



SZENT ISTVÁN EGYETEM

ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR

**ÉLELMISZERIPARI EMULZIÓK
MEMBRÁNTECHNIKAI DISZPERGÁLÁSSAL
TÖRTÉNŐ ELŐÁLLÍTÁSÁNAK VIZSGÁLATA**

ALBERT KRISZTINA

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Készült:

Szent István Egyetem

Élelmiszertudományi Kar

Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

Budapest, 2018

A doktori iskola

Megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Tudományága: Élelmiszertudományok

Vezetője: **Dr. Vatai Gyula**
Egyetemi tanár, DSc
Szent István Egyetem,
Élelmiszertudományi Kar,
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

Témavezetők: **Dr. Koris András**
Egyetemi docens, PhD
Szent István Egyetem,
Élelmiszertudományi Kar,
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

Dr. Vatai Gyula
Egyetemi tanár, DSc
Szent István Egyetem,
Élelmiszertudományi Kar,
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
Témavezető jóváhagyása

.....
Témavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

Az élelmiszeripar számottevő területén találkozhatunk emulziókkal. Gyártástechnológiájukat vizsgálva megannyi különböző ipari folyamatot le lehetünk fel, terméktől és gazdasági követelményektől függően. Általánosan az emulziók gyártása során, diszperz fázis egyenletes eloszlata történik diszperziós közegben, legtöbbször valamilyen mechanikai energia hatására. Az élelmiszeriparban széles körben elterjedt emulziógyártó berendezések rendszerint hagyományos módszereket alkalmaznak. Ilyen módszerek többek között a magas nyírófeszültséggel működő keverő és nagy nyomást alkalmazó homogénező berendezések. Azonban ezek a rendszerek nagy energiaigényűek, nagy nyírófeszültség éri a terméket, ami kedvezőtlen hatással lehet a hő-, és mechanikai hatásra érzékeny komponensekre. Ez a komponensek funkcionális tulajdonságainak elvesztéséhez vezethet, ami gyógyszer-, és élelmiszeripari termékek esetében elfogadhatatlan. Ráadásul a cseppméret és elosztás nehezen kontrollálható, így nehéz konzisztens minőséget fenntartani a különböző tételek között. Ezen problémák leküzdése végett egyre több figyelmet kapnak az új módszerek, mint például a membrántechnikán alapuló ún. membrán emulzifikálás, mely egy kiváló lehetőséget kínál emulzió cseppek létrehozására.

A membrán emulzifikálás (ME, membrane emulsification) egy új, egyszerű, emulziók gyártására alkalmas eljárás, amit mikroporozus membrán segítségével hajtanak végre. Egyik megvalósítási

lehetősége keresztáramú kialakítással történik. Ebben az esetben a diszpergált cseppek eléréséhez a diszperz fázist nyomás hatására átkényszerítjük a membrán pórusain, aminek következtében cseppek jönnek létre a membrán felületén. A cseppek elnyíródnak a finom pórusú membrán felületével párhuzamosan haladó folytonos fázis áramlásának köszönhetően, leválnak a membrán felületéről, kialakítva így az emulgeált cseppeket. A hagyományos turbulencia alapú módszerekkel szemben számos előnnyel rendelkezik. A leggyakrabban említettek: az alacsonyabb energiaigény, az egyszerű kivitel, a könnyű bővíthetőség, valamint alacsonyabbak a végterméket érő nyírásból adódó stresszhatások. A lokalizált nyírásnak és a geometriailag szabályozott cseppképződésnek köszönhetően jobban tudjuk irányítani a kialakuló mikrostruktúrát. A cseppek mérete széles tartományban pontosan szabályozható, szűk cseppméret eloszlás érhető el, amely kevesebb felületaktív anyag használatát teszi lehetővé. Habár a membránemulzifikálás alapvető elveit már az 1990-es évek előtt szabadalmaztatták (NAKAJIMA 1998; SHIMIZU 1988 Japán), az 1990-es évek végéig alig találunk olyan szakirodalmi forrásokat, amelyek étkezési célra szánt emulziók vizsgálatával, vagy fejlesztésével foglalkoznának. Az 2000-es évekre új területek nyíltak meg a membrános eljárások fejlesztésében, így a membránemulzifikálás kutatása is új erőre kapott. Ettől az időszaktól kezdődően világszerte egyre több kutatócsoport fordította figyelmét a membránemulzifikálás alap- illetve alkalmazási területeinek kutatására a gyógyszeriparban, a kozmetikai cikkek gyártása során és nem utolsósorban az élelmiszeripar területén.

