalmaznak. Ilyen vegyületek a hidrolizálható cserzőanyagok, galluszsav származékok, a kondenzált cserzőanyagok és a flavanoidok (*Balogh, E., 2010*).

A fenol tartalmat Singleton és Rossi (1965) által leírt, spektrofotometriás módon, Folin-Ciocalteu reagens segítségével határoztam meg, amely eljárás alapelve, hogy a reagens a fenolok hidroxid csoportjával kék színű komplexet képez, s az oldat abszorbanciája arányos az extraktum fenol tartalmával. Az összfenol tartalmat galluszsavra vonatkoztatva határozzuk meg. A szükséges reagensek: metilalkohol és desztillált víz 80:20 arányú keveréke; Folin-Ciocalteu reagens; 0,7 M-os nátrium karbonát oldat; 0,3 mM-os galluszsav oldat (metil-alkohol és desztillált víz elegyével hígítva). A mérés előtt a hígított galluszsavval kalibrációs görbét készítünk. A minta össztérfogata 2500 µl, amely 1250 µl Folin-Ciocalteu reagensből, 200 µl MeOH:DV elegyből és 50 µl mintából, (1 perc után hozzáadott) 1000 µl Na₂CO₃ oldatból áll. Az kémcsöveket 5 percre, 50 °C-os vízfürdőbe helyezzük, majd λ=760 nm-en mérjük az abszorbanciájukat. Mintánként három párhuzamos mérést végzünk. A mért abszorbanciából a kalibrációs görbe segítségével határozzuk meg az összfenol tartalmat mg galluszsav/ml dimenzióban (*Singleton & Rossi, 1999*).

A mérendő oldatok összetétele:

1250 µl Folin-C reagens + 200 µl MeOH : DV oldat + 1000 µl Na₂CO₃.

Antocianin tartalom meghatározása

Az antociánok egy víz-oldékony színanyag csoport. Színüket a pH-tól függően változtatják, a pirostól kezdve a kékig. A természetben, a baktériumokban és a növényekben is megtalálhatók. A növények nagy részében ezek a vegyületek elsősorban a levelekben, a gyökerekben, a virágokban és a gyümölcsökben fordulnak elő. Az antocián egyúttal egy erős antioxidáns is, segíti a káros UV sugarak által létrehozott szabadgyökök elleni védekezést. Az antioxidáns tulajdonságot elfogyasztás után is megtartja, többek között e tulajdonságuk miatt nagyon egészségesek a piros héjú vagy húsú gyümölcsök.

Az antocianin tartalmat Giusti, M. M. és Wrolstad, R. E. (2000) által kifejlesztett pH differenciális módszerével mértem meg. A méréshez kétféle puffer oldatot készítünk:

- 25 mM-os KCl-HCl oldat, pH 1-re beállítva,
- 0,4 M-os Nátrium-acetát oldat, pH 4,5-re beállítva.

A pufferekből azonos mennyiséget adagolunk a mintákhoz, majd 15 percre állni hagyjuk, hogy az oldatok egyensúlyba kerüljenek. Minden minta abszorbanciáját 520 (A_{520}) és 700 (A_{700}) nm-en is megmérjük. Vak mintaként desztillált vizet adunk az oldatokhoz. Az antocianin tartalmat cianidin-3-glükozidra számítjuk és az eredményt mg/L dimenzióban kapjuk meg, a következő egyenlet alapján:

$$A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}=1} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}=4,5} \quad (8)$$

Az eredeti minta összes antocianin koncentrációjának (TA) meghatározása az alábbi egyenlet alapján számítható:

$$TA = \left(\frac{A * M * DF * 1000}{\epsilon * l} \right) \quad (9)$$

ahol M a mol tömeg (449,2 g/mol), DF (dilution factor) a hígítási faktor, l a kuvetta szélessége (1 cm), ϵ a moláris adszorptivitás, ami cianidin-3-glükozid esetében: 26900 dimenziómentes érték.

C-vitamin tartalom meghatározása

A C-vitamin (aszcorbinsav) vízben jól oldódó vitamin; oxigén, fémionok, hő, fény hatására igen könnyen bomlik. Biológiai szerepe rendkívül szerteágazó, többek között molekuláris szintén részt vehet mind az oxidációs, mind a redukciós folyamatokban; nélkülözhetetlen egyes hormonok és a kollagén-fehérje szintéziséhez, az immunrendszer szabályos működéséhez; elősegíti a vasszívódást a bélrendszerből (*Fogarassy, E., 2012*).

A C-vitamin meghatározásához a minta előkészítés a következők szerint történt: A 100 mg liofilizált mintából 10 ml 2%-os metafoszforsav oldattal összerázás után 10 percre ultrahangos vízfürdőbe helyeztem, majd a mintákat 8 °C-on, 6000 rpm fordulatszámon, 20 percig centrifugáltam. A felülúszót 0,45 µm-es pórusátmérőjű membrán szűrővel szűrtem. A szűrletből 5 ml-t sötét üvegedénybe tettem és 2,5 ml 4%-os L-cisztein oldatot adtam hozzá. Az oldat pH-ját 12,5 %-os ammónia oldattal 7 és 7,2 közötti értékre állítottam, és öt percen keresztül mágneses keverővel kevertettem. Az öt perc elteltével 20%-os metafoszforsavval a pH-t 2,5 és 2,8 közé állítottam be. A kívánt pH elérése után az oldatot MilliQ vízzel 10 ml-re egészítettem ki, majd 0,22 µm-es pórusátmérőjű membrán szűrővel szűrtem. Ezt az oldatot használtam a HPLC-s elválasztás során. Az L (+) – aszcorbinsav mintában történő

beazonosítása retenciósi ideje alapján történt (*Engel et al., 2010; Balogh, E., 2010*). Az eredményeket mg aszkorbinsav/g szárazanyagban adtam meg. Az elválasztás és a mennyiségi meghatározás a következő kromatográfiás feltételek között valósult meg:

- Állófázis: 3,2 x 150 mm Restek Ultra Aqueous C18,5 µm oszlop
- Mozgófázis: A: H₂O + 0,1% HCOOH; B: Metanol+ 0,1% HCOOH
- Áramlási sebesség: 500 µl/perc
- Időtartam: 4 perc
- Injektálási mennyiség: 5 µl
- Oszlop hőmérséklete: 30 °C
- Nyomás: 100 bar
- Detektálás: 285 nm

Szárazanyag tartalom meghatározása (TSS)

A korábbiakban említett módon homogenizált gyümölcsök szárazanyagtartalmának meghatározás az MSZ : 2429-1980 szabvány alapján történt.

Mind a törkölyből és mind az egész gyümölcs száradt maradékából, őrlés után, 1-1 g-ot mértem be metanolos és 1-1 g-ot vizes extrakcióra. Az oldószerekből 10-10 ml-t mértem be, majd 24 óra után a felúszót leszívtam és újabb 10-10 ml szerrel extraháltam 36 órán keresztül, majd a felúszót ismét eltávolítottam. Az így nyert oldatokat 25 cm³-es lombikokban gyűjtöttem és az adott oldószerezrel 25 ml-re egészítettem ki. Tehát négy párhuzamosan extrahált oldatot vizsgáltam. Saját tapasztalatok alapján érdemes mindkét mintát azonos ideig a szárítószekrényben tartani, ugyanis bizonyos alkotóanyagok 100 °C-on már bomlanak. Ezzel lehet magyarázni, hogy a 8 órát szárított törköly szárazanyagtartalma 38 %, míg a 18 órát szárítotté 26 %. Erre enged következtetni, a majd az eredményekben látható különbség is, továbbá a 18 órát szárított illata és színe jóval karamellizálódottabb, valamint barnább volt, mint a 8 órát száradt törkölyé, aminek kellemes szárított gyümölcs illata és sötétpirosas (bordós) színe volt (*Koroknai, B., 2006*).

4. Eredmények és értékelésük

Doktori munkám tárgya, ozmotikus- és membrán desztilláció kombinált eljárására kialakított kísérleti berendezés továbbfejlesztése és tökéletesítése volt. Munkatársam alma, piros és fekete ribizli, málna és szeder levével végzett sikeres kísérleteket. Úgy gondoltam, hogy vadon termő, értékes, vitamindús, színes bogyós gyümölcsökkel bővítem a vizsgált levek körét. A kísérletekhez elegendő mennyiségű gyümölcslevet állítottam elő, amit az előző fejezetben ismertetett módszerrel előkezelttem, tartósítottam és lefagyasztottam.

Az előkezelt leveket, külön mérési sorozatok alkalmával sűrítettem be kombinált ozmotikus és membrán desztillációt alkalmazva. A folyadékok eltérő tulajdonságokkal és beltartalmi összetétellel rendelkeznek.

Az eljárással nyert levek minősítésére érzékszervi vizsgálatot végeztem, amelynek során független bírálók értékelték a sűrítmények különböző tulajdonságait.

Összehasonlítást végeztem a kiindulási levek és a sűrítmények beltartalmi összetételét illetően, méréseim bizonyították, hogy a technológia alkalmas a beltartalmi értékek megőrzésére. Az anyagátadást, a fluxust, a megfelelő hőmérsékletek, térfogatáramok és ozmotikus oldatok hatását kiértékeltem.

Annak érdekében, hogy a technológia még hatékonyabb legyen, kidolgoztam egy több-lépcsős kaszkád rendszert. Modellek, számolások és cukor oldatokkal végzett kísérletek bizonyítják a kaszkád módszer eredményességét.

4.1. Lékihozatal növelése enzimek segítségével

A gyümölcsökből történő lényerést enzimek hozzáadásával igyekeztem növelni. Mivel nem volt fellelhető releváns szakirodalmi adat ezekről a gyümölcsökről, egy teszt sorozatot végeztem, hogy kiválaszthassam a megfelelő enzimek készítményt. Vizsgálataimban három különböző összetett enzimek készítmény hatását vizsgáltam a léhozam javításának érdekében a gyártóik által javasolt mennyiségen. *Microzym 200*-ból 0,1 g enzim szükséges 30 g gyümölcs pép kezeléséhez, *Pektopol PT-400*-ból 10 µl / 30 g pép és *Pectinex Ultra SP-L*-ből szintén 10 µl / 30 g gyümölcspép adagolására van szükség, hogy megfelelő léhozamot érjünk el.

Microzym 200-zal 72,1 %-os léhozamot értem el a húsos, 60,9 %-ot a kökény, 57,1 %-ot a lisztes berkenye és 60,4 %-ot a fekete bodza esetében. További celluláz enzimadagolással ezt az értéket még 1-5 %-al tudtam tovább növelni. A *Pektopol PT-400*-zal és a *Pectinex*

Ultra SP-L-lel elért léhozamokat a 4.1.3. táblázat tartalmazza. 37 °C-on egyértelműen a *Microzym 200* enzimek készítmény működik legeredményesebben.

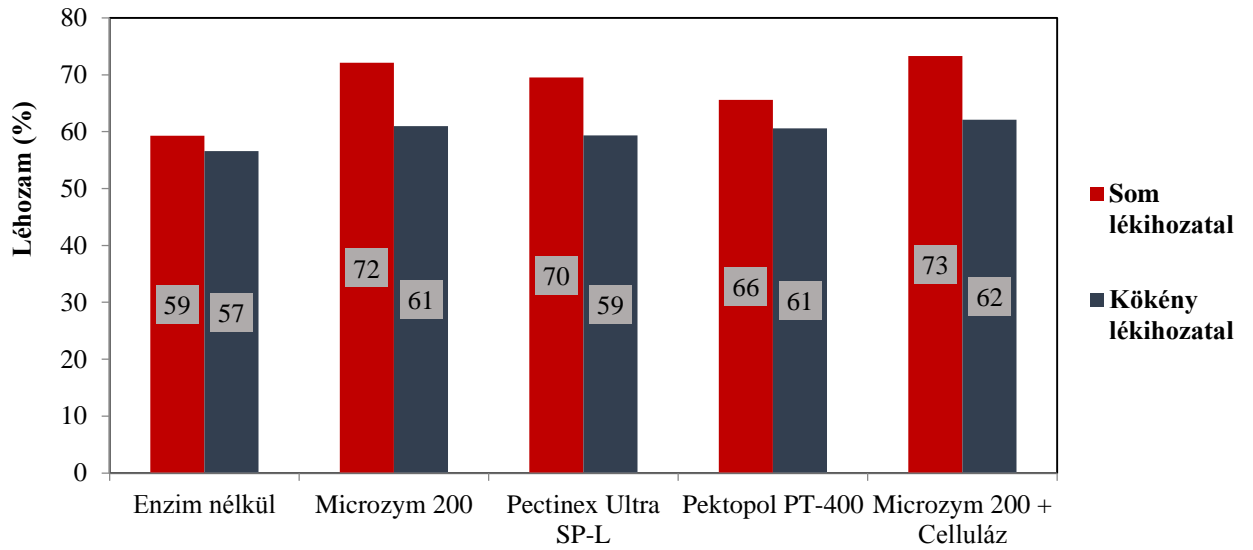
Az enzimes kezeléseknél a szórások mértéke 5 % körüli volt, ami viszonylag magas a lékihozatal növekedéséhez képest. Úgy tűnik, hogy egyelőre ez a lépés semmiképpen nem gazdaságos, mivel az enzimek pH optimumai nem egyeznek a gyümölcspépek pH értékeivel és a 37 °C sem tekinthető minden esetben optimálisnak működésükhöz. Ezért úgy gondolom, hogy ezen a területen tovább kell folytatni a kutató munkát, más enzimeket tesztelésével, s majd csak az ennél hatékonyabb lékihozatalnál lesz érdemes gazdaságossági számításokat végezni.

A kapott értékeket összehasonlítottam és az eredményeket a 4.1.2. ábrán mutatom be som és kökény mintákra, valamint a 4.1.3. ábrán berkenye és bodza esetére.

