



Élelmiszertudományi Kar

Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

Pervaporáció alkalmazása ananász aromakomponensek dúsítására

TDK dolgozat

Készítette: Poráczki Anna, élelmiszermérnök, Bsc



TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-
2010-0005

Témavezetők:

Dr. Márki Edit, egyetemi adjunktus

Hornyákné Holczman Ágnes Nikolett, tanszéki mérnök

Budapest, 2012

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Irodalmi áttekintés	3
2.1. A hagyományos gyümölcslégyártás.....	3
2.1.1. Gyümölcssűrítmények	3
2.1.2. Aromanyagok a gyümölcslevekben	4
2.1.3. Aroma-visszanyerés rektifikáló oszloppal	5
2.2. Anyagátadási membránműveletek, pervaporáció	8
2.2.1. Anyagátadási membránműveletek és a pervaporáció	8
2.2.2. A pervaporációs membrán.....	11
2.2.3. A pervaporáció típusai	13
2.2.4. A pervaporációs eljárás alkalmazási területei és előnyei	14
2.2.5. A pervaporációt jellemző mutatók.....	15
2.3. Az ananász.....	16
3. A munka célja	18
4. Anyagok és módszerek	19
4.1. Kísérleti anyagok	19
4.1.1. Aromák.....	19
4.1.2. Kísérleti modell elegyek.....	21
4.2. Kísérleti berendezések és körülmények	22
4.2.1. Pervaporációs berendezés	22
4.2.2. Gázkromatográf.....	23
4.2.3. A kísérlet menete	24
5. Kísérleti eredmények és az eredmények értékelése	28
5.1. Fluxusok meghatározása	28
5.2. Szétválasztási tényezők meghatározása	30
5.3. Aktiválási energiák meghatározása.....	31
5.4. Pervaporációs Szeparációs Index meghatározása.....	32
5.5. További célok, javaslatok.....	33
6. Összefoglalás	34

1. Bevezetés

Az élelmiszer- és az italgyártó ipar számára a legfőbb cél a magas nivójú termékek előállítása és az egyre növekvő piaci igények kielégítése, melyek elsősorban a természetes alapanyagokból készült, kiváló minőségű, értékes komponensekben gazdag készítményekre irányulnak. A vállalatok ezért nagy erőfeszítéseket tesznek az új termékek és technológiák kifejlesztésére, javítására. Központi szempont, hogy a feldolgozó műveletek során az értékes anyagok ne bomoljanak és ne vesszenek el.

Az egyik fontos paraméter, melyet a gyümölcslevek feldolgozásánál egyre inkább figyelembe kell venni, az a végtermék aromatartalma. A hagyományos ipari eljárásoknál, mint például a bepárlás, az aromakomponensek elveszhetnek, kémiaiilag teljesen átalakulhatnak, vagy éppen módosulhatnak. Ez különösen igaz a hőérzékeny alkotók esetében. Ugyanakkor a besűrités a víztartalom eltávolításának következményeként előnyös a termék tartósítása szempontjából, a tömeg- és térfogatcsökkenés miatt pedig a szállítási, csomagolási és tárolási körülmények egyszerűsödnek, költségeik csökkennek.

A legmodernebb gyümölcslégyártó üzemekben a besűrités során rektifikáló oszlop segítségével igyekeznek megakadályozni az illékony aromák elvesztését, ami tulajdonképpen az aromaanyagok többlépcsős desztillálásával való visszanyerését jelenti. Így a gyümölcslé előállítás folyamatában a termékek saját, eredeti aromáikkal gazdagíthatók szintetikus aromák adagolása helyett. Ez a módszer azonban rendkívül energia-, hely-, és költségigényes.

Megoldásként jó alternatívát jelenthet a pervaporációs membrántechnika, melynek nagy előnye az enyhe működési paraméterek lehetősége; akár szobahőmérsékleten és légköri nyomás (vagy vákuum) mellett is megvalósítható. A folyamat viszonylag egyszerű, gyors és megbízható, valamint költség- és energiakímélő.

A pervaporációt, mint szeparációs műveletet az elmúlt években sikeresen alkalmazták illékony komponensek folyékony és szilárd mintákból való kinyerésére, azonban a módszer további vizsgálata szükséges a gyümölcslé gyártás során való alkalmazhatósága szempontjából.

Az egyes gyümölcsök aroma-összetétele mellett figyelembe kell venni és vizsgálni kell az organofil pervaporációs membránok hatékonyságát, illetve meg kell határozni az alkalmazott optimális működési paramétereket is.

Az ananász olyan, Magyarországon is kedvelt trópusi gyümölcs, melynek íz- és illatprofilját jellegzetes, erőteljes aromák határozzák meg és előnyös élettani hatásai miatt sokan fogyasztják lé formájában is.

Mindezek alapján választottam szakdolgozatom témájának az ananász egyes aromakomponenseinek pervaporációs membrántechnikával való szétválasztásának vizsgálatát modelloldatok segítségével.

2. Irodalmi áttekintés

2.1 A hagyományos gyümölcslégyártás

2.1.1. Gyümölcslé-sűrítmények

A gyümölcسالapú készítmények minden esetben (a 100%-os levektől egészen a szénsavas italokig) gyümölcssűrítmények visszahígításával készülnek. A sűrítményhez hozzáadott víz, cukor, illetve egyéb anyagok mennyisége az adott termék receptúrájától függ.

A gyümölcssűrítmények tartósságát biztosítani kell a további feldolgozásig. Ezt egyrésztől fizikai tartósításként maga a sűrítési eljárás biztosítja, mely során a nyers gyümölcslé víztartalmának legnagyobb részét eltávolítják. A koncentrálassal történő tartósítás előnye a magas szárazanyag-tartalom és a csökkent vízaktivitás, ami a termék mikrobiológiai stabilitását biztosítja. Emellett a tömeg- és térfogatcsökkenés a tárolási és szállítási költségeket is redukálja. Kémiai úton is lehetséges a tartósítás olyan konzerválószerekkel, mint pl. kálium-szorbát. Ezek, mint félkész termékek, tartósnak tekinthetők. [Tóth, 2008]

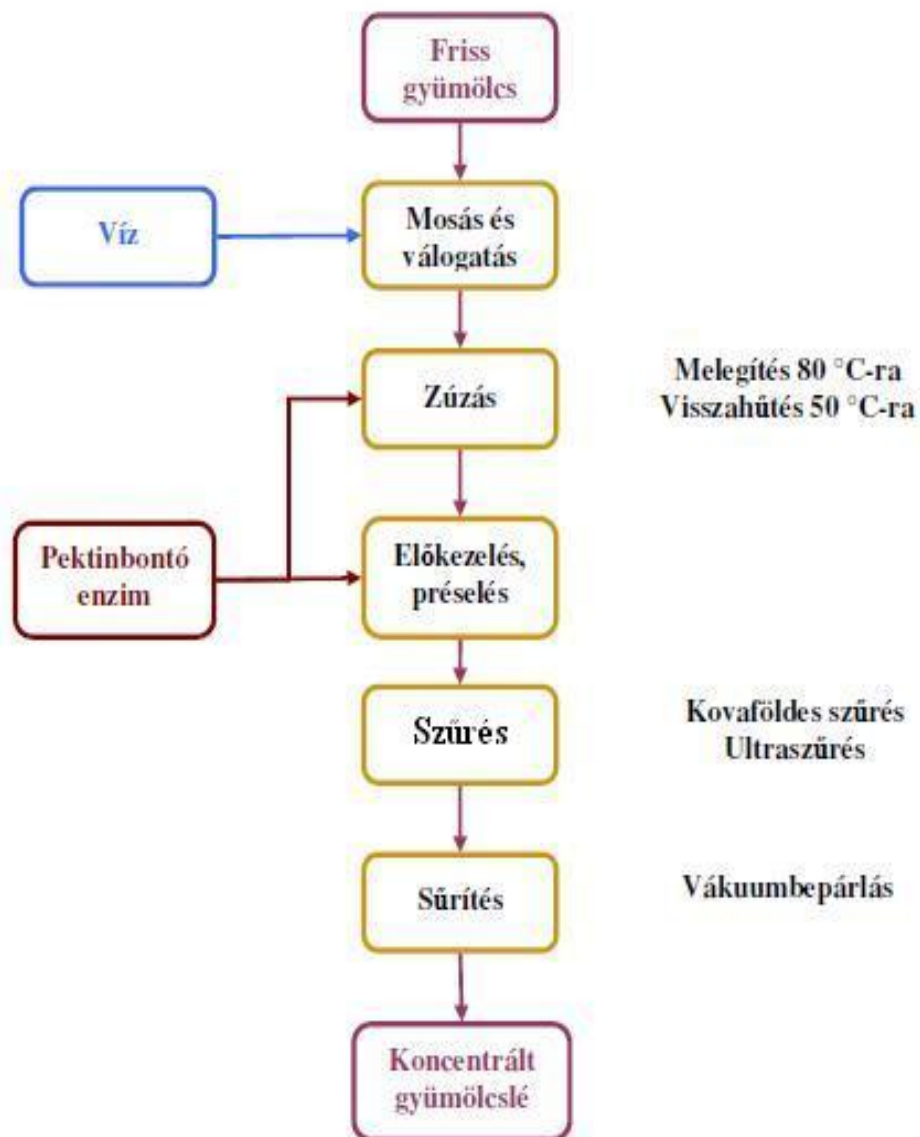
A gyümölcssűrítmények gyártásának hagyományos technológiáját, illetve fő lépéseit az 1. ábra szemlélteti.

A friss gyümölcsöt mosás és válogatás után zúzzák, majd préselik, mely lépések során pektinbontó enzimet adagolnak. A préselt levét bentonittal, kavasav-szollal vagy kis mennyiségű aktív szénnel derítik, majd a keletkezett csapadékot (rostok) szűréssel vagy ultraszűréssel eltávolítják. [Fogarassy, 2012] Az előkészítő műveleti lépéseket követi a tükrös gyümölcslé magas szárazanyag-tartalomra való besűrítése, melynek kíméletes módja a vákuum-bepárlás.

A bepárlók energiaköltsége magas, amely egyrészt a gyümölcsléből történő víz elpárologtatásából adódik, másrészt a készterméket az előállítást követően hűteni kell a csomagolás hőmérsékletére. Ha a bepárlás atmoszférikus nyomáson történik, a gyümölcslé forrásponti hőmérséklete 100-106 °C között változik. [Fogarassy, 2012]

A folyamat végeredménye a koncentrált gyümölcslé.

Ilyen technológiával a legtöbb gyümölcs feldolgozható és hosszabb-rövidebb ideig tárolható. [Tóth, 2008]



1. ábra Gyümölcssűrítmény előállítás [Bánvölgyi, 2009]

2.1.2. Aromanyagok a gyümölcslévekben

A gyümölcsök aromaprofiljait nagyszámú illékony szerves komponens alkotja. Az egyes aromakomponensek a molekuláris struktúrájuk szerint különbözhetnek például oldhatóságukban, forráspontjukban, és illékonyosságuk mértékében. Általában ezek az egyes gyümölcsökben és később a gyümölcslévekben is különböző koncentrációban és összetételben vannak jelen. A gyümölcslévekben az egyes aromák mennyisége egy és néhány száz ppm közt ingadozik.

Az elmúlt időszakok vizsgálatai a különféle gyümölcsökből több mint 6000 féle vegyületet mutattak ki, melyek az aromaprofiljuk kialakításában vesznek részt. Ezek közt megkülönböztetünk észtereket, alkoholokat, aldehideket, ketonokat, karbonsavakat, aminokat, terpéneket, és fenolokat is.

A gyümölcsfeldolgozás termikus műveletei során, mint például a pasztörizálás és a bepárlás, veszteségek és nem kívánt változások következhetnek be az aromaprofil összetételét illetően, többek között olyan kémiai változások, mint a hő indukálta oxidáció, vagy a Maillard reakció. [Aroujalian, Raisi, 2007]

A hőkezelés okozta változások azonban sok esetben elkerülhetetlenek, mióta gyakran pasztörözéssel növelik a termékek mikrobiológiai stabilitását. Ennek következtében nem csak a gyümölcslében eredetileg jelenlévő aromák veszhetnek el, hanem új aromák is kialakulhatnak az eredeti aromákból, vagy más, az italban megtalálható komponensekből. [Karlsson, Tragardh, 1997]

A pasztörözésen kívül a gyümölcslégyártás alapvető lépése, a bepárlás nagy hőmérséklete okoz ilyen természetű problémát. Mivel a gyümölcslevek hőérzékenyek, általában csökkentett nyomáson, alacsony hőmérsékleten koncentrálják, két vagy több fokozatú bepárlót alkalmazva, melyben a tartózkodási idő a lehető legrövidebb. Az előbb említett változások azonban, mivel az aromák többnyire igen illékonyak, még az ilyen, enyhébb körülmények között végzett hőközléses eljárásoknál is (akár vákuum-bepárlásnál is) bekövetkeznek. [Karlsson, Tragardh, 1997] Mindez pedig a végtermék minőségének csökkenéséhez vezet, mely így nem képes kielégíteni az egyre növekvő fogyasztói elvárásokat.