Munkám során magát a membrán emulzifikálás módszerét, megvalósítási lehetőségeit elemeztem. Elsősorban ezzel a módszerrel, kimondottan élelmiszeripari felhasználási céllal készített emulziók gyártásával kapcsolatos szakirodalmi kutatásokat végeztem, valamint saját kutatásaim is erre a területre koncentrálnak. Kísérleteimet három fő irányvonal mentén terveztem.

1.1. ME eljárás fejlesztése statikus keverővel ellátott csőmembrán alkalmazásával

A membrán emulzifikálás műveletét, több membránművelethez hasonlóan, statikus keverővel kombinálva, lehetőség nyílik az eljárás fejlesztésére. Különböző membránműveletek esetében, a statikus keverő alkalmazása, már számos esetben bizonyult hatékonynak. A módszer lényege, az áramlási paraméterek megváltoztatása a csőmembrán belsejébe helyezett terelőlemezekkel, a membrán mechanikus módosításával. Ennek a módszernek a lehetséges alkalmazásának a pontosabb felderítése érdekében, vizsgálatokat hajtottam végre két különböző pórusméretű membránt alkalmazva. Faktoriális kísérletterv alapján az emulzifikálás folyamatára jellemző diszperz fázis fluxus értékét, valamint az átlagos cseppátmérő értékét és a polidiszperzitás index értékét meghatározó modelleket állítottam fel.

Kapcsolódó feladatok pontokba szedve a következők:

- O/V típusú emulzió készítése ME eljárással, különböző pórusméretű membránokkal (1.4 μm , 500 nm):

- statikus keverő alkalmazásával, ill. statikus keverő alkalmazása nélkül,
- Műveleti paraméterek változtatásával a folyamatra gyakorolt hatások vizsgálata. A változtatott paraméterek a következők:
 - hajtóerő (DF),
 - nyírófeszültség (τ) (a membrán falánál).
- A vizsgált műveleti paramétereknek az emulzifikálás folyamatára kifejtett hatásának megállapítása,
- Optimális gyártási paraméterek meghatározása,
- A statikus keverő folyamatra, amellet a keletkező emulzió tulajdonságaira gyakorolt hatásának vizsgálata, az eljárás hatékonyságának elemzése,
- A folyamatot jellemző matematikai modell felállítása.

1.2. Termékfejlesztési kísérletek ME eljárással

A szakirodalomban gyakorlatilag nagyon kevés olyan publikációt lehet fellelni, ami kifejezetten ME eljáráson alapuló, élelmiszeripari termékgyártást mutatna be. Ennek okán, termékfejlesztési kísérletek keretében élelmiszeripari emulziók ME eljárással történő gyártási módszerének kidolgozását tűztem ki célul. Mindenképp egy jól ismert, elterjedt, nem speciálisnak számító, egyszerűen a táplálkozásba építhető termék előállítására volt a cél. Minél kevesebb összetevőből álló termék létrehozására, könnyen beszerezhető alapanyagok felhasználására törekedtem. Két különböző típusú, egy olaj a vízben (O/V) valamint egy víz az olajban (V/O) típusú

élelmiszeripari emulziót állítottunk elő, a módszer és a berendezés több beállításban történő tesztelése érdekében. További szempont volt, hogy a termékek előállításához minél kisebb mértékben legyen szükséges további kiegészítő művelet alkalmazása a membrán emulzifikáláson kívül. Lehetőséget adva így a hagyományos módon, keveréssel és a membrántechnikai diszpergálással készült termékek összehasonlítására. A két konkrét termék: egy hipoallergén (tejmentes) krémlikőralapként felhasználható, O/V típusú emulzió, a másik egy V/O típusú salátaöntet, olajba történő ecet diszpergálással (vinaigrette).

Kapcsolódó feladatok pontokba szedve a következők:

- Optimális gyártási paraméterek meghatározása (membrán pórusméret, hajtóerő, nyírófeszültség),
- Termékgyártás a meghatározott paraméterek alkalmazásával,
- A gyártott emulziók stabilitásának vizsgálata,
- Érzékszervi bírálatok lebonyolítása a termékek teszteléséhez,
- Krémlikőr esetén összehasonlító tesztelés egy a kereskedelmi forgalomban kapható és a ME eljárással készített likőr között,
- Salátaöntet esetén a ME eljárással gyártott készítmény és hagyományos módon, kézzel készített termék összehasonlítása.