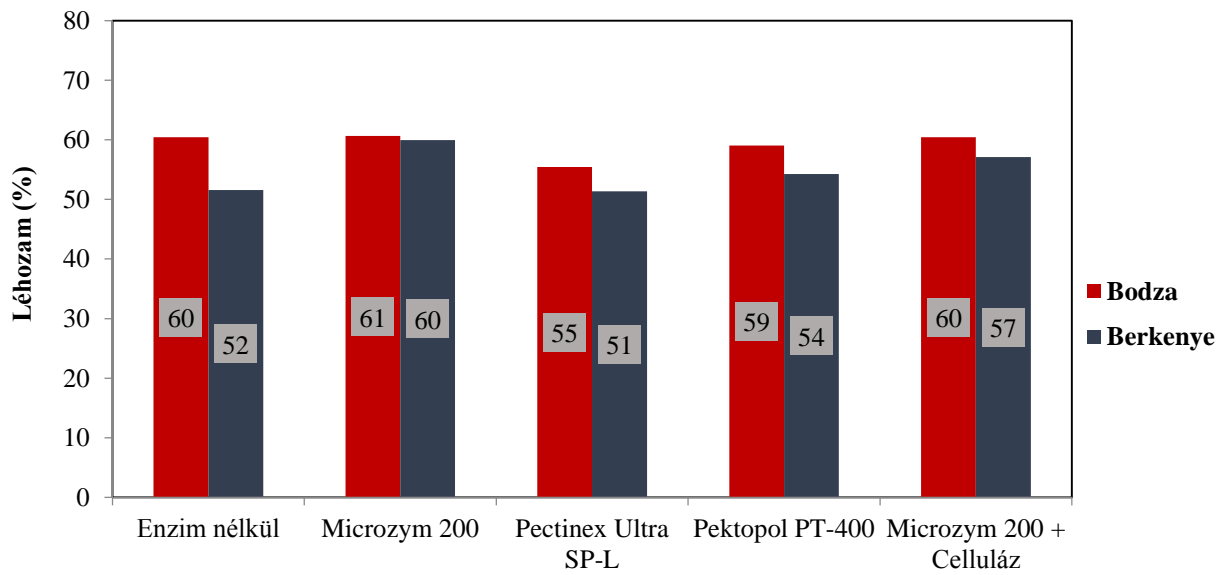


4.1.1. Ábra: Enzimek tesztelése a lékihozatal növelésére kísérletsorozat

Az enzimes kezelésnek a lékihozatalra gyakorolt hatását a 4.1.1. táblázatban összegeztem mind a négy gyümölcsre vonatkozóan.



4.1.2. Ábra: Lékinyerés növelése enzimekkel som és kökény esetén



4.1.3. Ábra: Lékinyerés növelése enzimekkel berkenye és bodza esetén

4.1.1. Táblázat: Az enzimes kezelés hatásának eredményei

	Enzim nélkül	Microzym 200	Pectinex Ultra SP-L	Pektopol PT-400	Microzym 200 + Celluláz	pH
Húsos Som						
Lé (g)	16,3	19,9	19,4	18,1	20,6	3,025
Törköly (g)	8,3	6,5	7,0	7,7	6,5	
Préselendő pép	27,5	27,6	27,9	27,6	28,1	
Lékihozatal (%)	59,3	72,1	69,5	65,6	73,3	
Kökény						
Lé (g)	15,9	16,7	16,5	17,5	18,2	3,53
Törköly (g)	11,2	9,9	10,6	10,2	9,8	
Préselendő pép	28,1	27,4	27,8	28,9	29,3	
Lékihozatal (%)	56,6	60,9	59,4	60,6	62,1	
Lisztés Berkenye						
Lé (g)	14,7	16,1	13,5	14,7	16,3	3,42
Törköly (g)	13,2	12,4	12,3	13,2	11,5	
Préselendő pép	28,5	28,2	26,3	27,1	27,2	
Lékihozatal (%)	51,6	57,1	51,3	54,2	59,9	
Bodza						
Lé (g)	15,9	16,8	14,3	14,7	17,1	3,78
Törköly (g)	10,3	10,9	11,2	10,7	10,6	
Préselendő pép	26,3	27,8	25,8	24,9	28,2	
Lékihozatal (%)	60,5	60,4	55,4	59,0	60,6	

A táblázat utolsó során feltüntettem a leveknél mért pH értékeket. Látható, hogy ezek meglehetősen alacsonyak, igen savas karakterű leveknél kell alkalmaznunk az enzimeket, amelyeknek optimális pH értékük ennél jóval nagyobb. (S természetesen a pufferrel történő

pH beállítás sem jöhet szóba e gyümölcsleveknél.) Nem várható tehát kiugróan magas hatás az enzimes kezelés során.

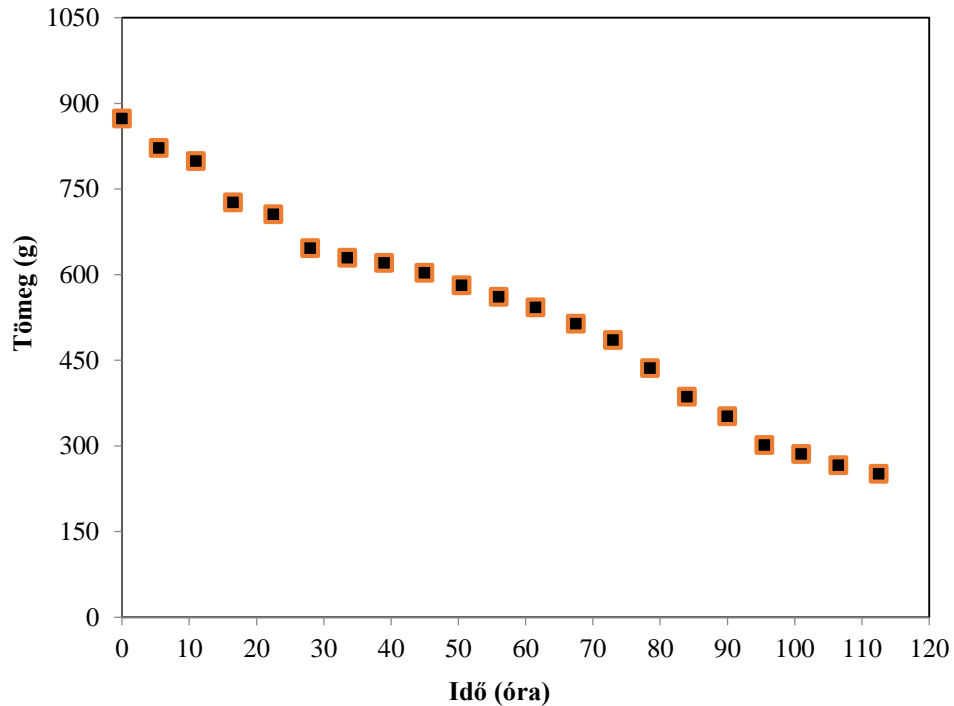
A legjobb hatást (1-12 %-os növekedés) a *Microzym 200* enzim fejtette ki mindegyik gyümölcs esetén, ezért a mintákhoz celluláz enzimet adva megismételtem a lé kinyerésének mérését. Így kis mértékben tovább tudtam fokozni a lékinyerés hatékonyságát. A gyümölcslé sűrítési kísérleteimhez a levek előállításánál a továbbiakban mindegyik gyümölcsnél a legmegfelelőbbnek talált *Microzym 200* enzim és celluláz együttesét alkalmaztam; 0,3 g pektináz + 30 µl celluláz / 30 g gyümölcs pép arányban.

4.2. Gyümölcslé besűrítése ODMD módszerrel

Minden ODMD koncentrálnálási kísérlet esetében, egy liter gyümölcslé volt a kiindulási mennyiség a primer oldalon, melyet folyamatosan 37 °C fokon tartottam, míg az ozmotikus oldalon 17 °C fokos ozmotikus ágens, CaCl₂ oldat keringett. A folyadékokat egy perisztaltikus pumpa tartottam állandó körforgásban, a membrán csöveken keresztül, egymással ellenáramban, 10 l/h áramlási sebességgel. A gőztranszportnak köszönhetően, a gyümölcslé tömege folyamatosan csökken, ezzel megegyező mennyiségben nő a CaCl₂ oldat tömege. Ahogy a gyümölcslé koncentrációja eléri az 50-60 % szárazanyag célértéket, a besűrítés véget ér és kezdődhetnek a végtermék beltartalmaira vonatkozó vizsgálatok.

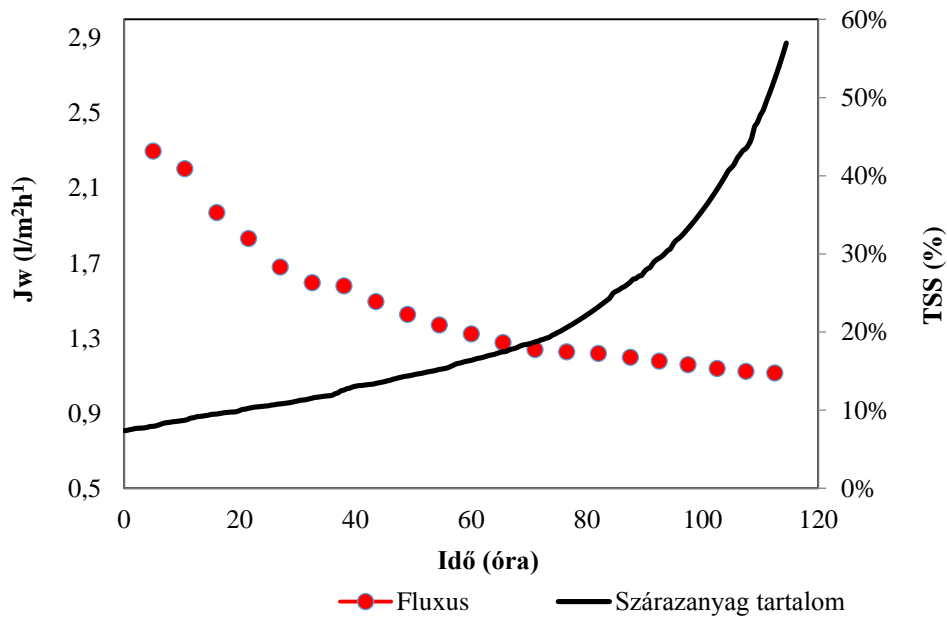
Négy, különböző gyümölcs leve került besűrítésre ODMD technológiával, amelyeket - tudomásom szerint - eddig még senki nem vizsgált ilyen módszerrel. Ezek a gyümölcsök nem ismertek széles körben, de rendkívül egészségesek és sajátosak a beltartalmi értékeiket tekintve. A fajták különbségeiből adódó eltérések a besűrítési folyamatok eltérő időtartamát és az anyagátadás sebességét okozzák. A következő alfejezetek részletezik a négy gyümölcslé besűrítésének eredményeit.

A húsos som terméséből nyert lé ODMD módszerrel történő besűrítésének eredményét a 4.2.1. diagram szemlélteti.



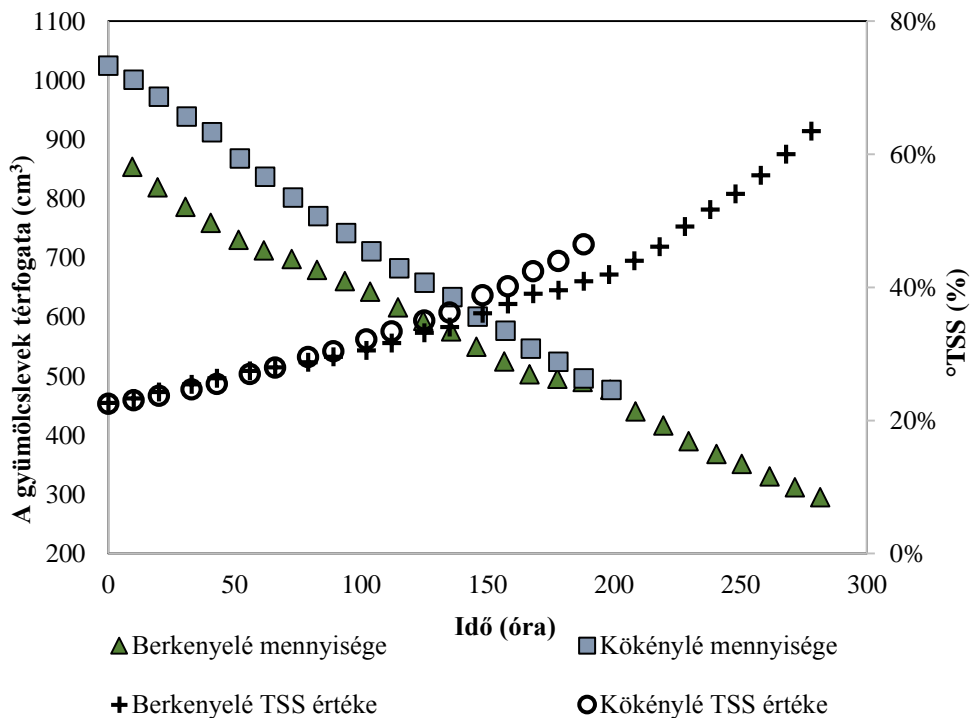
4.2.1. Ábra: A somlé besűritése ODM módszerrel

A diagramon jól látható a majdnem lineáris ütemű csökkenés, a közel 1 liter űrtartalmú gyümölcslevet 115 óra alatt sikerült a kívánt, 60 % szárazanyag tartalomig besűriteni. Természetesen ez a folyamat a membrán aktív felületének növelésével könnyen gyorsítható. A rendelkezésemre álló membrán modul 1-3 l/m²h fluxusra képes. Hogy a hosszadalmas eljárás közben a gyümölcsle ne oxidálódjon, tartósítószerként nátrium-benzoátot adtam hozzá, és az egyes mérések között az oldatot lefagyasztottam. A következő, 4.2.2. ábra az előző fogyásból számolt fluxust és a folyamatosan mért szárazanyag tartalmat ábrázolja. Látható, hogy a görbék követik a várható lefutást. A fluxus a szakirodalomban talált nagyságrendnek megfelelő értékű, és a szárazanyag tartalom (TSS) növekedésével egyre csökken, hiszen a sűrűbb folyadék egyre viszkózusabb, a transzport sebessége lecsökken.