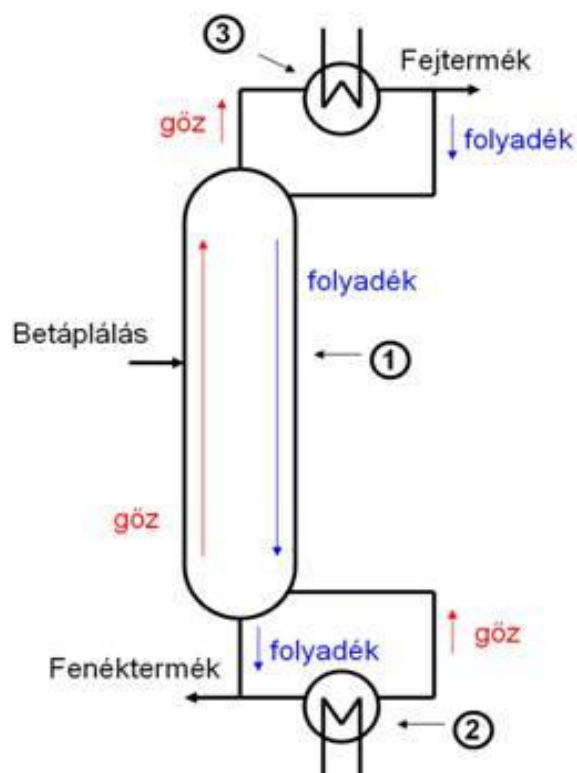
A veszteségek és változások elkerülésének érdekében célszerű az aromák kinyerésére irányuló szeparációs technikák alkalmazása. [Aroujalian, Raisi, 2007] Ezek célja, hogy minimalizálják az aroma-veszteséget egy aromakonzentrálási lépés beiktatásával, amely koncentrátum a végtermékhez hozzáadható, növelve ezzel annak minőségét. [Karlsson, Tragardh, 1997]

2.1.3. Aroma-visszanyerés rektifikáló oszloppal

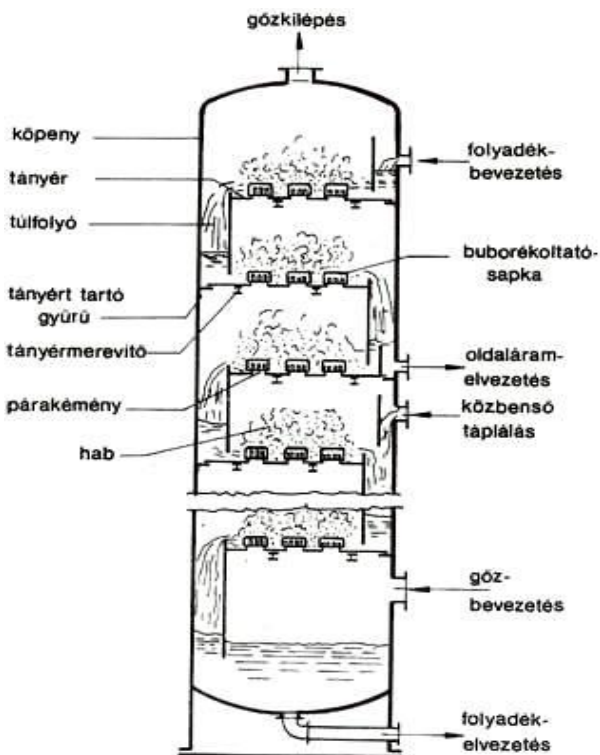
A rektifikálás vagy ismételt lepárlás a desztilláció továbbfejlesztett változata, mellyel tisztább végtermék elérése lehetséges.

A gyakorlatban legtöbbször rektifikáló oszlopokat (kolonnákat) alkalmaznak az elegyek szétválasztására. A gőz- és a folyadékfázis érintkeztetése egy oszlopban történik, melynek hossza mentén többször beáll a termodinamikai egyensúly. Egy hagyományos rektifikáló berendezés három fő részből áll: oszlop, kiforraló, kondenzátor (2. ábra). Az oszloprészben töltettel vagy tányérokkal biztosítják a gőz - és folyadékfázis érintkeztetését. Ezeknek a berendezéselemeknek a feladata, hogy a folyadék lecsorgását az oszlop mentén lassítsák és eközben a gőzzel minél nagyobb felületen érintkeztessék (3. ábra).

[<http://pr.mk.uni-pannon.hu/disszeminacio/optam.html>, 2012]



2. ábra Rektifikáló oszlop felépítése: 1. oszlop; 2. kiforraló; 3. kondenzátor [<http://pr.mk.uni-pannon.hu/disszeminacio/optam.html>, 2012]

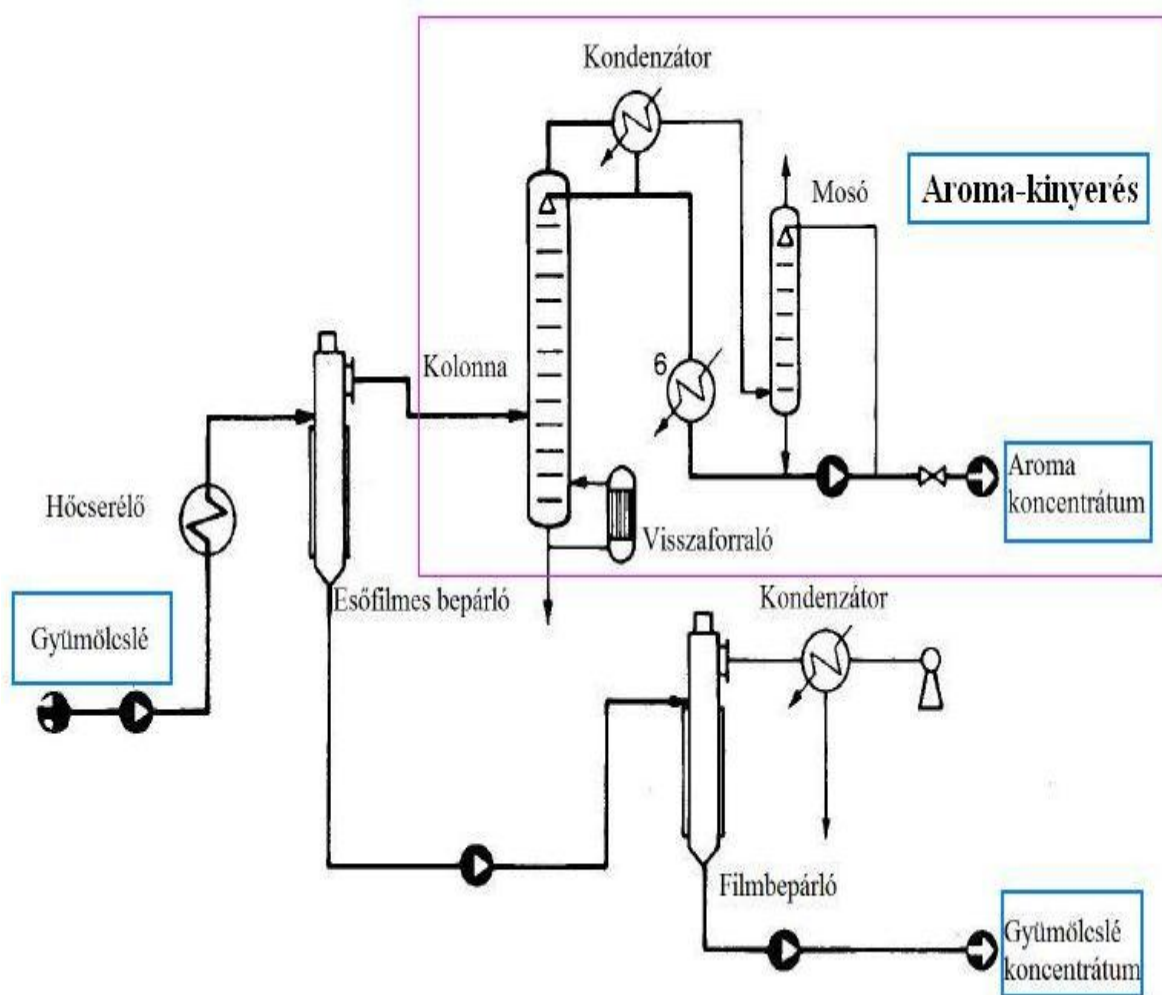


3. ábra Rektifikáló oszlop tányéros szerkezettel [<http://pr.mk.uni-pannon.hu/disszeminacio/optam.html>, 2012]

A jobb minőségre törekvő gyümölcslégyártó cégeknél az aromaanyagok visszanyerésére az előbbiekben leírt aromafelfogót építenek be a rendszerbe, és ezt vagy teljes mértékben visszaadagolják, vagy természetes aromaanyagként hasznosítják. [Bagger-Jorgesen et al., 2004]

A folyamatot a 4. ábra szemlélteti. A gyümölcslévet előmelegítik egy hőcserélő segítségével, majd az esőfilmes bepárlóba vezetik, ahol a besűrítés első lépésben megtörténik. A művelet során keletkező gőzt egy rektifikáló kolonnára vezetik, ahol az aromakomponensek kinyerhetők. Ezután egy gázmosón keresztül a különböző komponenseket elválasztják. A sűrítményt egy második bepárlóban tovább sűrítik és így kapják a végleges gyümölcslé koncentrátumot.

A módszer energia- és helyigénye nagy, ezek miatt pedig az eljárás költségvonzata is jelentős.



4. ábra Kombinált bepárlás rektifikálós aromakinyeréssel [Fogarassy, 2012]



5. ábra Nagyméretű rektifikáló kolonna strukturálttöltete [<http://pr.mk.uni-pannon.hu/disszeminacio/optam.html>, 2012]

Az 5. ábra egy nagyméretű oszlop strukturálttöltetét mutatja. A kolonnák igen nagy átmérőjűek is lehetnek, akár 11 méter toronyátmérőjű és 60 méter magas készülékekkel is találkozhatunk. [<http://pr.mk.uni-pannon.hu/disszeminacio/optam.html>, 2012]

Megoldásként szolgálhat a fenti problémákra a pervaporációs membrántechnika, mely egy olyan alternatív eljárás, amely alacsonyabb energiaigényű, üzemeltetési paramétereit tekintve olcsóbb és jóval kisebb helyigénnyel rendelkezik.

2.2. Anyagátadási membránműveletek, pervaporáció

2.2.1. Anyagátadási membránműveletek és a pervaporáció

Az *anyagátadási membránműveletek* legfőbb jellemzői, hogy a komponensek transzportja a membránon molekuláris diffúzió útján valósul meg, illetve, hogy a hajtóerejük a parciális nyomás- vagy koncentráció gradiensben rejlik. Legfontosabb típusait az 1. táblázat foglalja össze. [Békássy-Molnár, Vatai, 2006]

1. táblázat: A legfontosabb anyagátadási membránműveletek

Művelet	Hajtóerő	Mechanizmus	Membránon áthaladó komponensek
Pervaporáció	Parciális gőznyomás-különbség	Diffúzió	Oldott komponens
Membrán desztilláció	Hőmérséklet-különbség	Diffúzió	Oldószer/Oldott komponens
Membrán abszorpció	Koncentráció-különbség	Diffúzió	Oldott komponens
Membrán extrakció	Koncentráció-különbség	Diffúzió	Oldott komponens
Ozmotikus desztilláció	Vízaktivitás-különbség	Diffúzió	Oldószer/Víz

Az előbbi folyamatok közös jellemzője, hogy a komponensek membránon való áthaladási mechanizmusa a diffúzió.

A pervaporációs anyagátadási művelet kilóg a sorból, mert a többi művelettel szemben membránja nem porózus szerkezetű és az elválasztás mechanizmusa a résztvevő anyagok kémiai potenciálkülönbségén alapul, melynek kialakításában a membrán két oldala közt létrejövő parciális nyomáskülönbség vesz részt. A pervaporáció az egyetlen membránművelet, ahol fázisátalakulás történik. [Békássy-Molnár, Vatai, 2006]

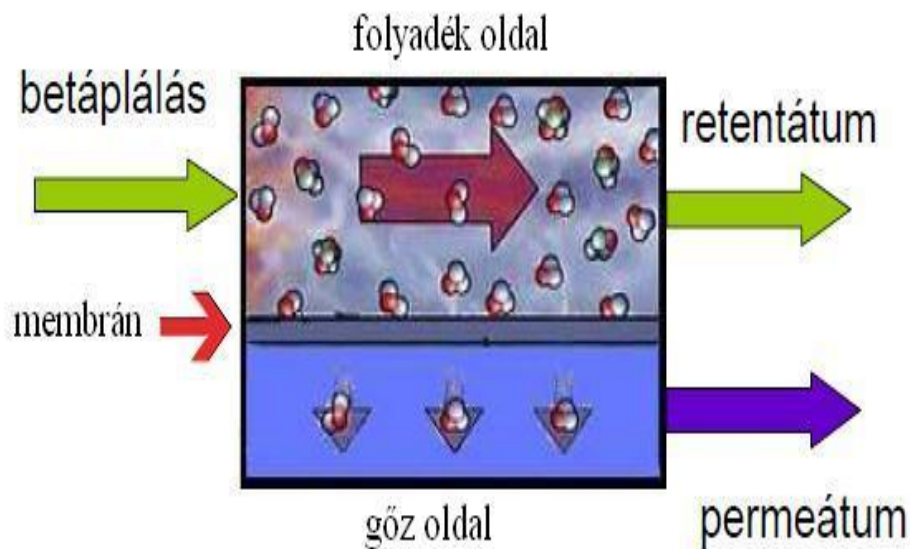
A többi anyagátadási membránművelet esetében a membrán porózus, hidrofób vagy hidrofil membrán, a szétválasztás alapja pedig a komponensek egyensúlyi koncentráció-különbsége a membrán két oldala közt. [Békássy-Molnár, Vatai, 2006]

1917-ben P.A. Kober publikálta azon megfigyelését először, hogy egy folyadékkal megtöltött, ugyanakkor szorosan zárt kolloidzsák tartalma elpárologott. [Nunes, Peinemann, 2006] Felismerése rámutatott arra, hogy gőz- és folyadékelegyek speciális, pórusmentes membránon keresztül szétválaszthatók, mely a *pervaporáció* műveletének alapja.