1.3. Membrántechnikán alapuló mikrokapszulázás elemzése

Mikrokapszulázási kísérleteim a membrántechnikán alapuló mikrokapszula előállításra irányulnak. Célja a laboratóriumi körülmények közötti előállításához szükséges alap kutatás elvégzése. A mikrokapszula lehetséges falanyagainak elemzésétől kezdve, az ME eljárással történő előállításán keresztül, a létrejövő mikrokapszulák tanulmányozásával bezárólag.

Kapcsolódó feladatok pontokba szedve a következők:

- vízben oldott maltodextrin, hidroxipropil-cellulóz, burgonyakeményítő és kukoricakeményítő karakterizálása (részecskeméretének, molekulatömegének és zéta-potenciáljának meghatározása),
- keresztáramú membrán emulzifikáló berendezés tesztelése szilárd mikrokapszula prekursor előállításának érdekében,
- mikrokapszulák előállításának elemzése O/V és V/O rendszerekben
- felületaktív anyag alkalmazásával, ill. felületaktív anyag alkalmazása nélkül,
- mikrokapszula kinyerési módszer tanulmányozása,
- létrehozott mikrokapszulák vizsgálata

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

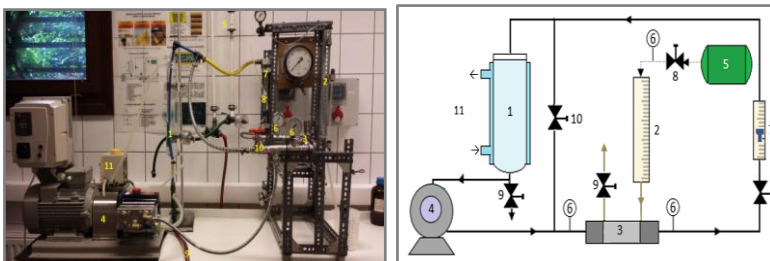
2.1. Emulziók összetevői és készítésének körülményei

Az emulziók készítéséhez növényi olajat, leggyakrabban hagyományos, kereskedelmi forgalomban kapható napraforgóolajat és desztillált vizet használtam fel. Az emulzifikálás elősegítésére Tween80 típusú felületaktív anyagot alkalmaztam (Sigma-Aldrich Kft., Budapest). A Tween80 egy mesterséges adalékanyag, melyet szorbitból, olajsavból és etilén-oxidból állítanak elő. HLB értéke 15. Az élelmiszeriparban E433 néven ismert, mint emulgeálószer. Napi maximum beviteli mennyisége $25 \text{ mg} \cdot \text{tkg}^{-1}$.

A laboratóriumi kísérleteket szobahőmérsékleten végeztem. Minden mérés kezdetén feltöltöttem a diszperz fázis mérőtartályt (20 ml) és a folytonos fázis tartályt (1000 ml) az adott kísérlet szerinti alapanyagokkal. Az emulziók gyártása során két elméleti paramétert változtattam: DF-hajtóerőt és a nyírófeszültséget a membrán falánál, ami gyakorlatban a diszperz fázis nyomása és a recirkulációs térfogataram. Az emulziókészítés során vizsgáltam a diszperz fázis fluxust, ennek meghatározásához stopperórával mértem adott mennyiségű diszperz fázis fogyásának idejét a diszperz fázis mérőtartályból. A fluxus a mért idő és térfogat adatokból, a membrán felületének ismeretében képlet segítségével meghatározható.

2.2. Membrán emulzifikáló berendezés

Az emulziók előállítása a Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Karának, Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszékén tervezett és kivitelezett, laboratóriumi emulzifikáló berendezésen valósult meg. A készülék folytonos üzemű, keresztáramú kialakítású berendezés, amelyet a 1. ábra illusztrál a főbb egységek megjelölésével. Gyakorlati alkalmazás szempontjából lett kialakítva, egyszerű kialakítású és hatékonyan alkalmazható.