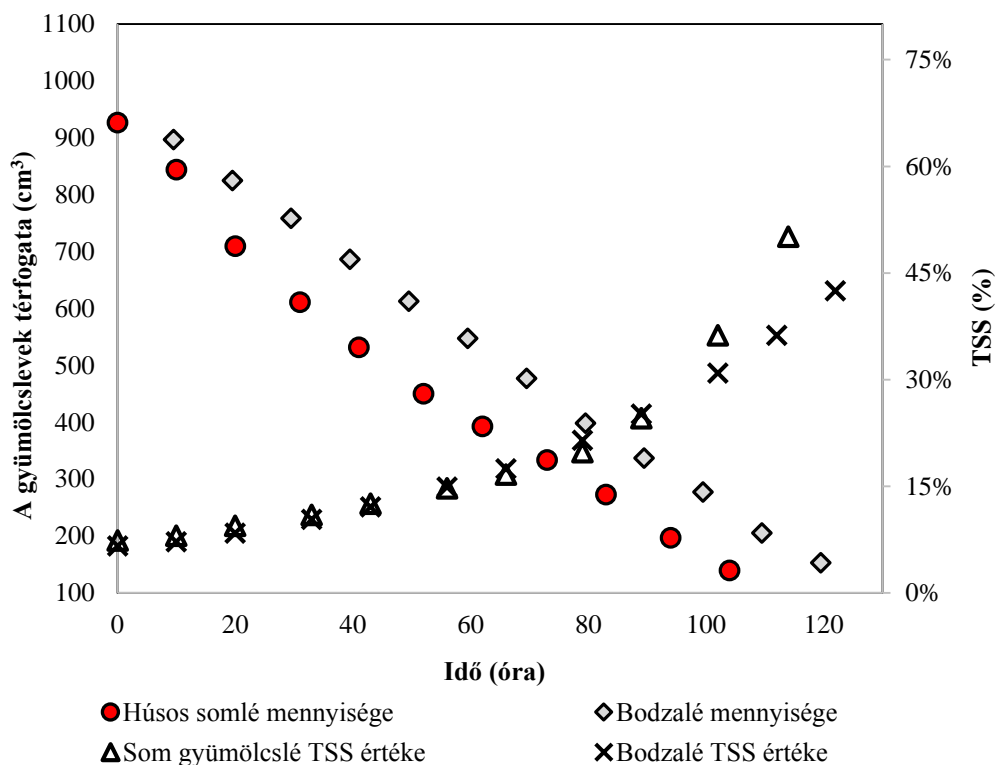


4.2.2. Ábra: Fluxus és TSS változása az idő függvényében, somlé ODMD rendszerben történő koncentrálása közben

A gyümölcslevek hasonló tulajdonságai és kiindulási koncentrációi szerint az eredményeket két diagramon tüntettem fel. A 4.2.3. számú ábrán a kőkény (kiinduló szárazanyag-tartalom 22,0 %) és a berkenye (22,6 %) levek töményítése látható, amint térfogatuk 1 literről, 450, illetve 300 cm³ értékre csökken.

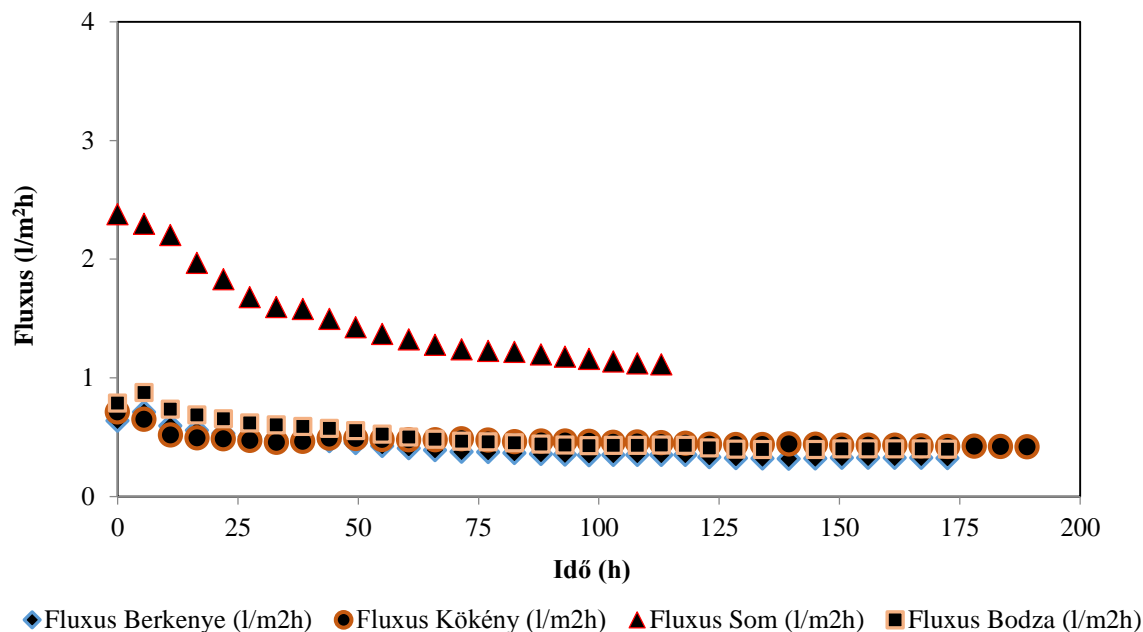


4.2.3. Ábra: A berkenye- és kőkénylé térfogatának és szárazanyagtartalmának változása



4.2.4. Ábra: A som- és a bodzale térfogatának és szárazanyagtartalmának változása

Az azonos típusú levek koncentrációja $\approx 22\%$ -ról $50-60\%$ -ra nőtt 270 órán belül. A 4.3.4. diagramon a húsos som (kiindulási szárazanyag-tartalom 7%) és a bodza (8%) besűrítése látható. E hígabb kiindulási koncentrációjú leveknél a kívánatos 50% értéket 120 óra alatt elértük, 850 cm^3 víz elvételével. A végtermék koncentrációja minden esetben meghaladta a kitűzött értéket és adalékanyagok hozzáadása nélkül megfelelt a tartósításra. A vizsgált gyümölcslevek párosával mutatnak hasonlóságot, amit az azonos kiindulási tulajdonságaik és megegyező szárazanyagtartalmuk magyaráz. Ahogy az jól látszik a diagramokon, a besűrítési eljárások meglehetősen hosszú időt vesznek igénybe. Egy kaszkád rendszer kialakításával ez az időtartam csökkenthető. Ezen állítást a “Kaszkád rendszer” című fejezetben elméleti és gyakorlati számolásokkal, kísérletekkel támasztom alá. A fluxusok változását a négy gyümölcsle esetén a 4.2.5. ábra szemlélteti.



4.2.5. Ábra: Fluxusok változása a négy gyümölcslelé besűritése során

A gyümölcslevekre vonatkozó kísérleti eredményeket a 4.2.1. táblázatban összesítettem és hasonlítottam össze.

4.2.1. Táblázat: A gyümölcslevek besűritésének összehasonlítása

Gyümölcs- levek	Húsos som	Lisztes berkenye	Kőkény	Bodza	Almalé*	Málnalé*	Piros ribizlilé*	Fekete ribizlilé*
Elért konc. (TSS)	57	64	53	54	56	59	63	60
Besűritési időtartam (óra)	110	280	200	120	15	16	17	14
Átlag fluxus érték (ml/m²h)	1500	400	500	550	2450	2660	2570	2030

(*Koroknai, B., 2007)

A som és bodza lé kiindulási szárazanyagtartalma meglehetősen hasonló, és a besűrités időbeli lefutása is jó egyezést mutatott, bár a somnál előbb elértem a magasabb koncentrációt (57%). Ebből adódóan somlére magasabb fluxus értékeket kaptam.

A táblázat és 4.2.5. ábra adataiból jól látszik, hogy a vadon termű színes gyümölcsök leveinél alacsonyabbak az átlag fluxusok, mint a korábban almalére, málnalére, ribizli levekre kapott értékek. Ennek az lehet a magyarázata, az eltérő konzisztenciájú és karakterisztikájú gyümölcsleveken túl, hogy ezeknél a méréseknél kizárólag olyan vegyszereket, kémiai anyagokat használtunk, amelyek az élelmiszeriparban engedélyezettek. A korábbi méréseknél drasztikus hatású kémiai ágenseket nem túl híg lúgokat és savakat alkalmaztunk. Tehát mind a levek tartósítására, mind a szerelvények, membránok, modulok, csövek tisztítására, regenerálására ezt az elvet követtem (hiszen a végső cél az élelmiszeripari alkalmazás), s emiatt a pórusok nagyobb mértékű eltömődése, egyes membrán felületek időleges (szakszóval) "fouling"-ja okozhatta azt, hogy ugyanaz a típusú és felületű membrán modul alkalmazásánál, hasonló körülmények között ezeknél a leveknél kisebb fluxust értem el, a mintákon viszont nem volt észlelhető zavarosodás. Hasonló mértékű fluxus csökkenésről számolt be Koroknai Balázs a *Chemical Papers*-ben megjelent cikkben ([Koroknai, B., 2006](#)), bár ott rövidebb időtartalmú kísérletek zajlottak. A fluxus csökkenését nemcsak a besűrűsödő gyümölcslé viszkozitásának növekedése okozza, hanem az ezzel párhuzamosan csökkenő hajtóerő is, hiszen gyümölcslé szárazanyagtartalma nő, míg az ozmotikus ágens hígul (kisebb mértékben ugyan).

4.3. Érzékszervi vizsgálatok eredményei, aroma és íz világ megtartás

Az érzékszervi vizsgálatok kiértékelését és eredményét mutatja be a fejezet. A keletkezett termékeket gondos, megfelelő előkészítést követően, adott számú bíráló vizsgálta a különböző szempontok alapján és hasonlította össze a kiindulási alapanyagokkal.

A bírálók pontozással (kvantitatív) értékelték a gyümölcslevek különböző jellemzőit, a pontszámok által meghatározott osztályozási rendszert a 4.3.1. táblázat mutatja. Az érzékszervi vizsgálatokat a friss gyümölcslével illetve (a koncentrátumok kiindulási gyümölcsleveikével azonos sűrűségűre való) visszahígított mintákkal végeztük. Ez a speciális bírálati módszer a két mintasorozat között eltérésekre fókuszál, a bírálóknak a két minta közötti különbséget kell számszerűsítve értékelni a megjelenés (állag), illat, szín és íz szempontjából. A táblázat mutatja, hogy minél kisebb az eltérés a két minta között, annál nagyobb számot adhat a bíráló az 1-5-ig terjedő skálán. Végül a pontozásokat összesíteni kell, s kiértékelni az egyes lé minták jellemzése céljából.

Az érzékszervi bírálatok részletes eredményeit a friss és a visszahígított somlé esetén – példaként – a 4.3.2. táblázatban összegeztem. A további gyümölcslevelekre vonatkozó, már kiértékelt eredményeket a 4.3.3. táblázat foglalja össze. A besűrítés kíméletes mivoltának köszönhetően nem történt hő károsodás, a levek ízén nem érezhető égett, karamellizálódott hatás.

4.3.1. Táblázat: Érzékszervi vizsgálatok pontozása

Pontozás		Minőségi osztály	
Pontszám	Minősítés		
5	Kiváló	Kiváló	17,6 - 20
4	Jó	Jó	15,2 - 17,5
3	Kielégítő	Kielégítő	13,2 - 15,1
2	Kevésbé kielégítő	Kevésbé kielégítő	11,2 - 13,1
1	Nem kielégítő	Nem kielégítő	< 11,2

4.3.2. Táblázat: Érzékszervi vizsgálat eredménye friss és visszahígított somlé kóstolása után

Független bíráló	Megjelenés/ Állag	Eltérés a két minta között			Minőség
		Illat	Szín	Íz	
1.	5	4	4	5	18
2.	5	5	5	5	20
3.	5	4	4	5	18
4.	5	3	4	5	17
5.	5	4	4	5	18
6.	4	5	5	4	18
7.	4	4	4	4	16
8.	5	5	4	5	19
9.	5	4	4	4	17
10.	4	5	4	4	17
Átlag	4,7	4,3	4,2	4,6	17,8

4.3.3. Táblázat: Érzékszervi vizsgálatok átlag eredménye a további gyümölcslevek kóstolása után

Gyümölcs	Megjelenés/ Állag	Illat	Szín	Íz	Minőség
Kökény	4,5	4,3	4,6	4,2	17,6
Berkenye	4,3	4,5	4,1	4,5	17,4
Bodza	4,8	4,2	4,5	4,2	17,7

Az eredményekből jól látszik, hogy mindegyik érték a kiváló minőségű osztályt jelentő 17,6-20 tartományba esik, tehát a bírálók érzékszerveikre hagyatkozva úgy értékelték, hogy minimális különbség van a friss és a koncentrátumból visszahígított gyümölcslevek között.

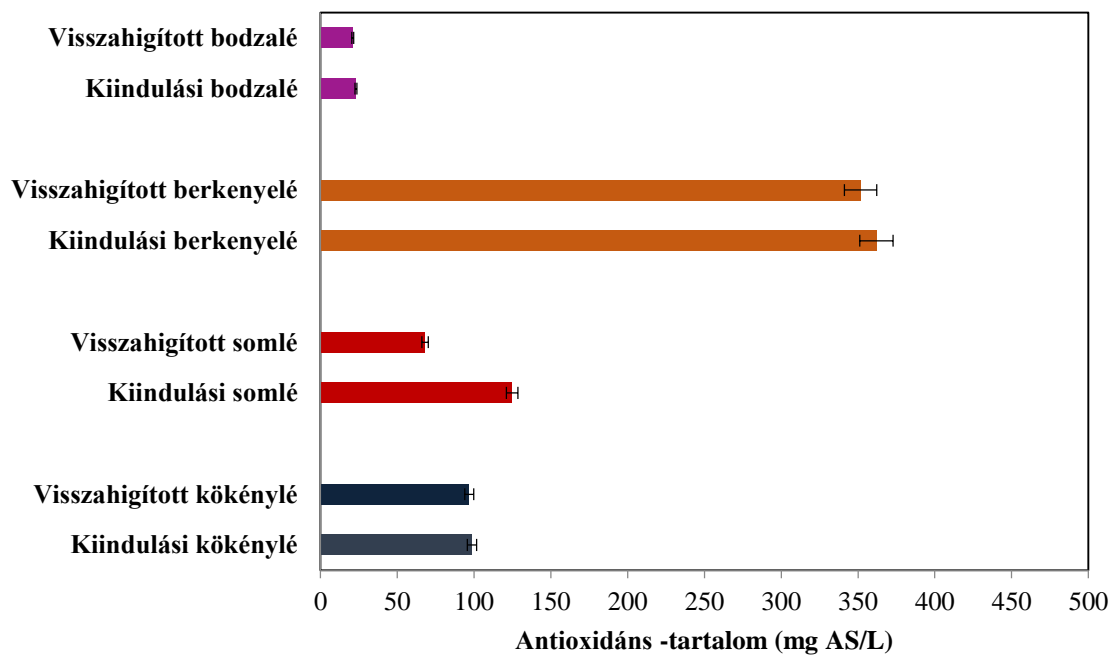
4.4. Beltartalmak megőrzésének eredményei

A dolgozat és az eljárás a gyümölcslevek hasznos összetevőinek megőrzésére irányult, ez volt a legfontosabb célkitűzésem. A koncentrátumok előállítását követően különböző beltartalmi vizsgálatokat hajtottam végre, eltérő módszerekkel. A friss és a koncentrált szirupból visszahígított léből nyert minták antioxidáns tartalmát, összfenol tartalmát, C-vitamin tartalmát és teljes antocianin tartalmát mértem. Ezeknek a méréseknek az eredményeit összesíti a 4.4.1. táblázat.