A folyamat során a membrán a betáplált folyadékeleggyel érintkezik, melynek komponensei abszorbeálódnak a membrán felületén, beleoldódnak, folyadék-gőz halmazállapot változás következik be, majd a membrán szelektivitásának megfelelően adott komponensek átdiffundálnak a membrán anyagán, végül a permeátum oldalon gőzként deszorbeálódnak. [Bélafi-Bakó et al., 2002] A komponensek anyagi minőségüktől függően eltérő oldékonysággal rendelkeznek a membrán

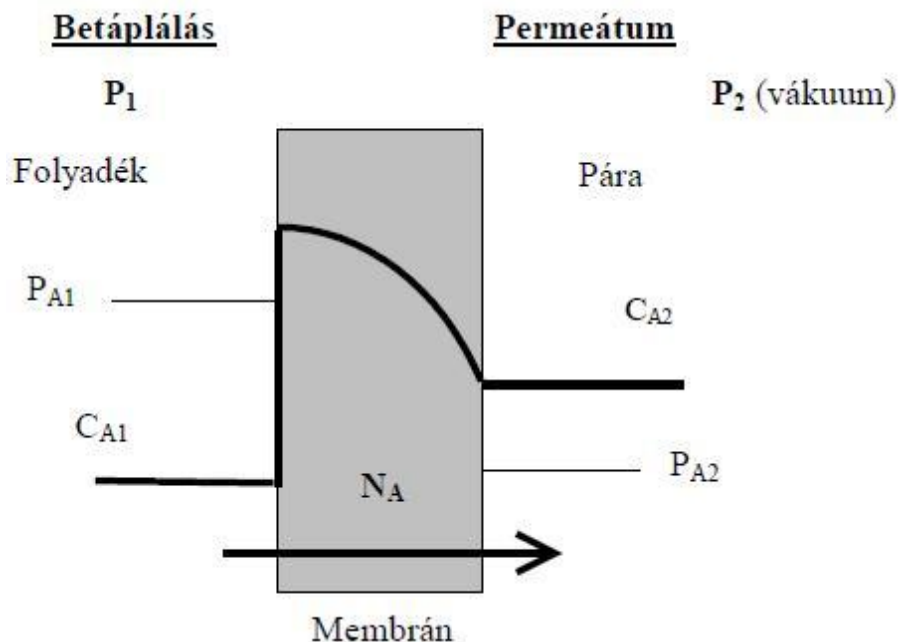
anyagára nézve. A folyamat eredménye a membrán túloldalán az átdiffundált anyagok által képzett permeátum és a membrán innenső oldalán lévő retentátum. A szétválasztás céljától függ, hogy a kettő közül melyik lesz a fő- és a melléktermék.

Sematikus folyamatát a 6. ábra mutatja be.



6. ábra A pervaporáció elve

A pervaporáció anyagátadási mechanizmusának modelljét a 7. ábra mutatja.



7. ábra A pervaporáció általános modellje [Molina, 2003]

A mechanizmus alapvető folyamata a diffúzió. A keletkezett termékek közül a retentátum tartalmazza a kis diffúziós állandójú komponenseket.

Az oldódás, anyagátadás ötlépéses diffúziós modellel írható le:

1. A komponensek transzportja a folyadékelegy főtömegéből a határfelületre.
2. A komponensek abszorbeálódnak/oldódnak a membrán bemenő oldalánál kialakuló filmrétegben.
3. A komponensek diffúzióval átjutnak a membránon a hajtóerő hatására.
4. A permeátum-gőzök deszorbeálódnak a membrán másik oldalán.
5. Eljutnak a gáz/gőz áram főtömegébe.

Az elpárolgáshoz szükséges hőenergiát a modul előtt kell közölni a folyadékárammal, így a modulban nyerhető permeátum/betáplálás arányt (a betáplálási hőmérséklet értékét) a membrán hőállósága határozza meg. [Fonyó, Fábry, 2004]

A folyamat hajtóereje a betáplálási folyadékoldal és a permeátumoldal közti gőznyomáskülönbség. A parciális nyomás-különbség létesítésében a betáplált folyadékelegy melegítése mellett a permeátum oldali gőznyomás csökkentése játszik fő szerepet, melyet vákuummal, vagy inert gázárammal biztosítanak. [Bélafi-Bakó et al., 2002] A folyamat csak addig tartana, amíg ebben a gőztérben a gőznyomás el nem éri az adott komponens aktuális hőmérsékleten kialakuló egyensúlyi gőznyomását, de az átjutó gőzök folyamatos eltávolításával, vákuummal vagy inert gázárammal (pl. levegővel), a művelet folytonossá tehető. [Bartos et al., 2009]

Meghatározó tényező a komponensek illékonysága. Általában a legillékonyabb komponens koncentrálódik a permeátumoldalon. [Wijmans et al., 1994]

2.2.2. Pervaporációs membrán

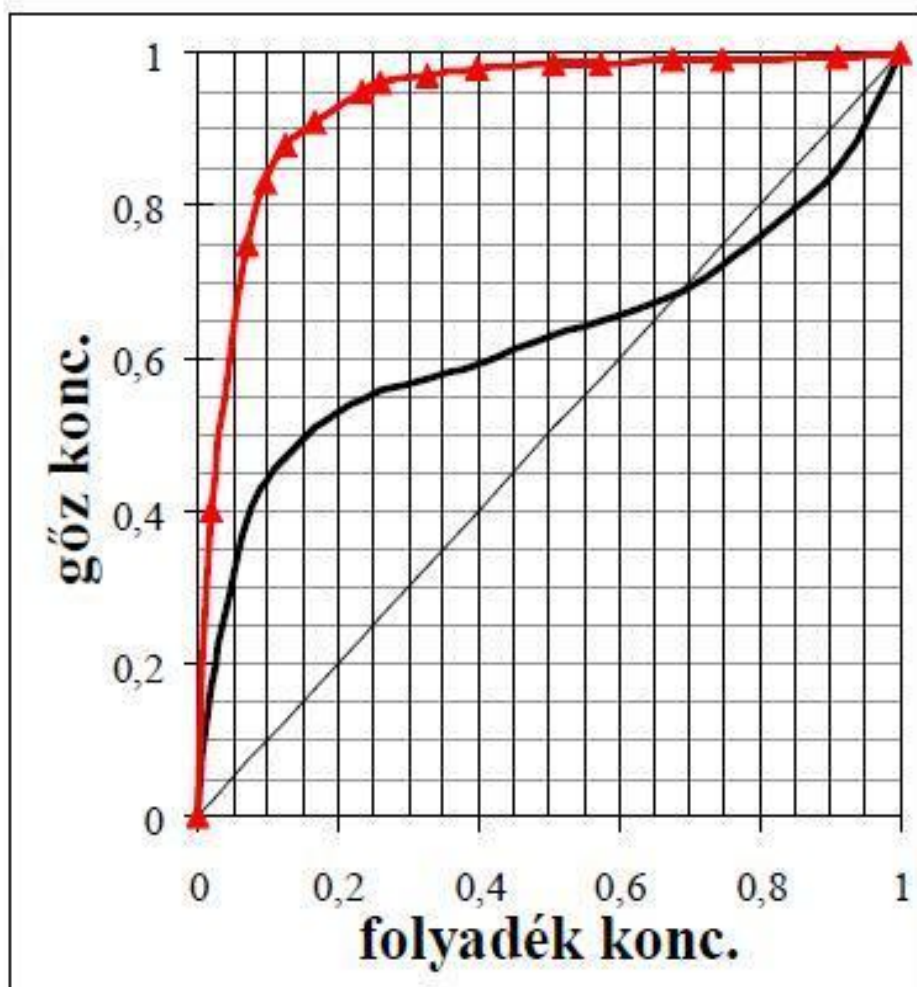
Maga a pervaporációs membrán nem porózus anyagú, tehát makroszkópikus pórusokat nem tartalmazó membrán, mely lehet hidrofil vagy organofil tulajdonságú a kiválasztandó komponensek affinitásától függően. A hidrofil esetén a víz diffúziója gyors, az organofil vagy hidrofób esetében pedig a szerves komponensek diffúziója gyors, a vízé pedig lassú.

Pervaporációra 0,1 vagy néhány μm vastagságú, üvegszerű (amorf) vagy elasztikus felsőrétegű membránokat alkalmaznak. Előbbiek elsősorban a vizet és a kisebb folyadékmolekulákat engedik át, utóbbiak pedig inkább a szerves molekulákkal lépnek kölcsönhatásba. További típusaik az ion-cserélő membránok és a kerámia membránok.

Leggyakoribb alapanyagként polidimetil-sziloxánt (PDMS), polivinil-alkoholt (PVA) és poliakrilnitrilt (PAN) használnak. [Márki, 2002]

A pervaporációs membrán jellemzője az egyensúlyeltoló hatás. Az egyensúlyi diagramon (8. ábra) az egyensúlyi görbe eltolódhat nagy távolságra az átlótól. Így eltűnhet az azeotropos pont.

Az ábrán fekete színnel jelölt görbe mutatja a gőz-folyadék egyensúlyt, piros színnel jelölt görbe pedig az egyensúlyt a pervaporációs membránban.



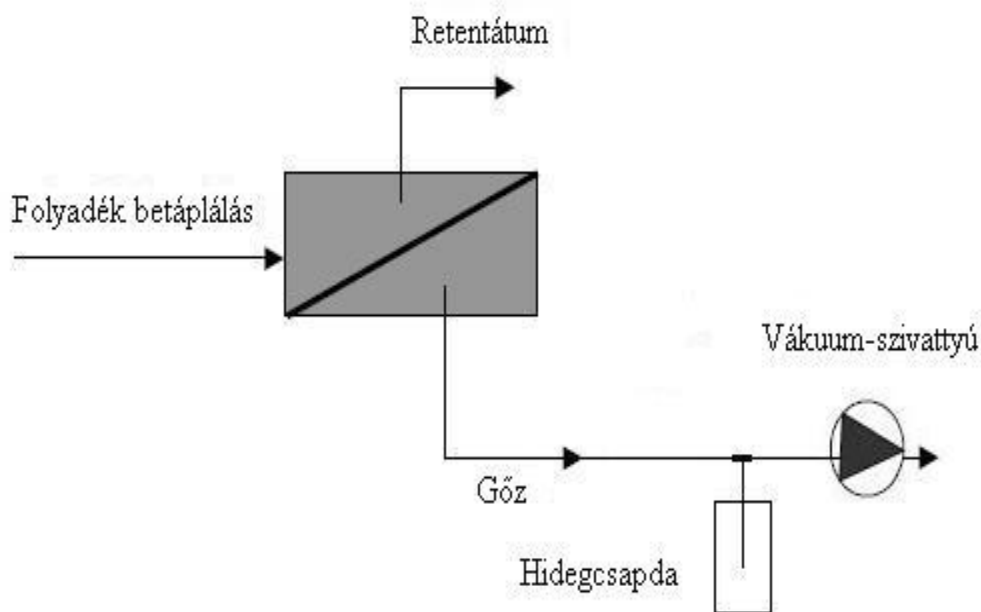
8. ábra A pervaporációs membrán egyensúlyeltoló hatása

2.2.3. A pervaporáció típusai

A permeátum gázoldalról történő eltávolítása megvalósítható vákuum- illetve vivőgáz alkalmazásának segítségével. Ez alapján megkülönböztetünk vákuum-pervaporációt és vivőgázos pervaporációt.

1. Vákuum-pervaporáció

Vákuum-pervaporáció esetén a betáplált oldatot a membrán felületén keringetik viszonylag magas hőmérsékleten, forráspont alatt. Az alkalmazott hőfok függ a membrán érzékenységétől. A membránon átdiffundált gőzöket a standard légnyomásnál alacsonyabb nyomást alkalmazva távolítják el vákuum-szivattyú segítségével, majd lekondenzáltatják őket. Ennek elérésére, hidegcsapdaként, folyékony nitrogén alkalmazható, melynek hőmérséklete $-192\text{ }^{\circ}\text{C}$. [Békássy-Molnár, Vatai, 2006] A nem kondenzálható gázokat a vákuum-szivattyú folyamatosan eltávolítja. Folyamatát a 9. ábra szemlélteti.