1. ábra: Membrán emulzifikáló berendezés elvi kapcsolási vázlata (1. folytonos fázis tartály, 2. skálázott diszperz fázis tartály, 3. membrán modul, 4. keringető szivattyú, 5. kompresszor, 6. nyomásmérő, 7. rotaméter, 8. nyomás szabályzó, 9. leeresztő szelep, 10. szelep, 11. termosztát csatlakozás)

Működési elve a következő: a folytonos fázist az 1 L űrtartalmú üvegtartályból (1) keringető szivattyú (4) recirkuláltja a membrán belső oldalán. A retentátum recirkulációs térfogatárama a rotaméterről (7) olvasható le. A membrán (3) bemeneti, ill. kimeneti oldalán manométerek (6) jelzik a nyomást, ezek ismeretében a transzmembrán nyomáskülönbség képlet alapján számolható. A

diszperz fázis nyomását kompresszorral (5) előállított sűrített levegő biztosítja. A skálázott diszperz fázis tartályból (2) a diszpergáló anyag a membrán külső oldalára érkezik, ehhez a nyomás szabályzószelleppel (8) állítható. A keletkező termék leeresztő szelepeken keresztül (9) távolítható el a rendszerből. A 11-es jelzés azt mutatja, hogy a folytonos közeg melegíthető a tartályhoz kapcsolt termosztát segítségével, de hideg víz keringtetése esetén lehetőség van a rendszer hűtésére is a melegedés elkerülése végett. Az 1-es tartályt a soron következő kísérlethez szükséges folytonos fázissal kell feltölteni, hogy a membrán felületét nedvesítse. A csőmembránhoz tartozik egy kör keresztmetszetű acéltok, ami a 2. ábrán látható. Ebbe kell behelyezni a membránt, majd a tömítések megfelelő beillesztésével, ill. három csavar segítségével mindkét végén rögzíteni. Az acéltok 1-1 tömítő gyűrű és bilincsek segítségével illeszkedik a berendezésbe.



2. ábra: Membrán és szerelvényei

2.3. A kísérletekben alkalmazott membránok

A kísérletek során 500 nm, 800 nm és 1,4 µm pórusátmérőjű SCHUMASIV kerámia csőmembránok (PALL Austria Filter GmbH) álltak rendelkezésemre. Aszimmetrikus szerkezetűek, aktív rétegük anyaga alumínium-oxid. Az alkalmazott membránok főbb tulajdonságait, mint például a pórusméret, a belső átmérő, a hossz és egyéb működési tartományok a 1. számú táblázatban ismertetem. A membránokat nem feltétlen a gyártó által forgalmazott modulok hosszában használtam fel, hanem az általam használt berendezéshez méretezve lettek méretre vágva.

1. táblázat: Az alkalmazott membránok paraméterei

<i>Belső átmérő</i>	<i>Külső átmérő</i>	<i>Membrán hossz</i>	<i>Aktív szűrőfelület</i>	<i>Működési pH tartomány</i>	<i>Működési nyomás tartomány</i>
$7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	$1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$	$2,5 \cdot 10^{-1} \text{ m}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	0-14	0-5 bar

2.4. Emulziók vizsgálatának módszerei, vizsgált mutatói

Az emulziók vizsgálata során a részecskeméretet és eloszlást vizsgáltam Fritsch Analysette 22, Malvern Zetasizer Nano ZS, valamint a Delta Optical Genetic Pro Bino mikroszkóp eszközök segítségével.

2.5. Kísérleti terv

A vizsgált paraméterek a diszperz fázis kezdeti fluxusára (J_d), az átlagos cseppátmérőre (d_d) és a PDI értékére (statikus keverő alkalmazásával vagy alkalmazása nélkül) kifejtett hatását 3^P típusú teljes faktoros kísérleti tervek segítségével végeztem. Az adatok feldolgozását Statistica 6.0 szoftverrel hajtottam végre.

2.6. A kísérletek során alkalmazott statikus keverők

A kísérletek során két különböző, egyedileg gyártott statikus keverőnek az alkalmazását vizsgáltam. A kettős spirál alakú szűkítők szélessége 6,35 mm (a csőmembrán belső átmérője, aminek a belsejébe helyezzük, 7 mm), vastagságuk 1 mm, a menetemelkedésük 6 mm ill. 10 mm. A szűkítők hossza megegyezik a membrán hosszával.