4.4.1. Táblázat: A vizsgált és más friss gyümölcslevek fontosabb jellemzői

	Húsos som	Lisztes berkenye	Kökény	Feketebodza	Fekete ribizli	Piros ribizli
Antioxidáns (mg AS/l)	124,8	362,0	98,6	22,9	32	90
C-vitamin (mg/100 ml)	104,3	98,7	133,8	81,0	N/A	N/A
Teljes fenol (mg GSE/ml)	16,6	63,9	27,9	25,3	35	80
Teljes antocianin (mg/l)	434,7	335,8	519,0	903	400	430
TSS (%)	7,0	22,6	22,0	8,0	N/A	N/A

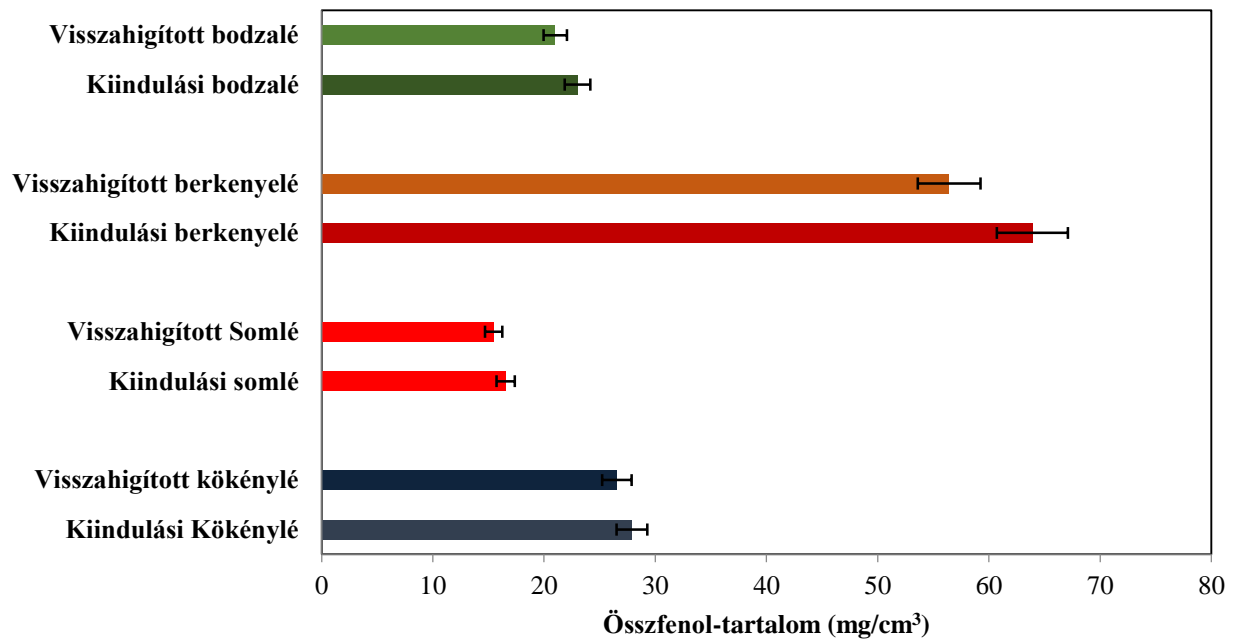
A 4.4.1. ábra a minták antioxidáns aktivitását mutatja be. Mindegyik esetben jól látszik, hogy az eljárás valóban kíméletese, a visszahígított minták esetében egyedül a somlő veszített mintegy 40 %-ot az antioxidáns tartalomból, a többi lénél sikerült megőrizni szinte teljesen a kiinduló értékeket. Az összfenol tartalom mérésénél kapott eredményeket a 4.4.3. ábra összegzi.



4.4.1. Ábra: Az Antioxidáns-aktivitás megőrzése



4.4.2. Ábra: Az antioxidáns-aktivitás fotométeres méréséhez előkészített minták

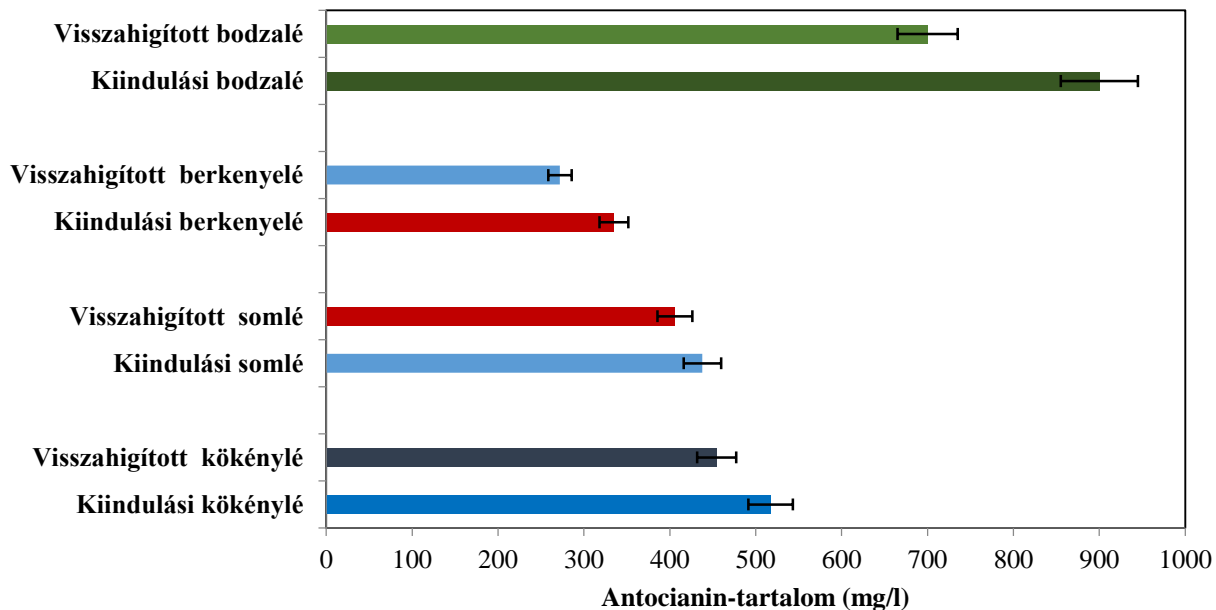


4.4.3. Ábra: Az összfenol tartalom megőrzése

A polifenol-tartalom mérésénél jól látható, hogy a koncentrátumokból visszahígított minták a kiindulásival majdnem azonos szintet mutatnak, tehát itt is bizonyítható volt az eljárás kíméletessége. A 4.4.5. ábra az antocianin tartalmakra vonatkozó mérési adatokat mutatja.



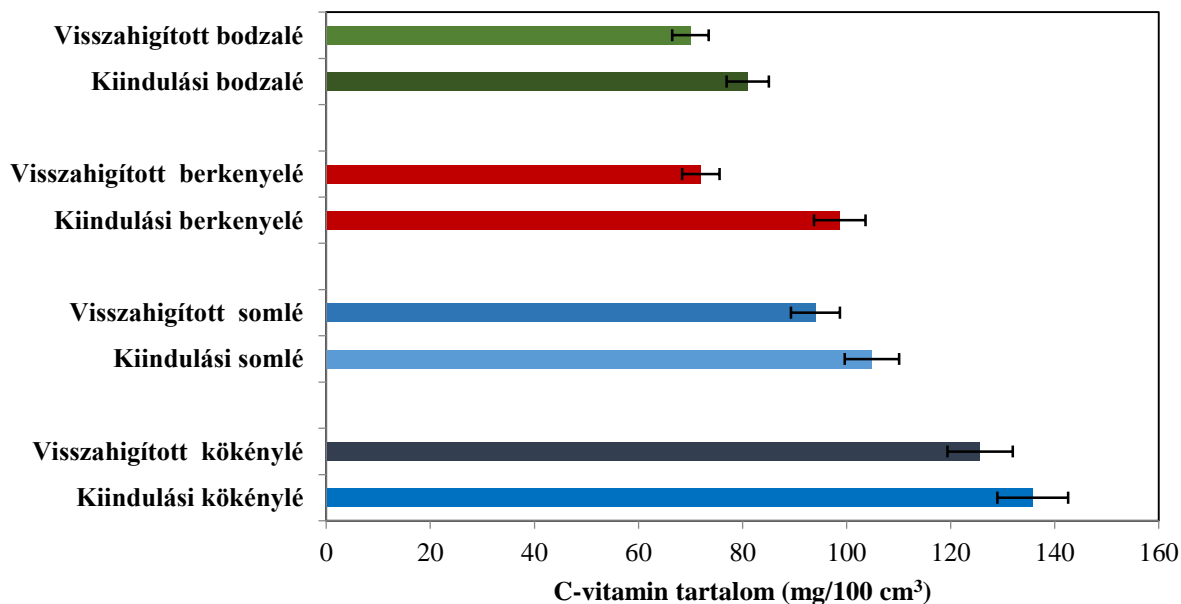
4.4.4. Ábra: Az összfenol tartalom fotométeres méréséhez előkészített minták



4.4.5. Ábra: Az antocianin tartalom megőrzése

Az antocianin tartalom a mérés során számottevően csökkent. A visszahígított minták közül a kiindulási mintákhoz képest a somnál, kökénynél és a berkenyénél kisebb mértékű, 15-20 % körüli, míg a bodzánál valamivel nagyobb antocianin tartalom csökkenést tapasztaltunk.

A gyümölcsle-minták C-vitamin tartalmát HPLC-vel mértem, az adatokat a 4.4.6. ábra szemléleti.



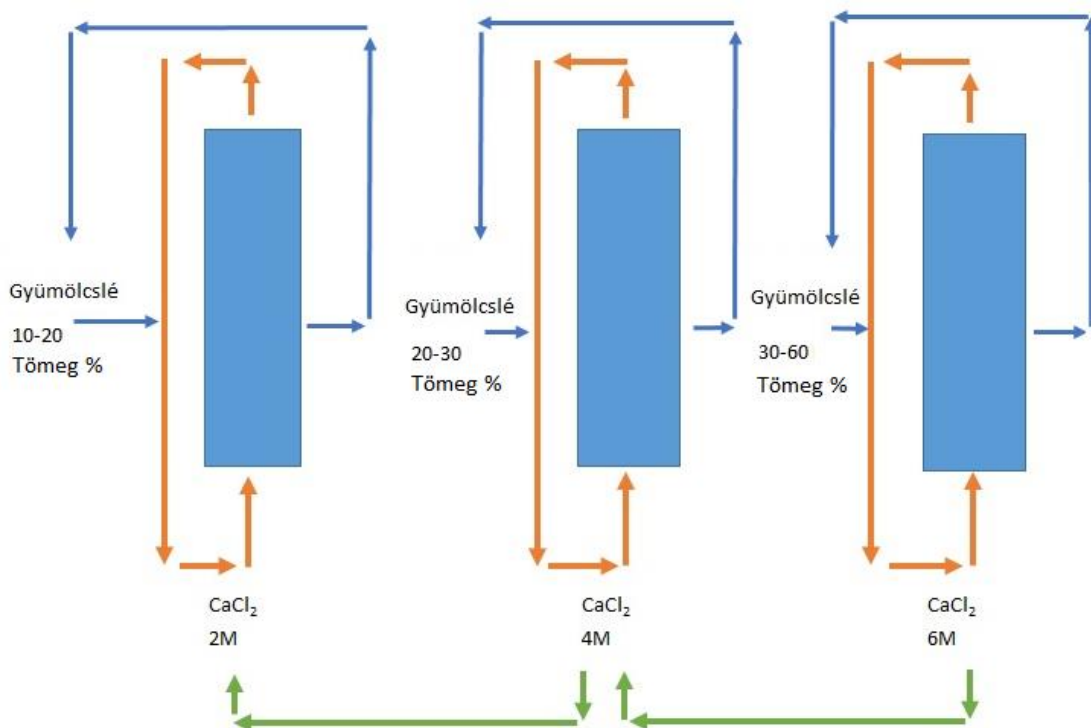
4.4.6. Ábra: A C-vitamin tartalom megőrzése

Látható, hogy a hőérzékeny C-vitamint is sikerült megőrizni a gyümölcslevek „gyengéd”, ODMD-vel történő koncentrációja során (bár a berkenyelé esetén csökkent az érték, de ez is jóval kisebb mértékű, mint a bepárlási műveleteknél tapasztalható csökkenés), s ez is meggyőzően mutatja az eljárás kíméletességét.

4.5. Kaszkád rendszer

A kaszkád rendszer ötlete azon alapul, hogy a folyadék elválasztást szintekre osszuk koncentrációs gradienseik alapján és a megfelelő koncentráció-párosításokat úgy alkalmazzuk, hogy hatékonyabb legyen a rendszer működése az ozmotikus ágens folyamatos regenerálás nélkül. A tervezett rendszer két, három illetve négy lépcsős, a három lépcsős elrendezés vázlatát (példaként) a 4.5.1. ábrán látható.

A megtervezett laboratóriumi kísérlet sorozat alatt minden mérhető, állítható és változtatható paraméter adatait összegyűjtve további számolásokat végeztünk, a vízgőz transzport többlépcsős modelljének elkészítéséhez. A szacharóz modelldatokkal történő besűrítések alkalmával mért tömegváltozásokból, a membrán falán átdiffundált víz mennyiségére lehet következtetni.



4.5.1. Ábra: A kaszkád rendszer elméleti felépítése

A kaszkád rendszer modellezéséhez szükségünk volt az anyagátadási tényező(k) ismeretére. Az ismert, fluxusra vonatkozó összefüggés alapján (3. egyenlet) a K tömegátadási tényező meghatározható, ha egyrészt a fluxust meg tudjuk mérni, másrészt a membrán két oldalán a vízgőznyomásokat ki tudjuk számolni.

V (cm^3) víztranszport, t az eljárás időtartama és " A " a membrán hasznos felülete (m^2) tudatában, J_w ($\text{L m}^{-2} \text{h}^{-1}$) a transzmembrán fluxus számítható a 10. egyenlet szerint:

$$J_w = \frac{V}{A \times t} \quad (10)$$

Az 3. egyenletben alkalmazott ΔP a membrán két oldala közötti vízgőznyomás-különbség (bar) (*Drioli & Wu, 1985; Courel et al., 2000*):

$$J_w = K\Delta P = K(P_{w1} - P_{w2}) \quad (11)$$

A két oldalon a vízgőznyomások számolhatók, ha ismert az ott keringtetett oldatok koncentrációja, hőmérséklete.

Az anyagátadás viselkedésének megismeréséhez szükséges alapismeretekhez, tervezett kísérleteket hajtottam végre, meghatározott koncentrációjú: 5, 20, 30, 40 és 50 % n/n szacharóz és 2, 4, 6 mólus CaCl_2 ozmotikus modell oldatokkal. Mind az öt különböző sűrűségű cukoroldatot besűrítettem 6 M ozmotikus ágens ellenében, illetve mind a három ágenszt teszteltem 20 %-os oldattal. A beállítási paramétereket a 4.5.1. táblázat szemlélteti.