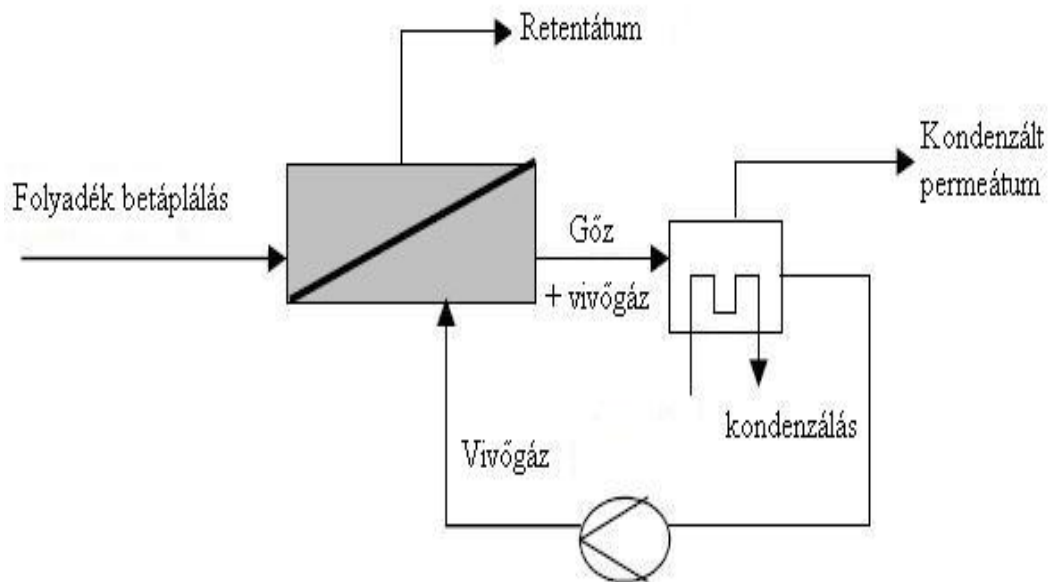


9. ábra Vákuum-pervaporáció sematikus folyamatábrája

2. Vivőgázos pervaporáció

Az előzőekben leírtaknak megfelelően a különbség a vivőgázos és az előbb említett vákuum-pervaporáció közt, a membránon áthaladó gőzök eltávolításának módjában van. A kilépő gőzöket a membrán permeátum oldali részében inert gázok cirkuláltatásával juttatják el a hűtőcsapdához, ahol lekondenzál. A vivőgázos megoldás előnye, hogy a kondenzáció nyomása a hidegcsapdában közel atmoszférikus, míg a vákuum-pervaporáció esetében ez igen alacsony

(1-10 %-a a légköri nyomásnak), ami nehézségeket okozhat az illékony komponensek kondenzálásánál, különösképp az organofil pervaporáció esetében. [Békássy-Molnár, Vatai, 2006]
Folyamata a 10. ábrán látható.



10. ábra Vivőgázos pervaporáció sematikus folyamatábrája

2.2.4. A pervaporációs eljárás alkalmazási területei és előnyei:

- azeotróp elegyek szétválasztása adalékanyagok nélkül
- kis víztartalmú szerves oldószerek víztelenítése (abszolút alkohol előállítás)
- kis szervesanyag tartalmú víz oldószermentesítése
- nagyon közeli forráspontú, kis relatív illékonyágú szerves oldószerek szétválasztása
- anyagkímélő: forráspont alatti hőmérsékleten megy végbe; hideg művelet
- energiatakarékos művelet, kb. ötödannyi energia szükséges, mint a hagyományos azeotróp-desztilláció esetén
- környezetbarát művelet, nem igényli idegen szerves vegyület alkalmazását segédanyagként
- nagy tisztaságú termék állítható elő egy lépésben [Molina, 2003]

2.2.5. A pervaporációt jellemző mutatók

1. Fluxus: egységnyi idő alatt egységnyi felületen áthaladó tömeg

A pervaporációs fluxus a membránon keresztül általában kicsi, ezért a pervaporáció akkor lesz gazdaságos, ha a kinyerni kívánt komponens kis koncentrációban van jelen a kiindulási elegyben. [Márki, 2002]

$$J = \frac{m}{A \cdot \tau}$$

J – a permeátum fluxusa (kg/(m²h))

m – az adott idő alatt keletkező permeátum tömege (kg)

A – a membrán felülete (m²)

τ – idő (h)

2. Szelektivitás: a membrán szeparációs hatásfoka egy komponensre nézve (milyen mértékben dúsul fel a permeátumban az adott komponens)

$$\beta = \frac{C_P}{C_F}$$

β – a membrán szelektivitása

C_P – az adott komponens koncentrációja a permeátumban (tömeg%)

C_F – az adott komponens koncentrációja a betáplálási elegyben (tömeg%)

3. Szétválasztási tényező: két komponens szelektivitási aránya, vagyis, hogy a membrán milyen hatékonysággal képes két komponens szétválasztására

$$\alpha = \frac{C_P(100 - C_F)}{C_F(100 - C_P)}$$

α – szétválasztási tényező

4. Pervaporációs Szeparációs Index (PSI): Olyan mutatószám, amely függ egy adott membrán szétválasztó- és áteresztőképességétől. A legnagyobb értéke mutatja meg az optimális üzemeltetési paramétereket. [Hornyák, 2008]

$$PSI = J \cdot \alpha$$

5. Aktiválási energia: a fluxus hőmérsékletfüggése Arrhenius-típusú egyenlettel írható fel:

$$J = J_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}, \quad \text{ahonnan} \quad \ln J = \ln J_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T}$$

J_0 – elő-exponenciális faktor

(elméleti érték végtelen hajtóerő esetén) (kg/(m²h))

E_a – aktiválási energia (J/mol)

R – egyetemes gázállandó, (8,314 J/(mol×K))

T – hőmérséklet (K)

2.3. Az ananász



11. ábra Ananas comosus

Az ananásztermés a 11. ábrán látható.

Közép- és Dél-Amerika bennszülött népei, de különösen az indiánok régóta ismerik és nagyon szeretik. Napjainkban Amerikán kívül a Nyugat-Indiai-szigetek, Tajvan, Malaysia, Hawaii és Dél-Afrika szállítja a legtöbb ananászt.

Levelei akár a 120 cm-t is elérhetik. Füzérvirágzata száznál több fehér vagy világos ibolyaszínű virágból épül fel. A virágzati tengelyen sűrűn álló bogyótermések pikkelyszerűen helyezkednek el. A pikkelyes héj alatt kemény, lédús hús található, mely fehér vagy sárga, savanykás-édes, illatos. [Velich, Nagy, 2005; Velich, Nagy, 2007]

A teljesen érett termés nagyon ízletes húsát a héj eltávolítása után nyersen, gyümölcsként vagy salátaként fogyasztják. Befőtt, lekvár, zselé illetve lé készül belőle, karikára vágva és megszáritva pedig aszalt gyümölcs. A léből bor és ecet is készíthető. Mivel fehérjebontó enzimet (bromelint) tartalmaz, tejes és zselatinos ételekben nem használható, a hús viszont puhábbá válik tőle. [Nowak, 2002]

Az enzim segíthet az emésztésszavarban szenvedőkön (a gyümölcsből kinyerve gyógyszerként alkalmazzák), illetve a gyümölcs savai és rostjai is hozzájárulnak az egészséges emésztéshez. Ezen kívül csökkentheti a káros LDL-koleszterinszintet, javítva ezzel a keringést. Serkentő hatású lehet az anyagcserére, valamint szerepet játszhat az immunrendszer aktív működésében. Az ananász számos vitaminban (A, C, B), vasban és magnéziumban is gazdag.

Külsőleg gyulladt felületek kezelésére és műtétek utáni sebödémák kialakulásának megelőzésére lehet alkalmas.

Fogyókúrázók körében is népszerű az ananász és az ananászlé fogyasztása, mert elősegíti a zsírégetést.

HRGC-MS analízissel megállapították, hogy a frissen vágott ananász gyümölcs több mint 130 aroma összetevői közül a túlsúlyban lévő észterei, mint fő aroma összetevők, a következők:

Metil-2-metilbutanoát, Metil-3-(metiltio)-propanoát, Metil-butanoát, Metil-hexanoát, Etil-hexanoát, Etil-3-(metiltio)-propanoát, 2,5-dimetil-4-metoxi-3(2H)-furanon, 2,5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanon (furaneol) [Elss et al., 2005]

Az ananász fő aromakomponensei közül a szakirodalomra támaszkodva olyan komponenseket választottam, melyek a legnagyobb arányban találhatók meg a gyümölcsben.

3. A munka célja

Szakdolgozatom célja három jellemző ananászaroma vákuum-pervaporációs eljárással történő kinyerése volt négy különböző hőmérsékleten, azonos térfogatáramok és azonos koncentrációk mellett. Kiindulási elegyként minden esetben a három, szakirodalom alapján ([Els et al., 2005]) kiválasztott aromakomponens és ioncserélt víz modelloldatát alkalmaztam. Az aromakomponensek kinyerhetőségének vizsgálata mellett célom volt a hőmérséklet folyamatra gyakorolt hatásának megfigyelése is.

Ennek alapján célul tűztem ki:

- Laboratóriumi kísérleti berendezésen végzett mérések segítségével, a pervaporáció szétválasztási mechanizmusára jellemző olyan mutatók meghatározását, mint a fluxusok (teljes fluxusok, szerves fluxusok, vízfluxusok), a szétválasztási tényezők (α), az aktiválási energiák (E_a) és a Pervaporációs Szeparációs Indexek (PSI).
- A hőmérséklet szétválasztást leíró jellemzőkre való hatásának vizsgálatát, és a köztük lévő összefüggések megállapítását.
- Mindezek alapján a membrán alkalmasságának vizsgálatát a választott aromaelegyek szétválasztására.
- A kapott eredmények kiértékelését, magyarázatok, észrevételek és javaslatok megfogalmazását.

4. Anyagok és módszerek

4.1. Kísérleti anyagok

4.1.1. Aromák

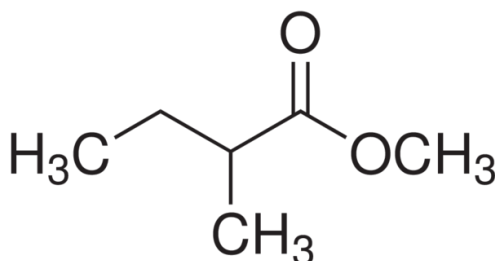
A kiválasztott aromakomponensek szerkezeti képlete és tulajdonságai

[Sigma-Aldrich Co. LLC., <http://www.sigmaaldrich.com/hungary.html> , 2012]

Az aromavegyületek kiválasztását erősen korlátozta vízben való oldhatóságuk. A legtöbb komponens oldhatósága 1 ppm alatti, mely érték reprodukálhatósága nehéz.

Metil-2-metilbutanoát

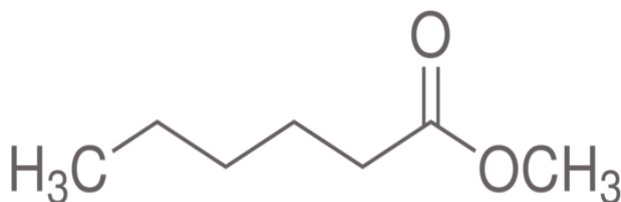
A majdnem színtelen édes, gyümölcsös, alma illatú folyadék alkoholban és a legtöbb olajban oldódik, de vízben való oldhatósága nagyon kicsi. Szerkezeti képlete a 12. ábrán látható.



12. ábra Metil-2-metilbutanoát szerkezeti képlete

Metil-hexanoát

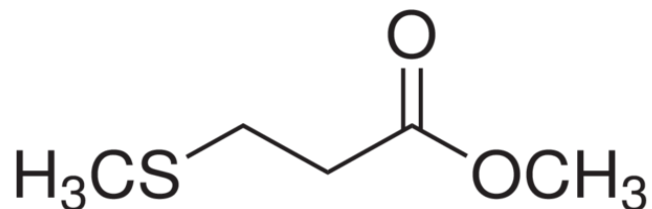
A színtelentől halvány sárgáig terjedő színű folyadék kifejezett ananász aroma, mely propilén glikolban, növényi olajokban oldódik, vízben azonban nagyon kis oldhatóságú. Szerkezeti képletét a 13. ábra mutatja.



13. ábra Metil-hexanoát szerkezeti képlete

Metil-3-(metiltio)propionát

Színtelentől a halvány sárgáig terjedő színű, hagyma illatú folyadék, mely vízben nagyon csekély mértékben, alkoholban viszont oldódik. Szerkezeti képlete a 14. ábrán látható.