3. ábra: Az alkalmazott statikus keverők

3. EREDMÉNYEK

Munkám során a membrán emulzifikálás műveletének élelmiszeripari alkalmazásának lehetőségeivel, annak megvalósítási módjával foglalkoztam. Kutatási munkám ezzel a technikával, kimondottan élelmiszeripari felhasználási céllal készített emulziók gyártására irányult. Ennek megvalósításhoz kutatásaim három fő irányvonal mentén zajlottak.

A termelékenység esetleges növelésének és a nyíróerő terhelések csökkentése érdekében statikus keverők lehetséges alkalmazhatóságát vizsgáltam. Kísérleteket végeztem az áramlási paraméterek megváltoztatásával, a csőmembrán belsejébe helyezett terelőlemezekkel, majd a kapott eredményeket összehasonlítottam a hagyományos eljárásával. Megállapítottam, hogy nincs jelentős különbség abban, hogy a folyamathoz szükséges nyírófeszültséget milyen módon közöljük az emulziókészítés során. A fluxus közel azonos volt hagyományos üzemmódban és a statikus keverővel szerelt membrán esetén. Továbbá a vizsgálatok alapján, megállapítható, hogy alacsony hajtóerő esetén kevesebb energia szükséges a folytonos fázis és az emulzió keringtetéséhez statikus keverőt alkalmazva, viszont maximális hajtóerőnél a statikus keverővel szerelt csőmembrán igényel több munkát. Mindemellert megállapításra került, hogy a terelőlemezek jelenléte nem befolyásolta számottevően a keletkező cseppek méretét.

A szakirodalmi elemzés alapján hiányosságokat fedeztem fel kifejezetten membrántechnikán alapuló élelmiszeripari emulzió gyártására vonatkozóan. Ennek okán termékfejlesztési kísérletek keretében két különböző típusú (O/V és V/O), élelmiszeripari emulzió gyártási módszerének kidolgozásához végeztem kísérleteket membrán emulzifikálás eljárással. Az egyik a hagyományos keveréses likörgyártási technológiától eltérően, egy membrántechnológiával készített, hypoallergén (tejmentes) krémlikőralapként felhasználható, O/V típusú emulzió. Membrán emulzifikálással mogyoróolaj cseppeket diszpergáltam alkohol-desztillált víz elegybe, majd a készített emulzióból korábban kikísérletezett recept alapján emulziós likőrt készítettem. A termék ismételt érzékszervi tesztelésen esett át, mielőtt elnyerte végleges formáját. Az elkészült likőr alacsony energia tartalmú, mérsékelt alkoholtartalommal rendelkezik és akár laktózérzékenyek is fogyaszthatják, mivel nem használtam tejszínt a gyártás során. A másik termék egy V/O típusú salátaöntet, napraforgó-olívaolaj keverékbe történő fehérborecet diszpergálással készült. Érzékszervi bírálatra ennél a termékénél is sor került, ahol egy kézi habverővel és egy membrán emulzifikálással készített terméket hasonlították össze a bírálók. A vizsgálat eredményeként a bírálók nem találtak szignifikáns különbséget a két termék között, de a membrántechnikával készült termék magasabb pontszámot kapott több tulajdonság esetén is.

Mikrokapszulázási vizsgálataim a membrántechnikával történő mikrokapszula előállításra irányultak. A művelet során, a

mikrokapszulázás kezdeti lépése, az emulzió készítés membrán alkalmazásával történt. Munkám laboratóriumi körülmények közötti előállításához szükséges alapkutatásra fókuszált, a mikrokapszula lehetséges falanyagainak elemzésétől kezdve a mikrokapszula előállításán keresztül a létrejövő mikrokapszulák tanulmányozásával bezárólag. Kísérletekkel igazoltam, hogy a membrán emulzifikálás művelete vákumbepárlással kombinálva, alkalmasnak bizonyult szilárd fázisú mikrokapszula prekursor előállításához.