4.5.1. Táblázat: A kaszkád rendszer alap kísérleteinek paraméterei

Szacharóz oldat (% m/m)	CaCl_2 ozmotikus ágens (M)	$T_{\text{Szacharóz}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	T_{CaCl_2} ($^{\circ}\text{C}$)	Folyadékáram (ml min^{-1})	Aktív membrán felület (cm^2)
5, 20, 30, 40, 50	6	35	18	40	68
20	6 - 4 - 2	35	18	40	68

4.5.1. A kaszkád modell

A membránon keresztüli anyagátadás leírására rengeteg modell szerepel az irodalomban. Ugyanakkor, ezekben egymástól függő tényezőket szerepelnek, mint például a diffúziós tényezőtől függ a K anyagátadási tényező, a diffúziós tényező viszont függ az oldat viszkozitásától, ami a kialakuló (helyfüggő) koncentrációktól függ, (koncentráció polarizáció); a koncentráció pedig függ a diffúziós tényezőtől. Tehát nagyon nehéz felírni olyan összefüggéseket, amelyek megbízhatóan leírják ezeket a jelenségeket. Ezért úgy döntöttem, hogy egyszerűsítést alkalmazva, a lehető legegyszerűbb modellt alkalmazom. Ehhez számos paramétert rögzítettem, csak a koncentrációk maradtak változóként. A besűrítéshez szükséges koncentráció tartományt (szacharóz és ozmotikus ágens oldatok) beosztottam kisebb szakaszokra (így egy mátrix alakult ki), a rácspontokban meghatároztam a tömegátadási tényezőt kísérleti módon, a rácspontok között pedig lineáris interpolációt alkalmaztam (szürke doboz modell). Ez csak közelítés, de a gyakorlatban könnyen alkalmazható és validálható, így a bemutatott K értékek valójában csak látszólagos tömegátadási tényezők.

A 11. számú képletben a P_w vízgőznyomás adatok a hőfok és a koncentrációk ismeretében határozhatók meg. A fentiek alapján azonban a hőfokok rögzítésével csak a koncentrációkat használtam a számításokhoz, ami csak megközelítő érték, de a célnak megfelelt. A 4.6.1. táblázatban rögzített paraméterek mellett kísérleteket végeztem szacharóz oldatok sűrítésére, s a fluxus és P_w értékek alapján meghatároztam a látszólagos tömegátadási értékeket. Ezeket mátrixszerűen a 4.6.3. táblázatban foglalom össze. Ezt követően használom ezeket az adatokat a kaszkád rendszer „szimulációjára”.

Az eltérő koncentrációjú ozmotikus oldatokhoz tartozó szintek átjárhatóak bizonyos koncentrációk között, anélkül, hogy az oldatot regenerálni kellene. Kezdetben egy kétszintes kaszkád rendszert állítottam fel, ahol a kiindulási cukoroldat 4 M-os ozmotikus ágenssel érintkezik. Amikor a CaCl_2 oldat koncentrációja eléri a 2 mólt, a betáp oldatot 6 M-os ágenssel váltjuk fel, hogy az ozmotikus nyomáskülönbséget növeljük. A következő táblázat bemutatja a kaszkád rendszer szintjeit és a hozzájuk tartozó koncentrációváltozásokat. A kísérleteket 200 cm^3 szacharóz és 200 cm^3 térfogatú ozmotikus oldatokkal hajtottam végre, mindkét oldatot 40 ml/min áramlási sebességgel keringtetve. Az oldatok hőmérséklete állandó volt (37 és $15 \text{ }^\circ\text{C}$), fűtés és hűtés segítségével.

4.5.2. Táblázat: A koncentráció változások szintjei

Szacharóz oldat koncentrációja (% m/m)	CaCl ₂ koncentráció (M)
5,0	4
27,5	2
50,0	6
	4
5,0	3.3
20,0	2.0
35,0	4.7
50,0	3.3
	6.0
	4.7
5,0	3.0
16,3	2.0
27,5	4.0
38,8	3.0
50,0	5.0
	4.0
	6.0
	5.0

Az összes beállítási értékre elvégzett besűrítési folyamat után a vízgőz nyomáskülönbség, s az oldatok tömegének csökkenéséből a fluxus került kiszámolásra. Ezután lehetővé vált a tömegátadási tényező, K értékének számítása. A kapott K érték egy átlagot jelent, az adott tartományon belül. Ezen adatokból egy mátrixot készítettem a különböző koncentrációkhoz.

A kaszkád rendszer elméleti modellezéséhez az alábbi differenciál egyenletet kell megoldani:

$$\frac{dV}{dt} = A \times K \times (P_{w1} - P_{w2}) \quad (12)$$

amelyhez az ún. Gauss-Newton numerikus matematikai módszert alkalmaztuk. A számításokhoz a következő egyenletet írtuk fel:

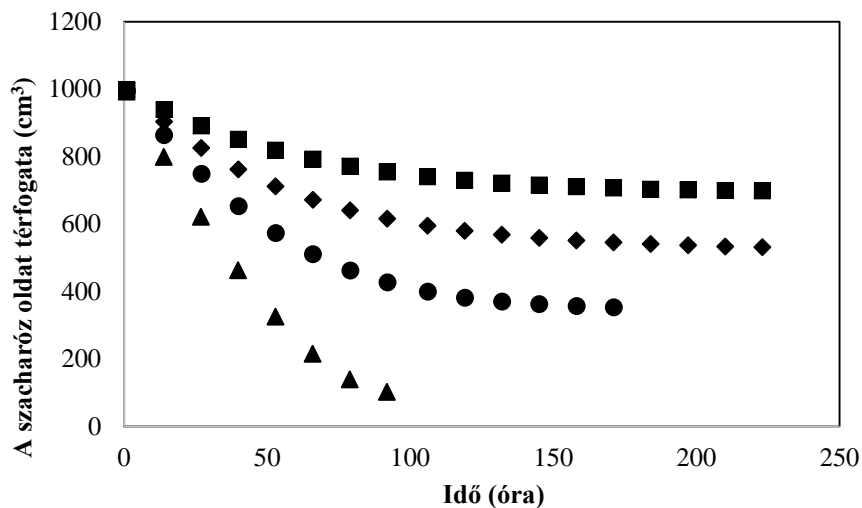
$$\Delta V = A \times K \times (P_{w1} - P_{w2}) \Delta t \quad (13)$$

A módszer szerint a Δt időtartamot 5 másodpercre választottuk, amely megfelelően rövidnek tűnt. Ezzel – és a meglévő kiindulási adatokkal – elindítottuk a (virtuális)

folyamatot, s a fluxust kiszámította a program a két oldalon lezajló térfogat változások alapján, K értékét figyelembe véve. 5 másodperc után K értékét újraszámolta a program, és így a következő 5 másodpercre vonatkozó fluxus értékét már ez alapján kaptuk. A teljes folyamatot így modelleztük le lépésről lépésre és végül a szacharóz oldat kaszkád rendszerű besűrítésének lefutását írtuk le.

4.5.2. Anyagtranszport kísérletek szacharóz oldatokkal, "K" érték meghatározása

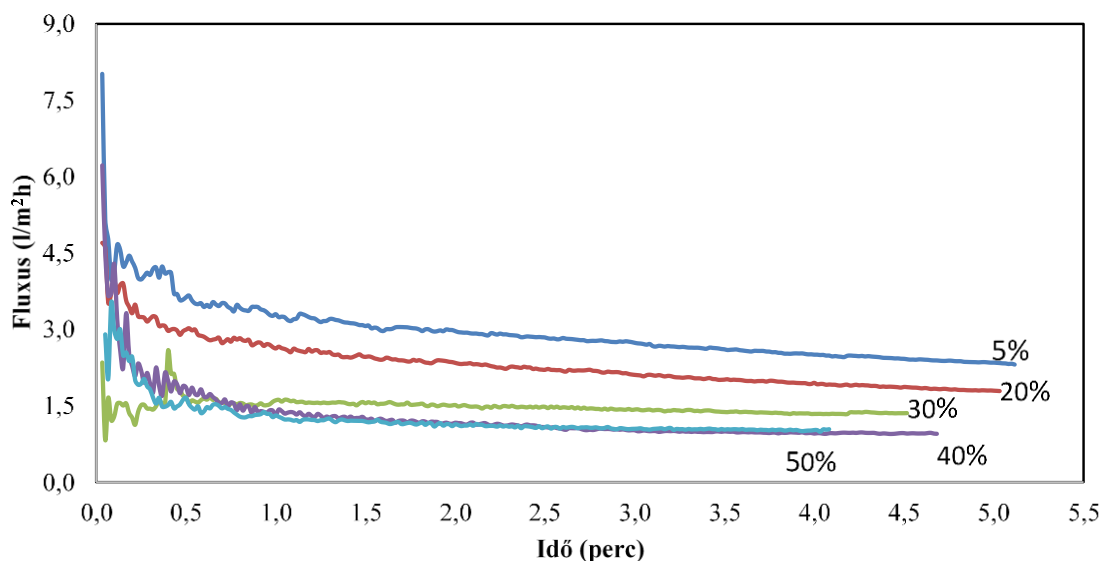
Az alapvizsgálatokat 2-, 3- és 4-szintes elméleti kaszkád rendszerekre készítettem, amit a 4.5.2 táblázat mutat be. A szacharóz oldatok térfogat változásait a 4.5.2. ábra szemlélteti. A modell oldatokkal végzett sűrítési kísérletek eredményei alapján egy mátrixot készítettem az adott tartományokra érvényes átlagos K értékekre, amit a 4.5.3. táblázat ismertet.



4.5.2. Ábra: A szacharóz oldatok térfogatának csökkenése

(▲ 5 %; ● 20 %; ◆ 30 %; ■ 40 %)

A víztranszportot jelző fogyás adatokból számolt fluxus értékek a 4.5.2. ábrán láthatóak. A mérési adatokból jól látszik, hogy az 5 % kiindulási koncentrációhoz hasonló lefutást kaptam a görbéken mind a mért víz mennyiségét, mind a fluxus értékeit tekintve. A kiindulási koncentráció növekedésével, mely hatására a szeparációs hajtóerő csökken, a fluxusok értékei is folyamatosan csökkennek. A 40 %-os és 50 %-os kiindulási koncentrációk esetén már számottevő különbség nem volt tapasztalható a fluxusban.



4.5.3. Ábra: Különböző koncentrációjú modell cukoroldatok fluxusa 6 M-os CaCl₂ ozmotikus

A modell cukoroldatokkal elvégzett alapkísérletek, valamint fluxus és ozmózis nyomáskülönbség számítások után, meghatároztam a K tömegátadási tényező értékeit a különböző koncentrációjú ozmotikus ágensek esetében.

4.5.3. Táblázat: A tömegátadási tényező, $K_{\text{átlag}}$ értékei

CaCl ₂ (M) / Szacharóz oldat (%)	5	20	30	40	50
2 M	0,751	0,501	0,334	0,223	0,148
4 M	0,490	0,327	0,218	0,145	0,097
6 M	0,475	0,317	0,211	0,141	0,094

Látható, hogy ezeknél a méréseknél a fluxus értéke nem nőtt arányosan, hiába növeltük az ozmotikus ágens koncentrációját (vagyis a hajtóerőt). Ez azt jelenti, hogy az egyre nagyobb ellenállások miatt K értéke a táblázatban követhető módon változott.

Ezt követően elvégeztem a kaszkád rendszerek modellezését. A vízáradást a K érték és a membrán két oldalán lévő oldatok vízgőznyomás változása befolyásolja. A modellezés eredményeként a fluxus értékek, a szacharóz koncentráció és a vízgőztranszport alakulását kaptuk meg (4.5.4. táblázat).

4.5.3. Szacharóz oldat besűritése kaszkád rendszerrel

Az előzőleg kiszámolt kaszkád rendszereket alapul véve, kísérleteket végeztem szacharóz oldatokkal, azonos körülmények között, mint az elméleti modelleken. A három fajta kaszkád rendszer szacharóz oldatokkal valósult meg, hogy szimulálja a kaszkád egyes szintjeit. A vizsgálatok eredményei alátámasztják a modell helyességét, következő lépésként tehát, a modell kiterjeszhető a gyümölcslevek besűritésére is. A 4.6.4. táblázat mutatja az eredményeket és eltéréseket az elméleti és a valós modellek között. Látható, hogy nincs szignifikáns eltérés az értékek között.

Az is észlelhető a táblázat adatait vizsgálva, hogy a fluxus értékek fokozatosan csökkentek az egyes lépcsőknél, de az újabb lépcsőnél – amikor egy töményebb, friss ozmotikus ágenssel szemben folytatódott a sűrités – magasabb értékről indult újra a folyamat, köszönhetően a magasabb hajtóerőnek. Így hatékonyabb koncentrációt lehetett elérni. A szacharóz oldatok koncentrációja és a vízgőz transzport hasonló lefutást mutat.