14. ábra Metil-3-(metiltio)propionát

Az aromák tulajdonságait a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: A választott aromakomponensek tulajdonságai

	<u>Összegképlet</u>	<u>Molekula- tömeg (g/mol)</u>	<u>Forráspont (°C)</u>	<u>Lobbanáspont (°C, zárttéri)</u>	<u>Sűrűség (25 °C) (g/cm³)</u>
Metil-2- metilbutanoát	$C_6H_{12}O_2$	116,16	115	32	0,88
Metil-hexanoát	$C_7H_{14}O_2$	130,18	151	43	0,885
Metil-3- (metiltio)propionát	$C_5H_{10}O_2S$	134,19	74-75 (17 hPa)	72	1,077

4.1.2. Kísérleti modell elegyek

Elss et al. [2005] tanulmányban leírt eredmények alapján készítettem el a modelloldatokat. Mindhárom esetben az előbb említett cikkben meghatározott koncentráció tartományok felső határából indultam ki, melyek a 3. táblázatban láthatók:

3. táblázat: Az aromakomponensek koncentrációi ananászlevelekben

<u>Aroma komponens</u>	<u>Koncentráció tartományok különböző fajtájú és különböző régiókból származó ananászból frissen facsart levelekben ($\mu\text{g/l}$)</u>
Metil-2-metilbutanoát	160–6000
Metil-hexanoát	15–3800
Metil-3-(metiltio)propionát	40–7100

Az egyes anyagok sűrűségének segítségével kiszámítottam a felső határokat ppm vagyis $\mu\text{l/l}$ értékét. Mivel a pervaporációs berendezés táptartályába adagolt elegyem minden esetben 5 liter volt, ezért a korábbi értékeket $\mu\text{l/5 l}$ -re számítottam át, majd ezek dupláját vettem, az egymáshoz viszonyított arányukat megtartva. (4. táblázat)

4. táblázat: Az aromakomponensek bemért mennyisége

<u>Aroma komponens</u>	<u>Bemért anyagmennyiség ($\mu\text{l/5 l}$)</u>
Metil-2-metilbutanoát	70
Metil-hexanoát	44
Metil-3-(metiltio)propionát	66

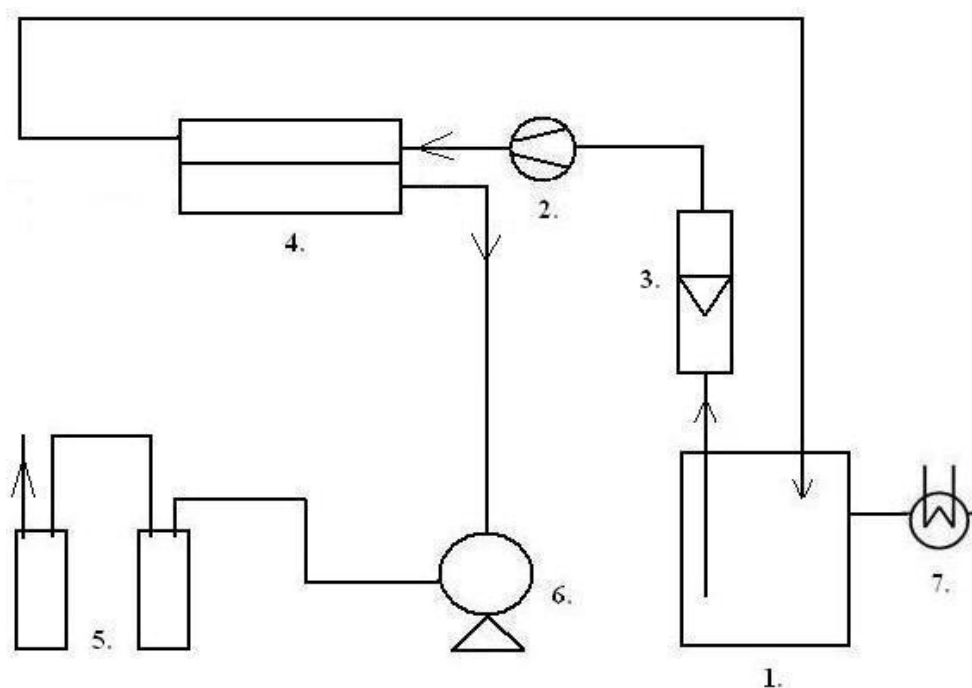
4.2. Kísérleti berendezések és körülmények

4.2.1. Pervaporációs berendezés

Kísérleteket a 15. és 16. ábrán látható vákuum-pervaporációs berendezésen végeztem.



15. ábra Vákuum-pervaporációs berendezés



16. ábra Vákuum-pervaporációs rendszer vázlata

A 16. ábrán látható a berendezés vázlata: 1. Táptartály, 2. Folyadékszivattyú, 3. Rotaméter, 4. Membránmodul, 5. Hidegsapdák, 6. Vákuum-szivattyú, 7. Termosztát

A termosztát által melegített elegyet a táptartályból rotaméteren keresztül centrifugál-szivattyú viszi rá a membrán egyik oldalára, majd vákuum-szivattyú távolítja el a gőzöket a membrán másik oldaláról, melyek aztán a két hűtőcsapdában kondenzálódnak. Az alkalmazott membrán a kereskedelmi forgalomban kapható Pervap 4060 típusú, PDMS, 131 cm^2 felületű organofil membrán volt.

4.2.2. Gázkromatográf

Vizes oldatok szervesanyag-tartalmának nagy pontosságú meghatározásához elterjedten alkalmazzák a gázkromatográfiát.

A kromatográfus eljárások célja, hogy összetett elegyek komponenseit szétválassza. Termikusan stabil, illékony, szerves és szervetlen vegyületek elválasztására szolgáló eljárás.

A mozgófázis (vivőgáz) gáz, az állófázis lehet szilárd (gáz-szilárd kromatográfia), vagy folyadék (gáz-folyadék kromatográfia) halmazállapotú. A többi kromatográfias eljárással szemben az inert vivőgáz nem lép kölcsönhatásba a mintával. A gázkromatográfban (GC) működés közben állandóan áramlik a vivőgáz, amely képes a gőz állapotú komponenseket - amelyeket egy adott pillanatban a mintaadagolóba juttatunk és elpárologtatunk- áthajtani az oszlopon/kolonnán (mely az elválasztást végzi), és eljuttatni az oszlop végéhez csatlakozó detektorba.

Az elválasztás folyamata hasonló, mint a többi kromatográfias eljárásoknál. Ha megfelelően választjuk meg a kromatográfias körülményeket a minta komponensei külön sávokban fokozatosan elkülönülnek a mozgófázisban, és a szétválasztott komponensek az állófázissal történő kölcsönhatásuk erősségének fordított sorrendjében fogják elhagyni a rendszert.

A kromatográfias elválasztást befolyásoló tényezők: a mozgófázis minősége és sebessége, a hőmérséklet, az oszlop hossza és belső átmérője, az állófázis típusa és vastagsága.

A detektor jelzi a szétválasztott komponenseket, valamilyen fizikai vagy kémiai tulajdonságuk mérésével. A detektor által előállított és továbbított jel lehetővé teszi az elválasztott komponensek azonosítását (kvalitatív analízis) és mennyiségük meghatározását (kvantitatív analízis). Az elválasztott komponensek detektorjel-idő függvényét kromatogramnak nevezzük. A kromatogram fő jellemzői a retenciós idő (t_R), amely a minta adagolásától az illető alkotó maximális koncentrációjának megjelenéséig eltelt idő, és a csúcs alatti terület. Az előbbi minőségi, az utóbbi mennyiségi információt szolgáltat.

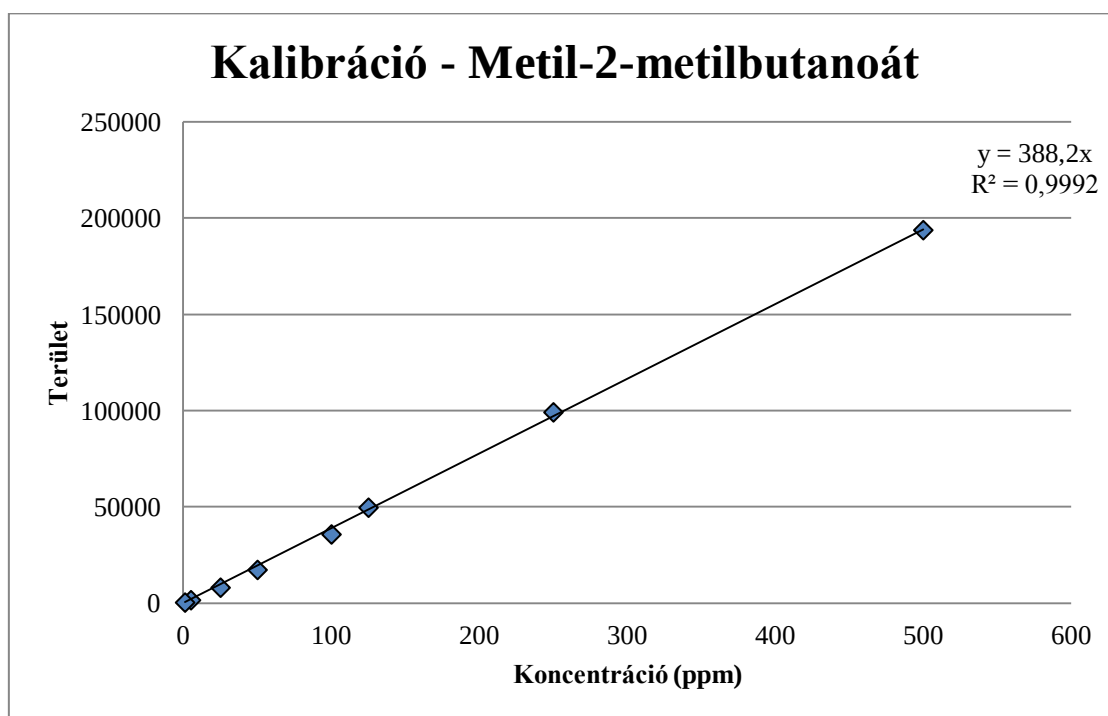
[<http://ttk.pte.hu/analitika/letoltesek/jegyzet/ch07s02.html>, 2012]

4.2.3. A kísérlet menete:

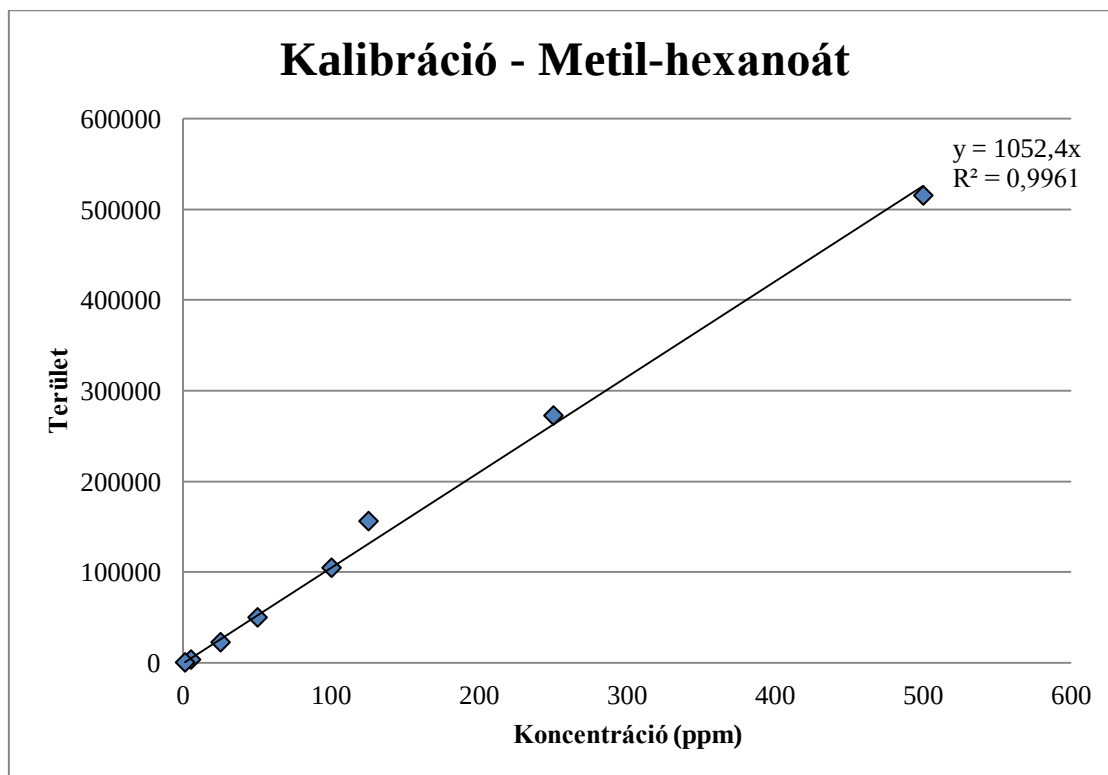
Koncentrációmérés:

Méréseim során az elegyek aroma-koncentrációját az Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszéken található HP 5890 Series II típusú gázkromatográf segítségével határoztam meg, melynek mozgófázisa hélium volt. A mérések megkezdése előtt kalibrációt végeztem. Nyolctagú hígítási sort készítettem mind a három aromakomponens esetében, melynek segítségével nyolc pontos kalibrációs egyenest tudtam felvenni. Az egyenesek egyenletének felhasználásával tudtam később kiszámítani az egyes komponensek koncentrációját a permeátumban. Ezen túl a retenciósidőket is meg tudtam határozni.

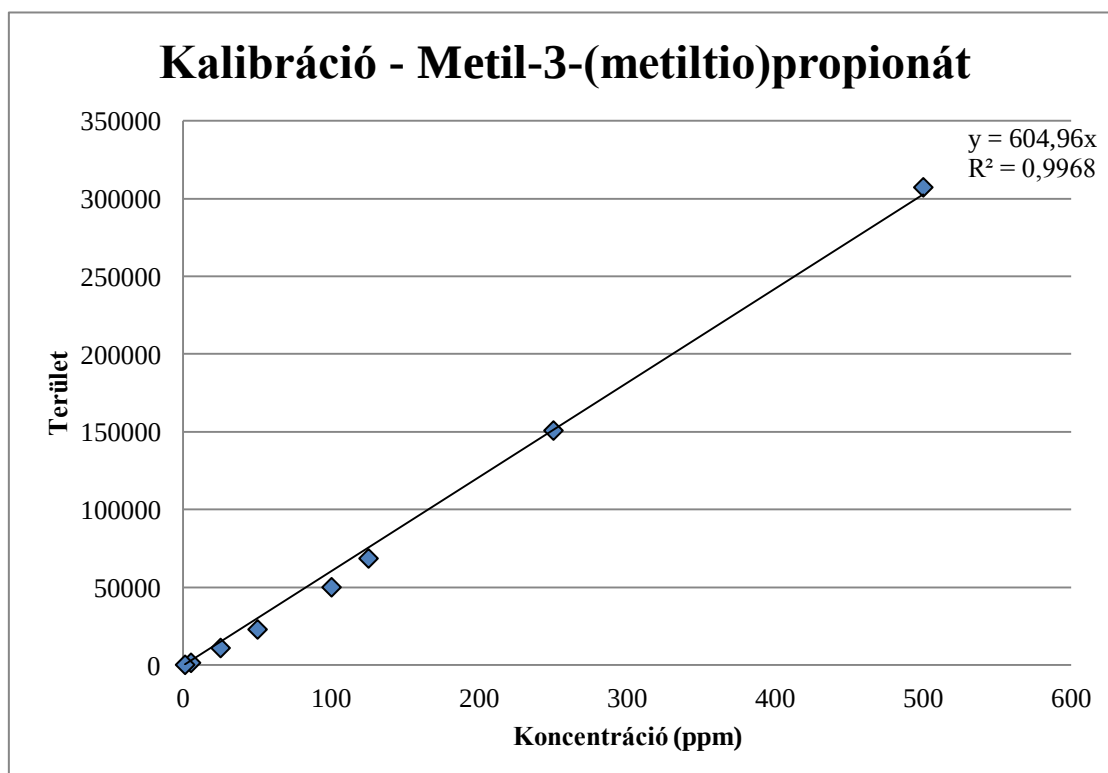
A 17-19. ábrán láthatók a kalibrációs egyenesek.



17. ábra Gázkromatográfiás kalibrációs egyenes – Metil-2-metilbutanoát



18. ábra Gázkromatográfiás kalibrációs egyenes – Metil-hexanoát



19. ábra Gázkromatográfiás kalibrációs egyenes – Metil-3-(metiltio)propionát

A mérés menete:

A méréshez szükséges 5 liter desztillált vizet kimértem mérőhenger segítségével, majd ebből feltöltöttem egy kis térfogatú mintatartó üveget úgy, hogy abban minél kisebb gőztér maradjon, a maradékot pedig a fűthető táptartályba öntöttem.

Az aromákat kivettem a hűtőszekrényből, hogy szobahőmérsékletre melegedjenek mire bemérésre kerül sor.

A folyadékszivattyú bekapcsolásával keringtetni kezdtem a vizet a pervaporációs berendezésben, ezzel egyidejűleg a termosztátot is beindítottam. Miután a fluidum hőmérséklete állandósult a választott hőfokon, rotaméter segítségével beállítottam a 200 l/h térfogatáramot. A szakirodalomban [Aroujalian, Raisi, 2007] található vizsgálatok alapján ez a paraméter nem befolyásolja szignifikánsan a szétválasztás hatékonyságát. Az általam vizsgált 4 hőmérséklet 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C volt. Minden hőmérsékleten kétszer végeztem el a mérést és minden mérés előtt és után desztillált vízzel alaposan átmostam a berendezést.

A mintatartó üvegcsébe mért desztillált vízhez mértem az aromákat. A beméréshez 10-100 µl-es automata pipettát használtam. Az aromák illékonysága miatt fontos, hogy ez a lépés minél rövidebb idő alatt történjen meg, illetve műanyag zárókupakot használtam a párolgás elkerülésének érdekében.

Néhány percnyi várakozás után az aromákat tartalmazó elegyet műanyag tölcser segítségével a táptartályba öntöttem és öt percig keringtettem, hogy beálljon az állandósult állapot.

Ezalatt megmértem a hűtőcsapdába kerülő üres gömblombikok tömegét táramérlegen, majd a hidegcsapdaként használt Dewar-edényekbe helyeztem őket. Az edényekbe folyékony nitrogént töltöttem. A nagyobb permeátum mennyiség elérése érdekében, két hűtőcsapdát alkalmaztam egyidejűleg, sorba kötve.

A kísérletet a vákuum-szivattyú bekapcsolásával indítottam el (300 mbar). A mérések időtartama minden esetben két óra volt, ami alatt végig figyeltem, hogy a kondenzálódó fluidum ne fagyjon be az üvegcsövekbe. Eközben a gázkromatográf bekapcsolásával megkezdtem a mintaanalízis előkészületeit.

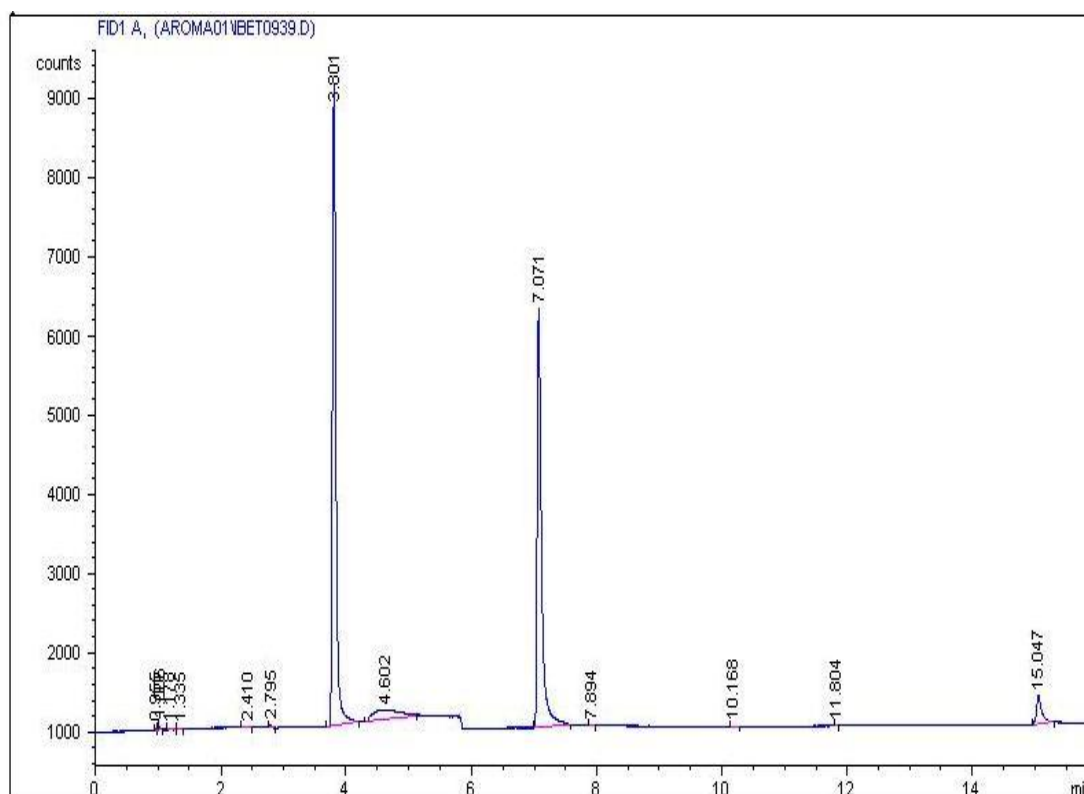
Két óra elteltével leállítottam a szivattyúkat, lezárva ezzel a mérést.

A lombikokat állvánnyal együtt kiemeltam a Dewar-edényekből és hagytam őket szobahőmérsékleten felmelegedni. A térfogatváltozás miatt a lombikokat nem túl szorosan, gumidugóval zártam le.

Mikor a minták teljesen felolvadtak, lemértem a lombikok tömegét a permeátummal együtt. Így számítható volt az összes permeátum tömege. A két lombik tartalmát összeöntöttem és főzőpohár segítségével mintatartó üvegcsébe töltöttem, majd légmentesen lezártam.

A minták kiértékelésével mindaddig vártam, míg azok fel nem vették a GC-labor hőmérsékletét. Ezután 1 µl mintát injektáltam a gázkromatográfba és minden mérést háromszor ismételttem.

Az egyes aromakomponenseket jelentő csúcsok alatti területek leolvashatók voltak ismerve a retenciós időket (20. ábra) melyekből a kalibrációs egyenesek egyenleteinek segítségével számítható volt koncentrációjuk és a többi, műveletet jellemző mutató.



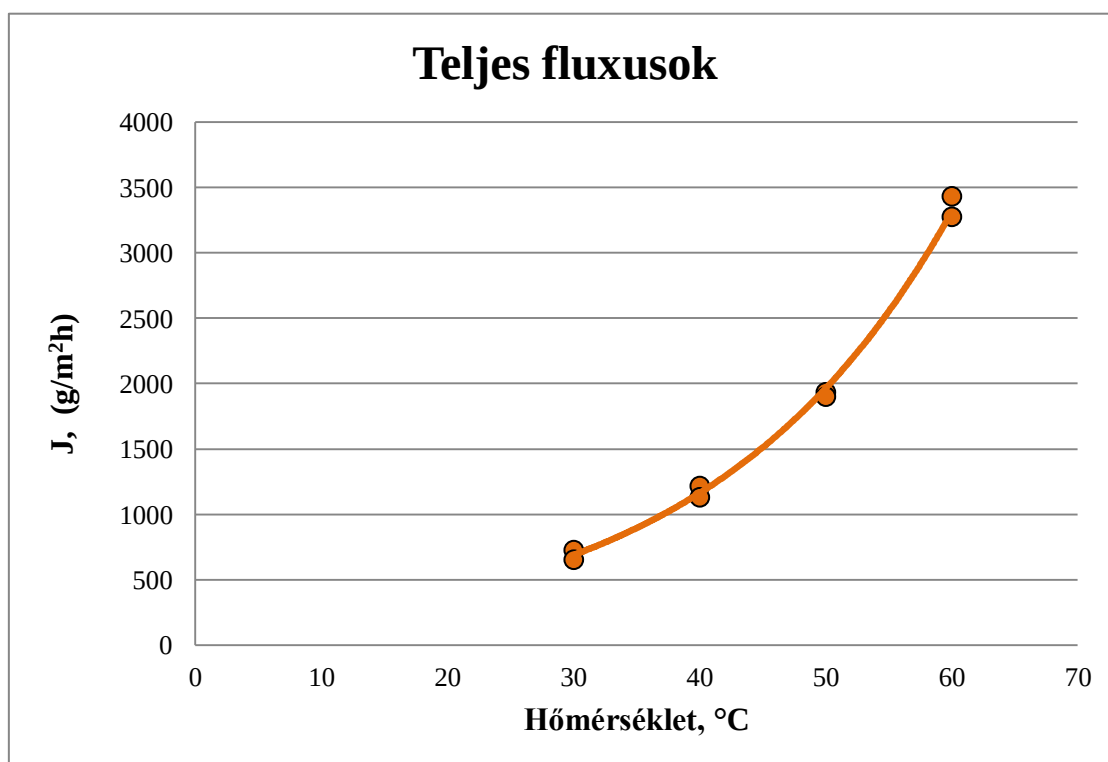
20. ábra A három aromakomponenst ábrázoló kromatogram

Retenciós idők: **3,801 - Metil-2-metilbutanoát**
 7,071 - Metil-hexanoát
 15,047 - Metil-3-(metiltio)propionát

5. Kísérleti eredmények és az eredmények értékelése

5.1. Fluxusok meghatározása

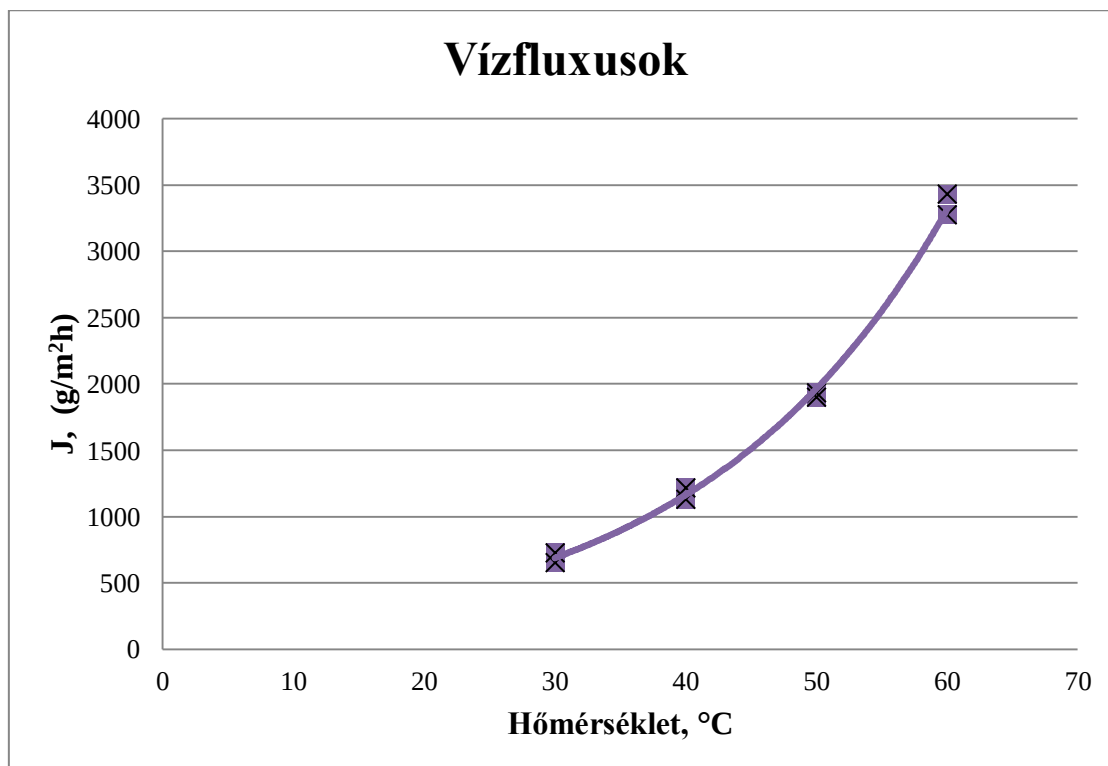
Elsőként a teljes fluxusokat számoltam ki, a kísérletek végén mért permeátum tömegekből, a már előzőekben ismertetett fluxus képlet segítségével. A kísérleteket minden hőmérsékleten kétszer ismételttem. A $\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$ -ban kapott fluxusokat a hőmérsékletek függvényében ábrázolva a 21. ábrán látható diagramot kaptam.