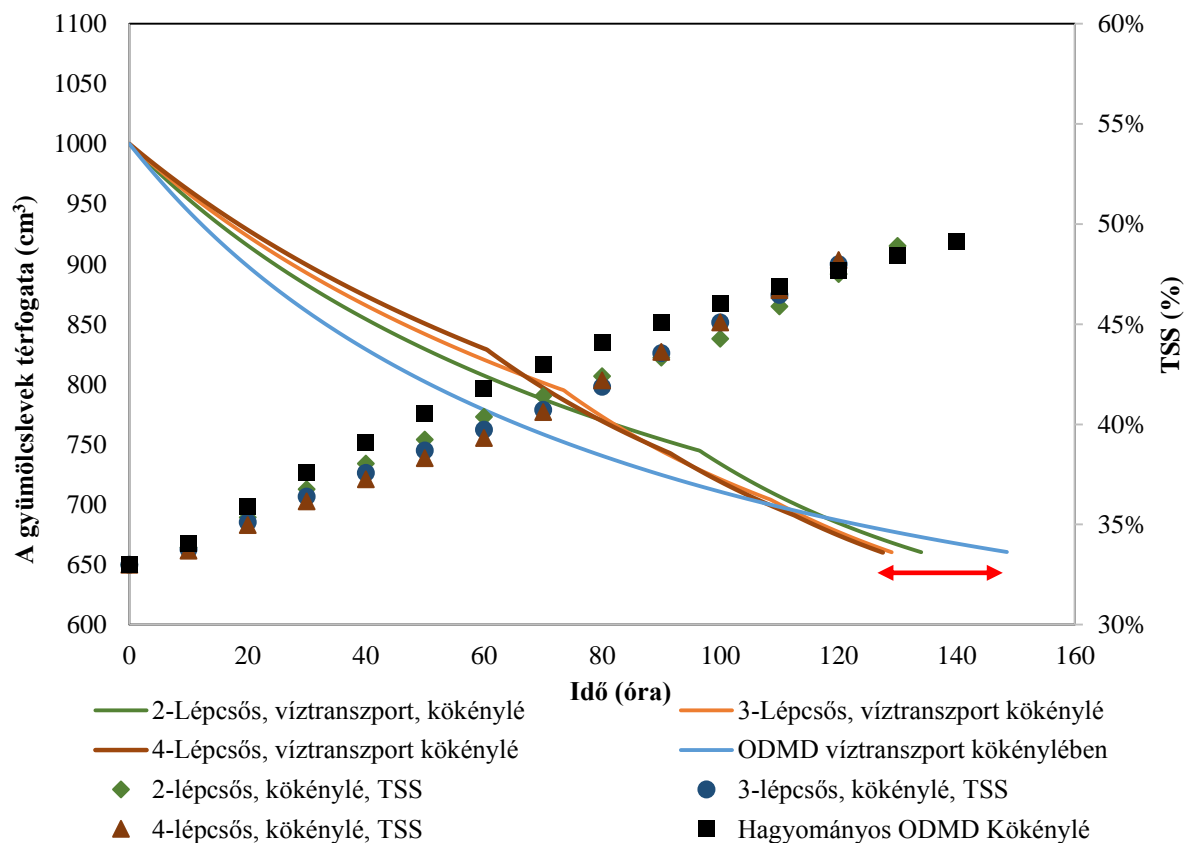
4.5.4. Táblázat: A valós és az elméleti kaszkád rendszerek összehasonlítása szacharóz oldatok koncentrálsánál

	Elméleti kaszkád modell			Valós kaszkád modell		
	2 - szint	3 - szint	4 - szint	2 - szint	3 - szint	4 - szint
Vízgőz transzport (ml)			450			435
	676	541	226	654	523	220
	224	239	136	218	215	140
		120	88		108	91
Szacharóz koncentráció (%)			5,0 – 9,0			5,0 – 11
	5,0 – 15,4	5,0 – 11,0	9,0 – 15	5,0 – 14,9	5,0 – 13	11 – 14
	15,4 – 50	11 – 22	15 – 26	14,9 – 50	13 – 25	14 – 23
		22 – 50	26 – 50		25 – 50	23 – 50
Fluxus (l m⁻² h⁻¹)			5,06 – 3,32			5,16 – 3,23
	6,08 – 2,79	5,44 – 3,17	5,55 – 3,91	5,34 – 3,92	5,34 – 2,96	5,34 – 3,72
	5,60 – 0,78	5,77 – 3,37	5,31 – 3,40	5,41 – 0,68	5,47 – 3,16	5,35 – 3,34
		4,55 – 0,87	4,04 – 0,89		4,25 – 0,83	4,24 – 0,78

4.5.4. Gyümölcsleves besűrítése kaszkád rendszerrel

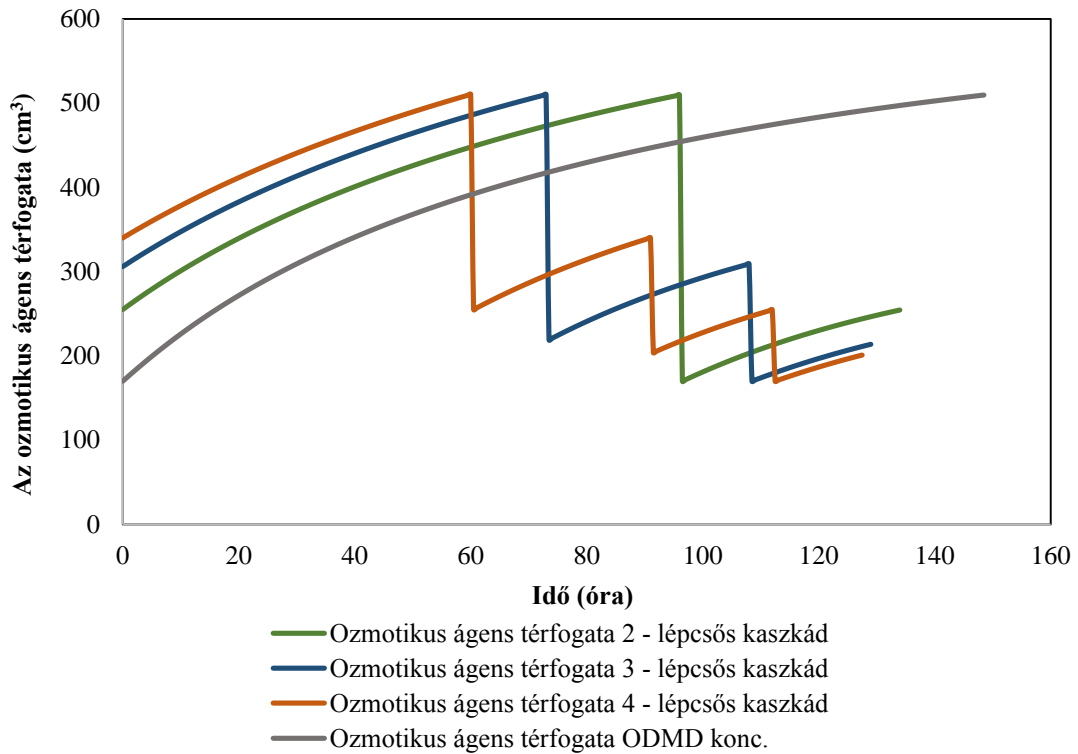
A számított kaszkád modell és az azután elvégzett valós kísérletek ígéretes eredményeit alapul véve, elméleti szinten megvizsgáltam a kutatásom négyféle gyümölcslevének besűrítési lehetőségét kaszkád rendszerben. Az 5, 20, 30, 40 és 50 %-os szacharóz oldatok ODMD besűrítésénél kapott időbeli lefutásokat összevettem a gyümölcslevekénél nyert lefutásokkal. A korábban az 5 és 20 %-os szacharóz oldatoknál nyert adataim segítségével modellezni tudtam a közöttük levő koncentráció tartományt is, s így illeszteni lehetett az egyes gyümölcslevek lefutására egy-egy szacharóz oldatot. A legjobb illeszkedésnél kapott szacharóz koncentrációjú oldattal modelleztem ezután az adott gyümölcsleves kaszkád rendszerű sűrítését. Bár ez a megközelítés csupán egy közelítő becslést adhat a valódi folyamatokról, de az adott körülmények között ez talán elfogadható.

A 4.5.4. ábra szemlélteti szacharóz oldattal modellezett kökénylő besűrítését a hagyományos ODMD és a kaszkád rendszerekben. Mutatja továbbá azt a megtakarított időt, amennyiben a 2-, 3- és 4- szintű kaszkád rendszereket alkalmazzuk. A kökénylő esetében a hagyományos ODMD besűrítéshez képest 22 órával rövidebbnek adódott a folyamat 4-lépcsős kaszkád rendszert használva.



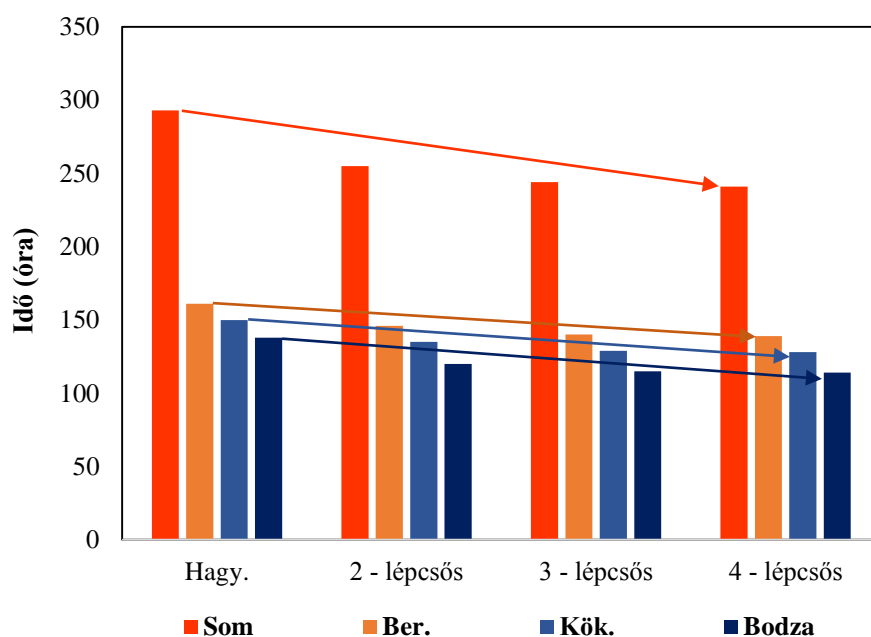
4.5.4. Ábra: Kökénylő besűrítése kaszkád és ODMD módszerekkel

A 4.5.5. ábra az ozmotikus ágens térfogatának változásai látszanak a 2-, 3- és 4-lépcsős rendszerek esetén.



4.5.5. Ábra: A CaCl_2 ozmotikus ágens térfogat változása a kökény gyümölcslé kaszkád és hagyományos ODMD rendszerekben történő besűrítése közben

A másik három gyümölcslé esetében hasonló karakterisztikájú ábrákat kaptam, a koncentráls időigényének csökkenését pedig a 4.5.6. ábra foglalja össze.



4.5.6. Ábra: A kaszkád rendszernek köszönhető időcsökkenések

A 4.5.6. ábra a kaszkád rendszerek eredményeit hivatott bemutatni a gyümölcslevek besűrítése során. A diagramokon a koncentrálnálási folyamatok időtartamait tüntettem fel. Jól látható, hogy minden esetben a kaszkád rendszer hatékonyabbnak tűnt az idő tekintetében a tradicionális módszerhez képest. Minél több lépcsőből áll a kaszkád rendszer, annál több koncentrálnálási idő spórolható meg.

A húsos som esetében 38 óra spórolható meg a 2-szintes kaszkád rendszerrel, míg további 14 óra a 4-szintes rendszert használva, így a besűrítési idő 52 órával csökkenthető, ami 20 %-a a teljes eljárásnak. A többi gyümölcslé esetében 22, 22 és 24 órával csökkenthető a folyamat, ami ugyancsak szignifikáns, 15-21 %. Látható, hogy minden esetben a 4-szintes modell a leghatékonyabb.

Az ODMD besűrítési folyamat időtartamának csökkentése céljára kidolgozott 2-, 3- és 4-lépcsős kaszkád rendszer becsléseink szerint eredményesen alkalmazható az ODMD eljárásnál, a kaszkád rendszer alkalmazásával jelentős időt lehet megspórolni.

5. Összefoglalás

Az utóbbi évtizedekben egyre fontosabbá válik életünkben az egészséges táplálkozás, a jó minőségű, egészségvédő faktorokat tartalmazó élelmiszerek fogyasztása. Ezek talán legjobb természetes forrásai a gyümölcsök, zöldségek. Ha e friss alapanyagokból levet készítünk, hasznos lehet ezeket kíméletes módon besűríteni, hiszen a szirup tárolása, szállítása és eltarthatósága kedvezőbb.

A PhD munkám során vizsgált membrános technika, a kombinált ozmotikus desztillációs és membrán desztilláció (ODMD) kíméletes és hatékony koncentrálni eljárás hőérzékeny komponenseket tartalmazó vizes oldatok, például gyümölcslevek töményítésére, amint az korábbi releváns munkák már bebizonyították. Kutatómunkám során én ezt a módszert további gyümölcsök feldolgozásánál alkalmaztam, amelyek a hazánkban őshonos, vadon termő, színes bogyósok közé tartoznak, s így egészségvédő hatással rendelkeznek.

A húsos som, a kökény, a lisztes berkenye és a fekete bodza érett gyümölcsseinek leszüretelése után a lényerést vizsgáltam, s egy teszt sorozatot végeztem, hogy megtaláljam a pektináz enzimek között a legmegfelelőbbet. Méréseim alapján ez a *Microzyme 200* enzim lett mind a négy gyümölcsnél.

Az így nyert levekkel besűrítési kísérleteket végeztem a laboratóriumunkban kialakított ODMD berendezés segítségével. Mind a négy levet sikerült megfelelően betöményíteni (50 % szárazanyag-tartalom fölé). A koncentrálni követően érzékszervi vizsgálatokat és beltartalmi méréseket (antioxidáns aktivitás, összfenol tartalom, antocianin tartalom és C-vitamin tartalom) végeztem a visszahígított sűrítmények és a friss levek összehasonlítása céljából. Mindkét mérés sorozat megerősítette, hogy a koncentrálni során többségében megtudtuk őrizni a kiinduló levek minőségét.

Végezetül a mérések alapján 2-, 3- és 4-lépcsős kaszkád rendszert állítottam fel az ODMD eljárás hatékonyságának növelésére. A modell bebizonyította, hogy a kaszkád rendszer segítségével az ozmotikus ágens regenerálás nélkül is 15-21 %-kal rövidebb koncentrálni idő alatt lehet véghezvinni a megfelelő mértékű gyümölcsle töményítést.

A kutatás folyamán elért eredményeim remélhetőleg hozzájárulnak az élelmiszeriparban belül a hatékonyabb, kíméletesebb hazai gyümölcsfeldolgozás fejlesztéséhez.

Jelölések jegyzéke

ΔP	Nyomás különbség a membrán két oldala között (Pa)
A	Membrán felület (m^2)
A, B, C	Antoine-egylet paraméterei
a_1	Vízaktivitás a membránon belül
a_2	Vízaktivitás a membránon kívül
a_w	Vízaktivitás a membrán felületén
a_{w1}	Vízaktivitás a membránfal belső oldalán
a_{w2}	Vízaktivitás membránfal külső oldalán
c_m	A gáz fázis moláris koncentrációja ($mol\ m^{-3}$)
c_p	Hő kapacitás ($J\ mol^{-1}\ K^{-1}$)
d_p	Membrán pórus átmérő (m)
α	Hőátadási együttható ($W\ m^{-2}\ K^{-1}$)
i	van't Hoff együttható ($i = 3$)
J_w	Fluxus ($m^3\ m^{-2}\ s^{-1}$)
K	Teljes tömegátadási együttható ($m\ s^{-1}$)
k	Tömegátadási együttható ($m\ s^{-1}$)
k_1	Gyümölcsle oldali tömegátadási tényező ($m\ s^{-1}$)
k_2	Ozmotikus ágens oldali tömegátadási tényező ($m\ s^{-1}$)
k_{mp}	Membrán tömegátadási koefficiense ($m\ s^{-1}\ Pa^{-1}$)
k_T	Hővezető képesség ($W\ m^{-1}\ K^{-1}$)
M	Moláris tömeg ($g\ mol^{-1}$)
MD	Membrán desztilláció
M_w	Víz moláris tömege ($kg\ mol^{-1}$)
n	Mol szám

N_w	Moláris fluxus ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
OD	Ozmotikus desztilláció
ODMD	Ozmotikus desztilláció és Membrán desztilláció
p	Parciális nyomás (Pa)
P	Teljes nyomás (Pa)
P^*	Tiszta oldat gőznyomása (Pa)
p_w^*	Tisztavíz gőznyomása (Pa)
p_w^*	Tiszta víz gőznyomása (Pa)
P_{w1}	Belső oldali nyomás (Pa)
P_{w2}	Külső oldali nyomás (Pa)
q	Hő fluxus ($\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2}$)
R	Egyetemes gázállandó ($\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$)
Re	Reynolds szám
t	Idő (óra)
T	Hőmérséklet (K)
V	Térfogat (cm^3)
V_i	Parciális, moláris térfogat ($\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$)
π	Ozmózisnyomás (Pa)

Irodalomjegyzék

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

Alves, V., D., Koroknai, B., Bélafi-Bakó, K., & Coelho, I., M., (2004). Using membrane contactors for fruit juice concentration. *Desalination*, 162, 263-270.

Argyelán, J., (2003). *Korszerű Vegyipari Műveletek*, Veszprémi Egyetemi Kiadó, 97-103.

Assessment report on *Sambucus nigra* L., fructus, (2013). European Medicines Agency.

Balogh, E., (2010). Antioxidáns kapacitás meghatározása és ennek kialakításában szerepet játszó vegyületek vizsgálata bogyós gyümölcsök esetében. Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Doktori Értekezés.

Bánvölgyi, S., Horváth, S., Stefanovits-Bányai, É., Békássy-Molnár, E., Vatai, G., (2009). Integrated membrane process for blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) juice concentration. *Desalination* 241, 1-3 pp. 281-287.

Barros, L., Carvalho, A., M., Morais, J., S., & Ferreira, I., C., F., R., (2010). Strawberry-tree, blackthorn and rose fruits: Detailed characterisation in nutrients and phytochemicals with antioxidant properties. *Food Chemistry*, 120, 247-254.

Bélafi-Bakó, K., (2002). *Membrános műveletek*. Veszprém, Veszprémi Egyetemi Kiadó.

Bélafi-Bakó, K., & Koroknai, B., (2006). Enhanced flux in fruit juice concentration: coupled operation of osmotic evaporation and membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 269, 187-193.

Bélafi-Bakó, K., Eszterle, M., Kiss, K., Nemestóthy, N., & Gubicza, L., (2007). Hydrolysis of pectin by *Aspergillus Niger* polygalacturonase in a membrane bioreactor. *Journal of Food Engineering*, 78, 438-442.

Bellona, C., & Drewes, J., E., (2005). The role of membrane surface charge and solute physico-chemical properties in the rejection of organic acids by NF. *Journal of Membrane Science*, 249, 227-234.

Benzie, I., F., F., & Strain, J., J., (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76.

Boerlage, S., E., (2001). Scaling and particulate fouling in membrane filtration systems. Ph.D Thesis. Wageningen University and UNESCO-IHE.

Bolin, H., R., & Salunke, D., K., (1971). Physicochemical and volatile flavor changes occurring in fruit juices during concentration and foam-mat drying. *Journal of Food Science*, 36 (4), 665–668.

Borhidi, A., (1995). A zárwatermők fejlődéstörténeti rendszertana. Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest.

Bowser, J., J., (2001). Osmotic distillation process. US Patent 6.299.777.

Cassano, A., Donato, L., Drioli, E., (2007). Ultrafiltration of kiwifruit juice: Operating parameters, juice quality and membrane fouling. *Journal of Food Engineering*, 79, 613-621.

Cheryan, M., (1998). *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*, USA, Lancaster, Technomic Publishing Company, 71-112.

Chiam, C-K., & Sarbatly, R., (2013). Vacuum membrane distillation processes for aqueous solution treatment – A review. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 74, 27-54.

Chua, H. T., Rao, M. A., Acree, T. E., & Cunningham, D. G., (1987). Reverse osmosis concentration of apple juice: flux and flavor retention by cellulose acetate and polyamide membranes. *Journal of Food Process Engineering*, 9 (3), 231–245.

Cuperus, F., P., (1998). Membrane processes in agro-food: state of the art and new opportunities. *Separation Purification Technology*, 14 (1-3), 233-239.

Czukur, B., Matussek, A., & Meresz, P., (2003). Az ozmotikus dehidratáció élelmiszeripari

Dalmadi, I., Kántor, D., B., Wolz, K., Polyák-Fehér, K., Pásztor-Huszár, K., Farkas, J., & Fekete, A., (2007). Instrumental analysis of strawberry puree processed by high hydrostatic pressure or thermal treatment. *Progress in Agricultural Engineering Science*, 3, 47-66.

Dawidowicza, A., L., Wianowska, D., & Baraniak, B., (2006). The antioxidant properties of alcoholic extracts from *Sambucus nigra* L. (antioxidant properties of extracts). *LWT - Food Science and Technology*, 39, 308-315.

Demir, F., & Kalyoncu, I., H., (2003). Some nutritional, pomological and physical properties of cornelian cherry (*Cornus mas* L.). *Journal of Food Engineering*, 60, 335-341.

Dokoupil, L., & Řeznicek, V., (2012). Production and use of the Cornelian cherry – *Cornus mas* L. Acta univ. agric. et silvic, Mendel. Brun., LX, No. 8, pp. 49-58.

Drioli, E., & Wu, Y., (1985). Membrane distillation: an experimental study. Desalination, 53(1-3), 339-346.

El Amali, A., S., B., & Maalej, M., (2004). Experimental study of air gap and direct contact membrane distillation configurations: application to geothermal and seawater desalination. Desalination, 168, 357.

El-Abbassi, A., Khayet, M., Kiai, H., Hafidi, A., García-Payo, M., C., (2013). Treatment of crude olive mill wastewaters by osmotic distillation and osmotic membrane distillation. Separation and Purification Technology, 4, 327-332.

Erdészeti Lapok, (1995). CXXX. évf. 7-8. szám 232-234.

Fábry, G., (1992). Az élelmiszer-ipari eljárások és berendezések. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó.

Fonyó, Zs., Fábry, Gy., (2004). Vegyipari művelettani alapismeretek. Budapest: Nemzeti Könyvkiadó.

Fintha, I., és Szabó, A., (2005). Vizsgálatok az ÉK- Alföld somfáinak termésein (*Cornus mas* L.), Különös tekintettel a „Császlói” formára. Botanikus Közlemény, 92 (1–2), 159–165.

Fogarassy, E., (2012). Komplex membrántechnológiai alkalmazás és modellezés kajszibaracklé feldolgozására. Doktori Értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar.

Földesi, D., (1993). Vadon termő és termesztett gyógynövények. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., & Melin, T., (2007). State-of-the-art of reverse osmosis desalination. Desalination, 216, 1-76.

Gailing, M., F., Guibert, A., & Combes, D., (2000). Fractional factorial designs applied to enzymatic sugar beet pulps pressing improvement, Bioprocess Engineering, 22, 69-74.

Girard, B., & Fukumoto, L., (2000). Membrane processing of fruit juices and beverages: a review. Critical Review in Biotechnology, 20 (2), 109–175.

Güleryüz, T., Description of Cornelian cherry. National Agricultural Research Foundation - Pomology Institute (NAGEF-PI).

Hassanpour, H., Hamidoghli, Y., Hajilo, J., & Adlipour, M., (2011). Antioxidant capacity and phytochemical properties of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) genotypes in Iran. *Scientia Horticulturae*, 129, 459-463.

Herron, J., R., Beaudry, E., G., Jochums, C., E., & Medina, L., E., (1994). Osmotic concentration apparatus and method for direct osmotic concentration of fruit juice. US Patent 5,281,430. January 25.

Hodúr, C., (1995). Membránszűrés. Élelmiszeripari eljárások és berendezések (szerk. Fábry Gy.), Mezőgazda kiadó, Budapest.

Hodúr, C., (1998). Szűrés és lényerés. Membránszétválasztó Műveletek, Vegyipari Művelettani Alapismeretek. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 121-166, 980-1011.

Hogan, P., A., Canning, R., P., Peterson, P., Johnson, R., A., & Michaels, A., S., (1998). A new option: osmotic distillation. *Chemical Engineering Progress*, 7, 49-61.

Jayani, R., S., Saxena, S., Gupta, R. (2005). Microbial pectinolytic enzymes: a review. *Process Biochemistry*, 40, 2931-2944.

Jiao, B., Cassano, A., & Drioli, E., (2004). Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review. *Journal of Food Engineering*, 63, 303-324.

Kadir, U., Y., Sezai, E., Yasar, Z., Memnune, S., & Ebru, Y., K., (2009). Preliminary characterisation of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) genotypes for their physico-chemical properties. *Food Chemistry*, 114, 408-412.

Kashyap, D., R., Vohra, P., K., Chopra, S., & Tewari, R., (2001). Applications of pectinase in commercial sector: a review, *Bioresource Technology*, 77, 215-227.

Kárpáti, Z., (1948). Megjegyzések néhány berkenyéről. Agrártudományi Egyetem, Kert. Szőlőgazd. Tud. Kar. Közlemény, 12, 119-159.

Kertész, I., Z., (1951). The pectic substances. Interscience Publishers, New York.

Kertész, S., Landaburu, A., J., Garcia, V., Pongrácz, E., Hodúr, C., & Kieski, R., L., (2009). A statistical experimental design for the separation of zinc from aqueous solutions containing sodium chloride and n-butanol by Micellar-enhanced ultrafiltration. *Desalination and Water Treatment*, 9, 221-228.

Khayet, M., & Matsuura, T., (2011). Membrane distillation: Principles and Applications. Elsevier.

Koroknai, B., Csanádi, Zs., Gubicza, L., & Bélafi-Bakó, K., (2008). Preservation of antioxidant capacity and flux enhancement in concentration of red fruit juices by membrane processes. *Desalination*, 228, 295-301.

Koroknai, B., Kiss, K., Gubicza, L., & Bélafi-Bakó, K., (2006). Coupled operation of membrane distillation and osmotic evaporation in fruit juice concentration. *Desalination*, 200, 526-527.

Kimura, K., Amy, G., Drewes, J., E., Heberer, T., Kim, T., U., & Watanabe, Y., (2003). Rejection of organic micropollutants (disinfection by-products, endocrine disrupting compounds and pharmaceutically active compounds) by NF/RO membranes. *Journal of Membrane Science*, 227, 113-121.

Kiss, K., (2009). Pektinek kinyerése és enzimes hidrolízise. Doktori értekezés, Pannon Egyetem, Veszprém

Koroknai, B., (2007). Kíméletes, környezetbarát membrános műveletek integrált alkalmazása gyümölcslevek koncentrálására, PhD dolgozat, Pannon Egyetem, Veszprém

Kujawa, J., Guillen-Burrieza, E., Arafat, H., A., Kurzawa, M., Wolan, A., Kujawski, W., (2015). Raw Juice Concentration by Osmotic Membrane Distillation Process with Hydrophobic Polymeric Membranes. *Food and Bioprocess Technology*, 8, (10) 2146-2158.

Lampitt, L., H., & Hughes, E., B., (1928). The composition of fruits, *Analyst*, 53, 32-35.

Lawson, K., W., & Lloyd, D., R., (1997). Membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 124, 1-25.

Lefebvre, M., S., M., (1988). Method of performing osmotic distillation. US Patent 4.781.837.

Makai, A., (2015). Kőkény (*Sprunus spinosa*) Gyógynövények a házikertben. *Természetgyógyász Magazin*, X. évfolyam, 11. szám.

Martínez-Díez, L., & Vázquez-González, M. I., (1999). Temperature and concentration polarization in membrane distillation of aqueous salt solutions. *Journal of Membrane Science*, 156 (2), 265-273.

Merson, R., L., & Morgan, A., I., (1968). Juice concentration by reverse osmosis. *Food Technology*, 22 (5), 631–634.

Mulder, M., (1991). *Basic principles of membrane technology*. Kluwer Academic Publishers, London, UK.

Nagaraj, N., Patil, B., S., Biradar, P., M., (2006). Osmotic membrane distillation - A brief review. *International Journal of Food Engineering*, 2, 2 pp. 2-22.

Neukom, (1967). Pectic substances, In *Encyclopedia of Chemical Technology* vol. 14, Wiley, New York.

Nyári, L., (2005). A házi berkenye (*Sorbus Domestica* L.) és a barkóca berkenye (*Sorbus torminalis* L. Crantz) fajok etnobotanikai, kultúr- és erdészettörténeti háttere. Erdész szellemi műhely.

Nyeste, L., (1997). *Biomérnöki műveletek és alapfolyamatok*, Műegyetemi Kiadó, Budapest.

Pagani, M., M., Rocha-Leão, M., H., Couto, A., B., B., Pinto, J., P., Ribeiro, A., O., dos, Santos, Gomes, F., Cabral, L., M., C., (2011). Concentration of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) juice by integrated membrane separation process. *Desalination And Water Treatment*, 27, (1-3) pp. 130-134.

Papp, J., és Porpáczy, A., (1999). Szeder, ribiszke, köszméte, különleges gyümölcsök. *Bogyógyümölcsűek II.*, Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Paulson, D., J., Wilson, R., L., & Spatz, D., D., (1985). Reverse osmosis and ultrafiltration applied to the processing of fruit juice. In S. Sourirajan, & T. Matsuura (Eds.), *Reverse osmosis and Ultrafiltration*, ACS Symposium Series: Washington, DC. pp. 325–344.

Pawłowska, A., M., Camangi, F., & Braca, A., (2009). Quali-quantitative analysis of flavonoids of *Cornus mas* L. (*Cornaceae*) fruits. *Food Chemistry*, 119, 1257-1261.

Pécs, M., (2011). *Fermentációs feldolgozási műveletek*, Egyetemi tananyag, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.

Pepper, D., Orahard, A., C., J., & Merry, A., J., (1985). Concentration of tomato juice and other fruit juice by reverse osmosis. *Desalination*, 53 (1–3), 157–166.

Petri, G., (1991). *Gyógynövény és drogismeret*. Medicina Könyvkiadó Vállalat, Budapest.

Petrotos, K., B., & Lazarides, H., N., (2001). Osmotic concentration of liquid foods. *Journal of Food Engineering*, 49 (2-3), 201-206.

Petrotos, K., B., Quantick, P., C., & Petropakis, H., (1999). Direct osmotic concentration of tomato juice in tubular membrane module configuration. II. The effect of using clarified tomato juice on the process performance. *Journal of Membrane Science*, 160 (2), 171-177.