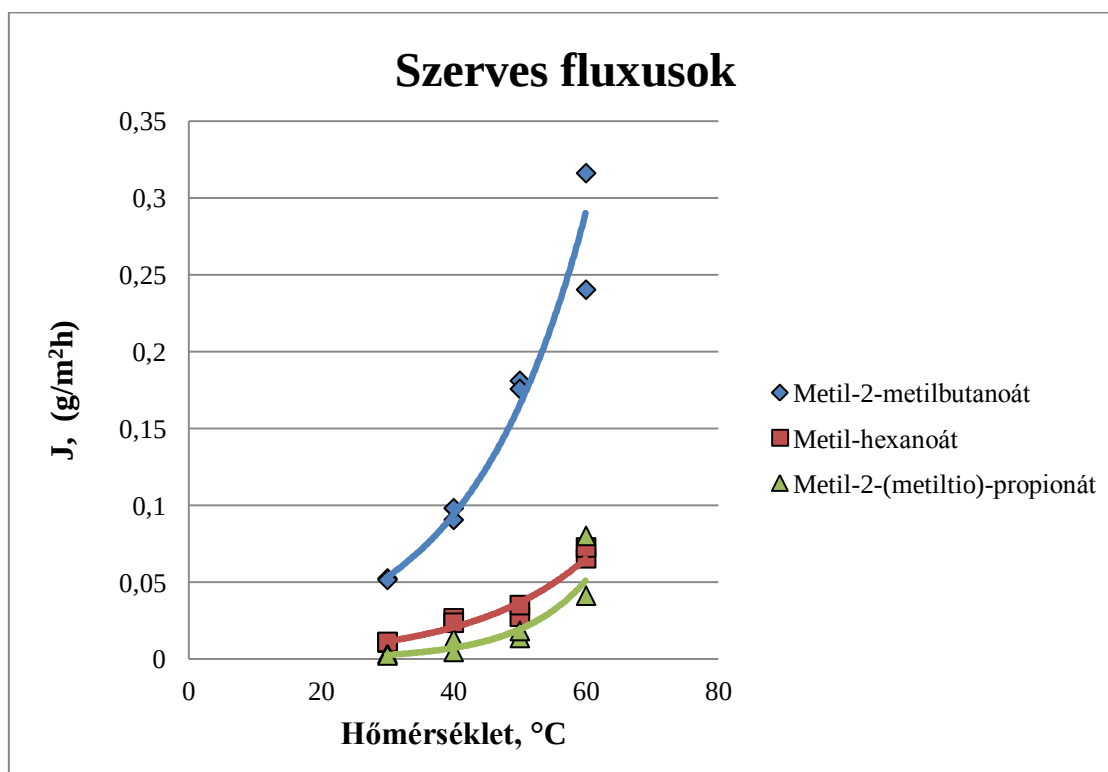
21. ábra Teljes fluxus értékek változása a hőmérséklet függvényében

A diagramon egyértelműen látszik, hogy a hőmérséklet növelésével a fluxus értékek exponenciálisan nőnek, követve a szakirodalomban közölt Arrhenius-egyenletet.

Mindez jól megfigyelhető a víz- és a szerves fluxusok hőmérsékletfüggését ábrázoló diagramok esetén is. (22., 23. ábra)



22. ábra Vízfluxus értékek változása a hőmérséklet függvényében



23. ábra Szerves fluxus értékek változása a hőmérséklet függvényében

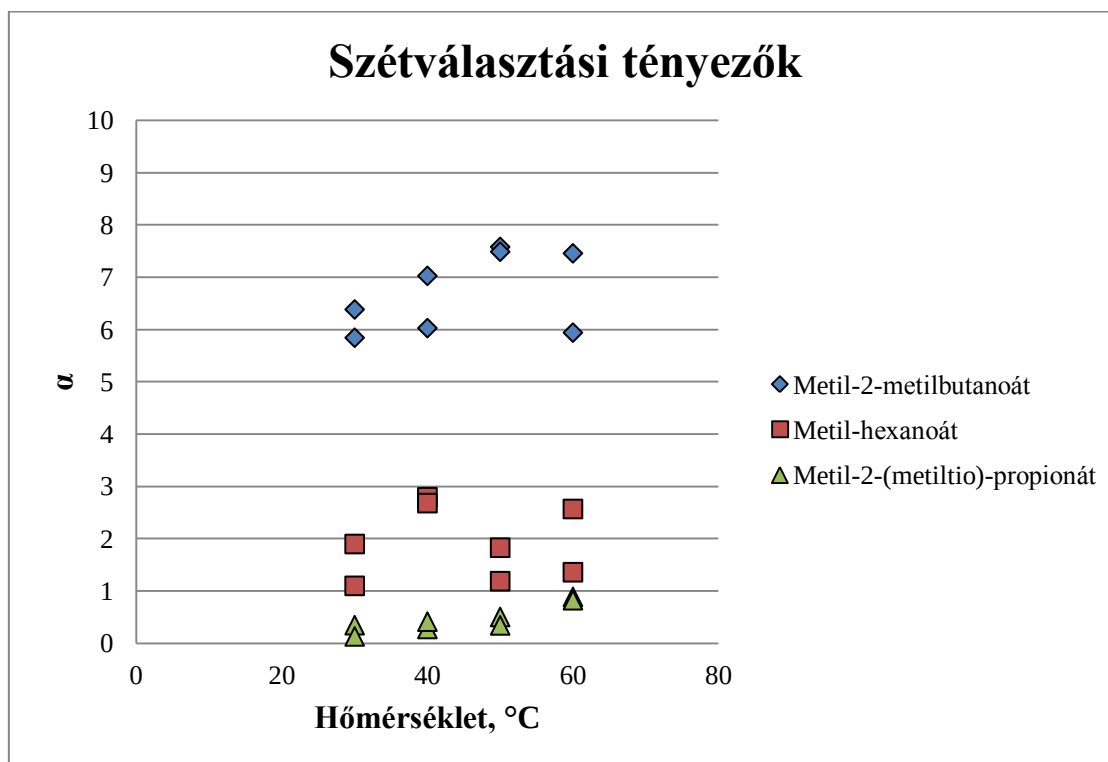
Mindhárom ananász-aromakomponens esetében a legnagyobb fluxusokat 60°C-on értem el. Közülük is a Metil-2-metilbutanoát fluxusai voltak a legnagyobbak, melyek átlagértéke 0,28 g/(m²h), míg ugyanezen a hőfokon a vízfluxusok átlagértéke 3354,6 g/(m²h) volt.

Az előzőek alapján megállapítható, hogy a kapott szerves fluxus értékekhez képest a Pervap 4060 típusú PDMS lapmembrán jelentős vízfluxussal rendelkezik.

5.2. Szétválasztási tényezők meghatározása

A szétválasztási tényező (α) azt fejezi ki, hogy a membrán milyen hatékonysággal képes két komponens szétválasztására, míg a szelektivitás (β) megmutatja, hogy milyen mértékben dúsul fel egy adott komponens a permeátumban. Mivel a kísérleteim során a kiindulási elegyben (5 liter) mindhárom aromakomponens igen kis koncentrációban (ppm) volt jelen, ezért a szétválasztási tényező és a szelektivitás gyakorlatilag megegyezett. Ez esetben a szétválasztási tényezők egyben a dúsítási arányokat is jelentették.

Az egyes komponensek szétválasztási tényezőinek hőmérsékletfüggését a 24. ábrán látható diagram mutatja.



24. ábra Szétválasztási tényezők hőmérsékletfüggése

A szétválasztási tényezőket a hőmérsékletek függvényében ábrázolva tendenciát nem mutató pontthalmazokat kaptam, így a diagram alapján nem vonható le egyértelmű következtetés a hőmérséklet szétválasztási tényezőre gyakorolt hatását illetően.

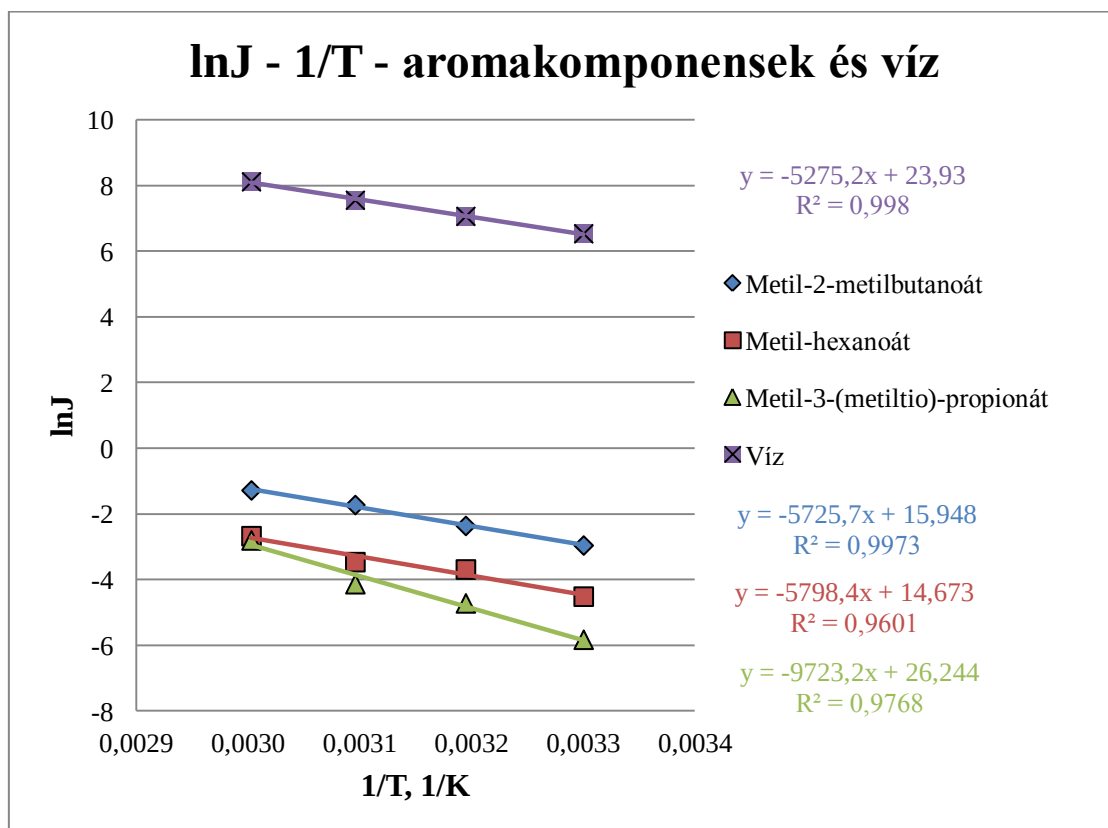
A kapott eredmények alapján mégis elmondható, hogy az alkalmazott membrán a három aromakomponens közül a Metil-2-metilbutanoátot választotta el a leghatékonyabban. Kiindulási koncentrációjához képest, mely 14 ppm volt, maximálisan 7,5-szeres dúsítást tudtam elérni. Ennél a Metil-hexanoát dúsítási arányai jóval alacsonyabbak voltak, kiindulási koncentrációját (8,8 ppm) legfeljebb 2,7-szeresére sikerült növelni. A Metil-3-(metiltio)-propionát koncentrációja a kiindulási elegyhez képest (13,2 ppm) alacsonyabb volt a permeátumban. Ez azt jelenti, hogy minden esetben egynél kisebb szétválasztási tényezőt kaptam, tehát a membrán szétválasztó hatékonysága erre a komponensre nézve kifejezetten rossz.