Porpáczy, A., (1987). Ribiszke, áfonya, bodza, fekete berkenye. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Porpáczy, A., (1999). A bodza termesztése. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Radjenovic, J., Petrovic, M., Ventura, F., & Barceló, D., (2008). Rejection of pharmaceuticals in nanofiltration and reverse osmosis membrane drinking water treatment. *Water Research*, 42, 3601-3610.

Rácz, G., Alamb, M., R., Arekatteb, Ch., K., Alberta, K., Papp, N., Stefanovits-Bányai, É., Russod, P., DiMatteob, M., & Vataia, Gy., (2014). Potassium acetate solution as a promising option to osmotic distillation for sour cherry (*Prunus cerasus* L) juice concentration. *Acta Alimentaria*, 43, 114-206.

Radván, L., (2006). Húsos som (*Cornus mas* L.), kökény (*Prunus spinosa* L.) és kökényszilva (*Prunus insititia* L. és *Prunus x fruticans* (Weihe) R. et Cam.) taxonok értékelése élelmiszeripari és termesztésügyi szempontok alapján. Diplomamunka, Corvinus University Budapest.

Rapics, R., (1940). A magyar gyümölcs. Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest.

Rápóty, J., és Romvári, V., (1990). Gyógyító növények. Medicina Kiadó, Budapest.

Rautenbach, R., (1997). Membranverfahren - Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung. Springer-Verlag, Berlin.

Rodrigues, R., B., Menezes, H., C., Cabral, L., M., C., Dornier, M., Rios, G., M., Reynes, M., (2004). Evaluation of reverse osmosis and osmotic evaporation to concentrate camu-camu juice (*Myrciaria dubia*). *Journal of Food Engineering*, 63, 97-102.

Serpil, T., & Ilkay, K., (2008). Physico-chemical and antioxidant properties of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.) grown in Turkey. *Scientia Horticulturae*, 116, 362-366.

Sidor, A., & Gramza-Michałowska, A., (2014). Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food - a review. *Journal of Functional Foods*.

Singleton, V., Orthofer, L., R., & Lamuela-Raventos, R., M., (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Method Enzymology*, 299, 152-178.

Sipos, B., Z., (1999). A feketebodza jelentősége, a termesztés feltételei. *Őstermelő*, Nov., 27-28.

Sipos, B., Z., (2014). Gyümölcsstermesztési ismeretek. *Mezőgazda Kiadó*.

Souza, A., L., R., Pagani, M., M., Dornier, M., Gomes, F., S., Tonon, R., V., & Cabral, L., M., C., (2013). Concentration of camu-camu juice by the coupling of reverse osmosis and osmotic evaporation processes. *Journal of Food Engineering*, 119 (1), 7-12.

Stefanovits-Bányai, É., Schiffler, E., Stéger-Máté, M., Sipos, B., Z., & Hegedűs, A., (2004). A feketebodza (*Sambucus nigra* L.) beltartalmi értékeinek és antioxidáns hatásának változása az érés folyamán. *Olaj, szappan, kozmetika*, 53 (1), 33-36.

Szép, A., (2013). Membránszűrés hatékonyságának javítása kombinált módszerek alkalmazásával ipari szennyvizek tisztítása során. PhD Értekezés, Környezettudományi Doktori Iskola, Szeged.

Vaillant, F., Jeanton, E., Dornier, M., O'brien, G., M., Reynes, Decloux, M., (2001). Concentration of passion fruit juice on an industrial pilot scale using osmotic evaporation. *Journal of Food Engineering*, 47, 195-202.

Veberic, R., Jakopic, J., Stampar, F., & Schmitzer, V., (2009). European elderberry (*Sambucus nigra* L.) rich in sugars, organic acids, anthocyanins and selected polyphenols. *Food Chemistry*, 114, 511-515.

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

Wang, Z., Zheng, F., Wu, Y., & Wang, S., (2001). Membrane osmotic distillation and its mathematical simulation. *Desalination*, 139, 423-428.

Zambra, C., Romero, J., Pino, L., Saavedra, A., & Sanchez, J., (2015). Concentration of cranberry juice by osmotic distillation process. *Journal of Food Engineering*, 144, 58-65.

Tézisek

1. Tézis

Megállapítottam, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható pektináz enzimek készítmények közül a *Microzym 200* termék segíti leginkább a húsos som, kökény, lisztes berkenye és fekete bodza gyümölcseiből a lékinyerést 37 °C fokon, 0,3 g *Microzym 200* pektináz + 30 µl celluláz / 30 g gyümölcspép arányban adagolva [5]. Alkalmazásával az 51,6-60,5 %-os lékihozataalt 59,9-72,1 %-ra sikerült növelnem.

2. Tézis

Elsőként sűrítettem be húsos som, kökény, lisztes berkenye és fekete bodza levét ozmotikus és membrán desztilláció kombinált alkalmazásával. A folyamat során elérhető átlag fluxus értékek 0,4-1,5 l/m²h [1, 2, 5, 7].

3. Tézis

Az antioxidáns, összfenol-, antocianin- és C-vitamin tartalom mérésével bizonyítottam, hogy az ozmotikus- és membrán desztilláció kíméletes tartósító eljárás. A koncentrált gyümölcslevekből visszahígított és a friss levek összehasonlításával megállapítottam, hogy a sűrítmények megőrizték hasznos beltartalmi értékeik 70-80 %-át [2, 9, 10].

4. Tézis

A szakirodalomban elsőként tettem közzé 2-, 3- és 4-lépcsős kaszkád rendszerű ODMD eljárás eredményeit [3, 11]. A kaszkád rendszer segítségével az ozmotikus ágens (CaCl₂ oldat) regenerálása nélkül 15-21 %-kal rövidebb koncentrálni idő alatt lehet végrehajtani a gyümölcsle töményítését 60 % szárazanyag tartalomig [3].

5. Tézis

Szacharóz modell oldatokat használva új, egyszerűsített anyagátadási modellt állítottam fel, melynek segítségével anyagátadási tényezőt lehet meghatározni az ODMD rendszerben az adott tartományban a hőmérséklet és a koncentrációk ismeretében.

Theses

1. Thesis

I proved that – among the commercially available enzymes – the *Microzym 200* preparation can increase most significantly the liquid gaining from cornelian cherry, blackthorn, rowanberry and elderberry fruits at 37 °C in a dosage of 0.3 g *Microzym 200* + 30 µl cellulase / 30 g fruit mash [5]. By its application, the liquid production yield increased from 51.6-60.5 % to 59.9-72.1 %.

2. Thesis

Juices of cornelian cherry, blackthorn, rowanberry and elderberry fruits were firstly concentrated by combined osmotic and membrane distillation technology. During the process the average flux value was 0.4-1.5 l/m²h [1, 2, 5, 7].

3. Thesis

It was proved experimentally, that the membrane osmotic distillation (MOD) technology is a mild concentration technique. By the comparison of the antioxidant capacity, polyphenol, antocianin and C-vitamin content in the re-diluted and in the original juices I have found, that the products had preserved 70-80 % of their inner measured values [2, 9, 10].

4. Thesis

I have published results on a 2-, 3- and 4-stage multiple cascade MOD system firstly in the literature [3, 11]. Using the cascade system the time of juice concentration up to 60 % was reduced by 15-21 %, without the regeneration of the osmotic agent (CaCl₂ solution), to the desired weight concentration [3].

5. Thesis

A simplified mass transfer model by using saccharose model solutions was constructed and mass transfer coefficients of the MOD system were determined in the given range.

Publikációs lista

Idegen nyelvű publikációk

1. A. Boór, K. Bélafi-Bakó: Concentration of cornelian cherry fruit juice by membrane osmotic distillation, *Desalination and Water Treatment*, 35, 271-274, 2011
2. A. Boór, K. Bélafi-Bakó, N. Nemestóthy: Comparative study on concentration of juices from colourful wild berry fruits by membrane osmotic distillation, *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 40, 53-56, 2012
3. A. Boór, K. Bélafi-Bakó, N. Nemestóthy: Concentration of colourful wild berry fruit juices by membrane osmotic distillation via cascade model systems, *Journal of Membrane Science and Research*, 2, 201-106, 2016

Magyar nyelvű publikációk

1. Boór A.: Gyümölcslevek kezelése membrán szeparációval, *Természet Világa*, 142 évf., 4. füzet, 175-176, 2011
2. Boór A., Bélafiné Bakó K., Nemestóthy N.: Kőkényből és húsos somból készített gyümölcslevek koncentrációja kéméletes ozmotikus- és membrán desztillációs eljárással, *Konzervújság*, 3-4 szám LX évf. 46., 2012
3. Boór A., Nemestóthy N., Bélafiné Bakó K.: Direkt ozmózis, *Membrántechnika és ipari biotechnológia*, III. évfolyam 1. szám, 2-11, 2012

Idegen nyelvű előadások és poszterek

1. Boór A., Csanádi Zs., Nemestóthy N., Bélafi-Bakó K.: Preservation of antioxidant capacity of wild berry fruits during concentration of fruit juices by membranes, Slovenian Chemical Days, Maribor, pp. 123, 2010
2. Boór A.: Concentration of Cornelian cherry fruit juice by membrane osmotic distillation, XXVIII. EMS Summer School, Lengyelország, Smardzewice, 2011
3. Boór A.: Preservation of antioxidant capacity of cornelian cherry and blackthorn fruits during the concentration of fruit juices by mild membrane processes, ICOM, Amszterdam, Hollandia, 2011
4. Boór A.: Preservation of antioxidant capacity of wild berry fruits during the concentration of fruit juices by mild membrane processes, 1st Euro-Mediterranean Symposium for Fruit & Vegetable Processing, Avignon, Franciaország, pp. 98, 2011
5. Szigeti M., Boór A., Nemestóthy N., Bélafi-Bakó K.: Effective and mild osmotic distillation membrane distillation process with cascade operation, The 6th Membrane Conference of Visegrád Countries, Permea, Varsó, Polish Academy of Sciences, pp. 9, 2013

Magyar nyelvű előadások

1. Boór A.: Kőkényből és húsos somból készített gyümölcslevek koncentrációja kéméletes ozmotikus - és membrán desztillációs eljárással, Konzervipari Napok, Nagykőrös, 2012
2. Boór A.: Kőkény és húsos som gyümölcslevek kezelése membrán szeparációs műveletekkel, Műszaki Kémiai Napok, Veszprém, pp. 185, 2011
3. Boór A., Bélafiné Bakó K.: Antioxidáns tartalom meghatározása kőkény (*Prunus spinosa* L.) és húsos som (*Cornus mas* L.) gyümölcsökben, Műszaki Kémiai Napok, pp. 55-58, 2010
4. Boór A.: Mágneses elven működő szénhidrogén-porlasztás javító és levegőszennyezés csökkentő készülék vizsgálata, XII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia, Környezetkémia szekció, 93-94, Sopron, 2010

Köszönetnyilvánítás

Doktori értekezésem elkészítésében köszönettel tartozom Bélafiné Dr. Bakó Katalin intézetigazgató egyetemi tanárnak, aki szakmai, sokéves tapasztalatával és tanácsaival segítette munkám. Köszönet illeti a Biomérnöki Membrántechnológiai és Energetikai Kutató Intézetet és annak összes dolgozóját, akik lehetővé tették a dolgozat elkészülését és a kutatási munkák megvalósulását. Nagy segítséget köszönhetek Dr. Nemestóthy Nándor egyetemi docensnek, aki fő szakmai tanácsadóm volt a kísérletek megtervezésében, kivitelezésében és a kiértékelésben egyaránt. Szeretném megköszönni a Kutató Intézet munkatársainak odaadó segítségét, amivel a dolgozat elkészüléséhez hozzájárultak. Végül, de nem utolsó sorban, köszönetemet fejezem ki családomnak, barátaimnak, akik az elmúlt években támogattak és segítettek a tanulmány elkészítésében.

Mellékletek

1. Számú melléklet - Felhasznált vegyszerek, a rájuk vonatkozó R és S mondatokkal

Vegyszer megnevezése	Gyártó	Képlet	R mondatok*	S mondatok**
Nátrium-benzoát	Kamilla gyógyszertár	$\text{NaC}_6\text{H}_5\text{CO}_2$		
Szacharóz	Merck Chemicals Hungary	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$		
Enzimek:				
Pectinex Ultra SP - L	Sigma-Aldrich			
Pektopol PT - 400	Sigma-Aldrich			
Microzym 200	Sigma-Aldrich			
Microzym 200 + Celluláz	Sigma-Aldrich			
Kálcium - klorid - dihidrát	Spectrum	$\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$	36	26
Nátrium - acetát - trihidrát	Reanal	$\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$		
Ecetsav	Reanal	CH_3COOH	10, 35	1/2, 23, 26, 45
Vas-klorid	Reanal	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	22, 38, 41	26, 39
Vas - 2, 4, 6 - tripiridil - s - triazin (TPTZ)	Fluka	$[\text{Fe}^{3+}\text{TPTZ}]_2^{3+}$		
Sósav	Scharlau	HCl	34,37	1/2, 26, 45
Aszkorbinsav	Reanal	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$		
Kálium-klorid	Spectrum	KCl		
Metilalkohol	Reanal	CH_3OH	11, 23/24/25, 39/23/24/25,	1/2, 7, 16, 36/37, 45
Folin - Ciocalteu reagens	Merck Chemicals Hungary			
Nátrium karbonát	Reanal	Na_2CO_3		

***R-mondatok:**

- 10: Tűzveszélyes
- 11: Fokozottan tűzveszélyes
- 22: Lenyelve ártalmas
- 23/24/25: Belélegezve, bőrrel érintkezve és lenyelve mérgező
- 34: Égési sérülést okoz
- 35: Súlyos égési sérülést okoz
- 36: Szemizgató hatású
- 37: Izgatja a légutakat
- 38: Bőrizgató hatású
- 39/23/24/25: Belélegezve, bőrrel érintkezve és lenyelve mérgező: nagyon súlyos, maradandó egészségkárosodást okozhat
- 41: Súlyos szemkarosodást okozhat

****S-mondatok:**

- 1/2: Elzárva és gyermekek számára hozzáférhetetlen helyen tartandó
- 7: Az edényzet légmentesen lezárva tartandó
- 16: Gyújtó forrástól távol tartandó – Tilos a dohányzás
- 23: A keletkező gázt/füstöt/gőzt/permetet nem szabad belélegezni
- 26: Szembe kerüléskor azonnal bő vízzel kell öblíteni, majd orvosi ellátás szükséges
- 36/37: Megfelelő védőruházatot és védőkesztyűt kell viselni
- 39: Szem-/arcvédőt kell viselni
- 45: Baleset vagy roszullét esetén azonnal orvost kell hívni. Ha lehetséges, a címkét meg kell mutatni