5.3. Aktiválási energiák meghatározása

Az anyagátadás folyamata jól jellemezhető az aktiválási energiával, mely az Arrhenius-egyenletről határozható meg.

A 25. ábrán látható diagramon a három aromakomponens és a vízfluxusok természetes alapú logaritmusát ábrázoltam az abszolút hőmérsékletek reciprokanak függvényében. (lásd 2.2.5. fejezet)

Az így kapott negatív meredekségű egyenesek egyenletei segítségével, melyek a diagramon láthatók, számíthatók az aktiválási energiák (5. táblázat). A meredekségek az aktiválási energiák és az egyetemes gázállandó ($8,314 \text{ J}/(\text{mol} \times \text{K})$) negatív hányadosai.



25. ábra lnJ - 1/T diagramok

5. táblázat A kísérletekben résztvevő komponensek aktiválási energiái

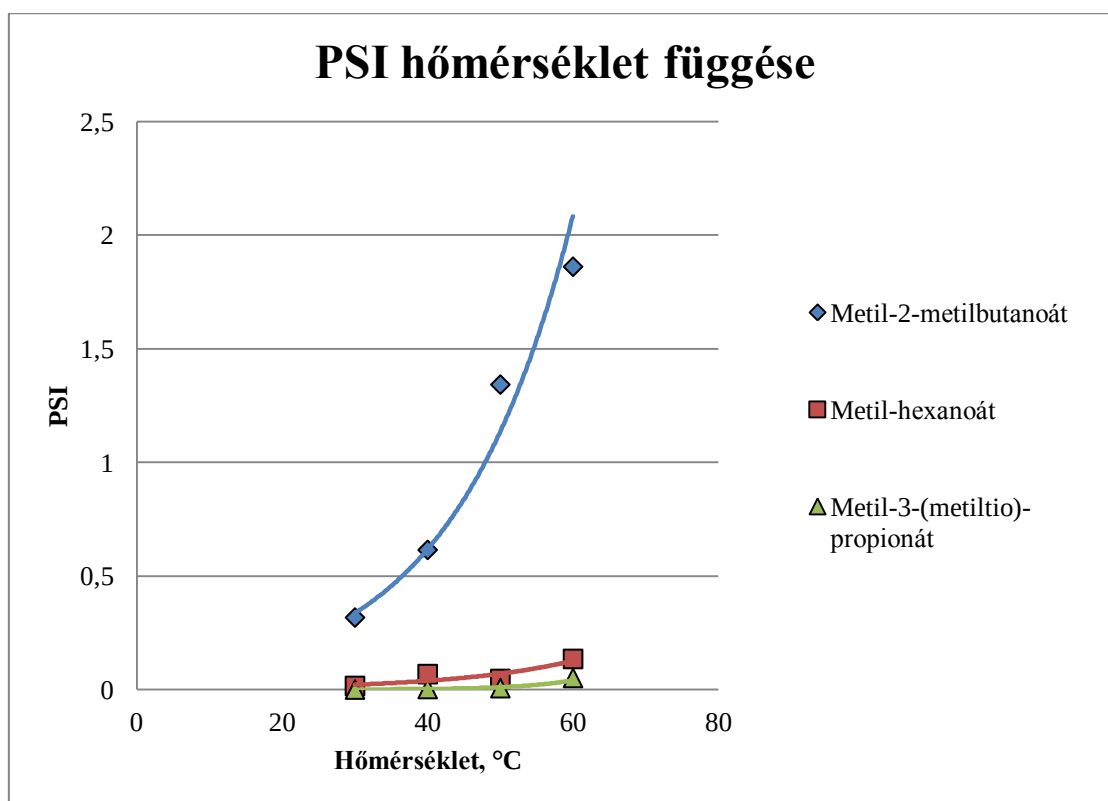
<i>Komponens</i>	<i>Aktiválási energia (kJ/mol)</i>
Víz	43,86
Metil-2-Metilbutanoát	47,60
Metil-hexanoát	48,21
Metil-3-(metiltio)propionát	80,84

Az 5. táblázat a kapott aktiválási energia értékek alapján felállított sorrendet mutatja. A legkisebb aktiválási energiával a víz (43,86 kJ/mol), a legnagyobb a Metil-3-(metiltio)propionát (80,84 kJ/mol) rendelkezik. Ha a membrán egyes komponensekre nézett szétválasztási hatékonyságát összehasonlítjuk a kapott eredményekkel, akkor azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az nagyobb mértékben engedte át a kisebb aktiválási energiával rendelkező vizet és Metil-2-metilbutanoátot, ami a szakirodalmi utalásoknak megfelel. Az egyes komponensek membránon való áthaladását nem csak azok aktiválási energiája, hanem az ezzel szorosan összefüggő kémia szerkezetük és membránban való oldhatóságuk is befolyásolja. Valószínűsíthető, hogy a metiltio-csoportot tartalmazó komponens oldhatósága és diffúziós állandója jóval kisebb, mint a többi vegyületé. A membránon való átjutást az anyagok fizikai és kémiai tulajdonságain kívül az egymásra való hatásuk is befolyásolhatja. Aromakomponensek elegyeinél pervaporáció esetén a tömegtranszport mechanizmusa jóval bonyolultabb, mint abban az egyszerű esetben, mikor egyetlen aromakomponens van jelen egy vizes oldatban. [Sampranpiboon et al., 2000]

5.4. Pervaporációs Szeparációs Index meghatározása

A Pervaporációs Szeparációs Index megmutatja az optimális üzemeltetési paramétereket (pl. térfogatáram, hőmérséklet, alkalmazott membrán, kiindulási koncentráció), és lehetővé teszi két különböző membrán hatékonyságának összehasonlítását.

Kísérleteim során a működési paraméterek közül csak a hőmérsékletet változtattam, a kiindulási koncentrációk, az alkalmazott térfogatáram és membrán minden esetben ugyanaz volt, ezért számomra a PSI csak a hőmérsékleti optimumra enged következtetni az adott kísérleti körülmények között. (26. ábra)



26. ábra PSI hőmérséklet függése

A kapott értékek azt mutatták, hogy mindhárom aromakomponens esetében a műveletileg optimális üzemeltetési hőmérséklet 60 °C volt az általam vizsgált tartományban.

5.6. További célok, javaslatok

- A mérések több kiindulási koncentrációval való elvégzése.
- Nagyobb szerves fluxussal rendelkező membrántípus vizsgálata az aromakomponensek kinyerésére.
- Egyéb ananászaroma-komponensek bevonása a kísérletbe.
- A másik pervaporáció-típus, a vivőgázias megoldás kipróbálása.
- A mérésorozat valódi, gyümölcslegyártásból származó kondenzvízzel való elvégzése.

6. Összefoglalás

Kísérleteim során az ananász három jellegzetes aromakomponensének vizes modelloldatokból való kinyerhetőségét vizsgáltam pervaporációval, négy különböző hőmérsékleten, azonos térfogatáram és azonos kiindulási koncentrációk mellett, kereskedelmi forgalomban kapható Pervap 4060 típusú organofil membrán alkalmazásával.

Az eredmények azt mutatták, hogy a hőmérséklet növelésével mind a víz, mind a szerves *fluxusok* az Arrhenius-egyenletet követve exponenciálisan növekszenek. Egyértelmű, hogy a membrán jelentős vízfluxussal rendelkezik és hogy az aromakomponensek közül a Metil-2-metilbutanoát fluxusa a legnagyobb minden vizsgált hőmérsékleten. A nagy vízfluxus a víz magas koncentrációjának az eredménye.

A kapott értékek alapján nem vonható le egyértelmű következtetés a hőmérséklet *szétválasztási tényezőre* gyakorolt hatását illetően, viszont megállapítható, hogy a membrán a Metil-2-metilbutanoátot választotta szét a leghatékonyabban.

A kapott *aktiválási energiák* alapján felállított sorrendet összehasonlítva a membrán egyes anyagokra nézett szétválasztási hatékonyságával, megállapítható, hogy a víz, melyet a legnagyobb mértékben engedett át a membrán, rendelkezett a legkisebb aktiválási energiával, a Metil-3-(metiltio)propionát pedig a legnagyobbval. Mivel az utóbbi koncentrációja a permeátumban minden esetben kisebb volt a kiindulási koncentrációjánál, egyértelműen kijelenthető, hogy az alkalmazott membrán (Pervap 4060) nem volt alkalmas annak szétválasztására.

Az anyagok membránon való átjutását jelentősen befolyásolja többek közt az aktiválási energiával szorosan összefüggő kémiai szerkezet, a membránban való oldhatóság és a jellemző diffúziós állandó. Ezek együttesen határozták meg a méréseim eredményeit és az egyes komponensek szétválasztásának hatékonyságát is.

A Metil-2-metilbutanoát és a Metil-hexanoát esetében a szétválasztás mindenképpen sikeresnek tekinthető, azonban az elért dúsítási arányok növelése valamint a pervaporációs folyamatot befolyásoló hatások és összefüggések meghatározásának érdekében mindenképpen további vizsgálatok szükségesek.

Irodalomjegyzék

1. Aroujalian, A., Raisi, A. 2007. Recovery of volatile aroma components from orange juice by pervaporation. *Journal of Membrane Science*, 303, 154–161.
2. Bagger-Jorgesen R., Meyer, S. A. et al. 2004. Recovery of volatile aroma compounds from black currant juice by vacuum membrane distillation. *Journal of Food Engineering*, 64, 23-31.
3. Bánvölgyi Sz. 2009. Feketeribiszike-lé és vörösbor besűritése integrált membránműveletek alkalmazásával. Doktori értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem.
4. Bartos E., Hornyák L., Márki E., Vatai Gy. 2009. Butanol kinyerése vizes oldatból laboratóriumi pervaporációs berendezésen. *Műszaki Kémiai Napok 2009. Konferencia Kiadvány*: 174-177. Veszprém.
5. Békássy-Molnár E., Vatai Gy. 2006. Complex membrane processes. Corvinus University of Budapest Faculty of Food Science. Budapest.
6. Bélafi-Bakó K., Dörmő N. et al. 2002. Application of pervaporation for removal of water produced during enzymatic esterification in ionic liquids, *Desalination* 149, 267-268.
7. Elss, S., Preston, C. et. al. 2005. Aroma profiles of pineapple fruit (*Ananas comosus* [L.]Merr.) and pineapple products. *LWT*. 38, 263–274.
8. Fogarassy E. 2012. Komplex membrántechnikai alkalmazás és modellezés kajszibaracklé feldolgozására. Doktori értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem.
9. Fonyó Zs., Fábry Gy. 2004. Vegyipari Művelettani Alapismeretek. Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest.
10. Hornyák L. 2008. Pervaporációs membránok alkalmazása aromakomponensek kinyerésére modelloldatokból. Diplomamunka. Budapesti Corvinus Egyetem.
11. Karlsson, H. O. E., Tragardh, G. 1997. Aroma Recovery During Beverage Processing. *Journal of Food Engineering* 34 159-178.
12. Márki E., 2002. Levegőtisztítás abszorpció és membránműveletek összekapcsolásával. Doktori értekezés. Szent István Egyetem.
13. Molina, J. M. 2003. Ipari szennyvizek tisztítása membránszűréssel és pervaporációval. Doktori értekezés. Budapesti Közgazdaságtudomány és Államigazgatási Egyetem.
14. Nowak, B. 2002. A trópusok gyümölcsei. Magyar Könyvklub. Budapest.
15. Nunes P. S., Peinemann K. V. (Szerk.) 2006. Membrane Technology in the Chemical Industry. Weinheim, Germany. Wiley-VCH.

16. Pannon Egyetem Mérnöki Kar. (2012.10.17.) <http://pr.mk.uni-pannon.hu/disszeminacio/optam.html>
17. Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Analitikai és Környezatkémiai Tanszék. (2012.10.17.) <http://ttk.pte.hu/analitika/letoltesek/jegyzet/ch07s02.html>
18. Perry, John H. 1969. Vegyészmérnökök kézikönyve. Műszaki könyvkiadó. Budapest.
19. Poling, B. E., Prausnitz, J.M., O'Connell, J.P. 2001. The properties of gases and liquids. McGRAW-HILL. New York.
20. Sampranpiboon, P., Jiratananon R. et al. 2000. Separation of aroma compounds from aqueous solutions by pervaporation using polyoctylmethyl siloxane (POMS) and polydimethyl siloxane (PDMS) membranes. Journal of Membrane Science, 174, 55-65.
21. Sigma-Aldrich Co. LLC. 2012. (2012.10.17.) <http://www.sigmaaldrich.com/hungary.html>
22. Tóth G. 2008.09.19. (2012.10.17.) <http://nyiregyhaza.kerak.hu/cikkek/index.php?page=cktart&ck=50>
23. Velich I., V. Nagy E. 2005. Délgyümölcsök. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
24. Velich I., V. Nagy E. 2007. Egzotikus gyümölcsök csodálatos világa. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
25. Wijmans, J.G., Baker, R.W., Athayde, A.L. 1994. Pervaporation: removal of organics from water and organic/organic separation, in Crespo, J.G., Bøddiker, K.W. 1994. Membrane Processes in Separation and Purification, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands
26. Wilke, C. R., Chang, P. 1955. Correlation of diffusion coefficients in dilute solutions. A. I. Ch. E. Journal 1(2), 264-270.