3.1. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK – TÉZISEK

1. Mérésekkel igazoltam, hogy membránnal történő emulziógyártás során a műveleti paraméterek (a hajtóerő, a nyírófeszültség, egyedileg gyártatott statikus keverő jelenléte és annak hiánya esetén) nincsenek jelentős hatással a keletkező cseppek méretére. A diszperz fázis átlagos cseppátmérője főként a membrán pórusméretétől függ. Az 500 nm pórusméretű membránnal elért átlagos cseppátmérő 4000 nm, míg az 1400 nm pórusméretű membrán esetén az átlagos cseppátmérő 6000 nm volt, a vizsgált műveleti paramétereknek és a statikus keverőnek nem volt szignifikáns hatása az átlagos cseppátmérőre.
2. Membrán alkalmazásával történő emulzifikálás folyamatára jellemző kezdeti diszperz fázis fluxus értékét meghatározó modelleket állítottam fel, egyedileg gyártatott statikus keverő (6,35 mm széles, kettős spirál alakú szűkítő, 6 mm

menetemelkedéssel) jelenléte és annak hiánya esetén. A szignifikáns hatásokat figyelembe véve, a kifejlesztett modell-egyenletek a következőképpen írhatók fel:

$$J_{d, NR} = 0,008535 + 0,002062 \cdot \left(\frac{DF - 2,8}{0,8} \right) + 0,000648 \cdot \left(\frac{Shearstress - 0,4}{0,4} \right)^2 + \dots$$

$$\dots + 0,000505 \cdot \left(\frac{DF - 2,8}{0,8} \right) \cdot \left(\frac{Shearstress - 0,4}{0,4} \right) \quad [\text{Lm}^2\text{s}^{-1}]$$

$$J_{d, R} = 0,008535 + 0,001585 \cdot \left(\frac{DF - 2,8}{0,8} \right) + 0,000935 \cdot \left(\frac{Shearstress - 0,4}{0,4} \right) + \dots$$

$$\dots + 0,005109 \cdot \left(\frac{Shearstress - 0,4}{0,4} \right)^2 + 0,005608 \cdot \left(\frac{DF - 2,8}{0,8} \right) \cdot \left(\frac{Shearstress - 0,4}{0,4} \right)$$

$$[\text{Lm}^2\text{s}^{-1}]$$

ahol J_d a diszperz fázis kezdeti fluxusa $[\text{Lm}^2\text{s}^{-1}]$, melynek érvényessége DF (hajtóerő) = 2 - 3,6; Shearstress (nyírófeszültség) = (0 - 0,8) · $[10^5 \text{ Pa}]$ tartományban, $\alpha = 0,05$ szignifikancia szinten, statikus keverő használata nélkül (NR-No Reducer) és statikus keverő alkalmazásával (R-Reducer), 500 nm pórusméretű, 7 mm belső átmérőjű kerámia csőmembránt alkalmazva. Minkét képletben a DF-ből kivont 2,8 érték a mérési tartomány középpértéke. A DF tag nevezőben szereplő 0,8 viszont a mérési tartomány értékének fele. Hasonlóan a nyírófeszültségből (Shearstress) kivont érték 0,4 · $[10^5 \text{ Pa}]$ a mérési tartomány középpértéke és a nevezőben látható érték 0,4 · $[10^5 \text{ Pa}]$ a mérési tartomány értékének közepe.

3. Megállapítottam, hogy statikus keverőt illetve 7 mm belső átmérőjű, 500 nm pórusméretű kerámia csőmembránba (Pall, Schumasiv), keresztáramú üzemmódban végezve az emulziógyártást fajlagos energia-megtakarítás érhető el alacsony hajtóerő esetén a statikus keverő nélküli csőmembránnal végzett emulziógyártáshoz viszonyítva.

A kísérletek alapján a hajtóerő, $DF = 2$ és nyírófeszültség = $0,4$ és $0,8 \cdot [10^5 \text{ Pa}]$ értéke mellett az energia-megtakarítás 4 illetve 14%-os volt. Viszont maximális hajtóerőnél, $DF = 3,6$ és nyírófeszültség = $0,4$ és $0,8 \cdot [10^5 \text{ Pa}]$ értéke mellett a statikus keverővel szerelt csőmembrán 7 illetve 17%-kal igényel több munkát.

4. Mikrokapszula prekursor előállítását célzó kísérleteim során, négy különböző falanyag tulajdonságait vizsgáltam különböző koncentrációjú vizes oldatokban. Az átlagos cseppátmérőt és polidiszperzitás indexet (PDI) vizsgálva, megállapítottam, hogy csak két falanyag (maltodextrin és HPC) esetében, kis koncentrációjú oldatokban tapasztaltam nem polidiszperz (PDI $< 0,4$) jellegű viselkedést. Maltodextrint használva kísérleteimben igazoltam, hogy a membrán emulzifikálás művelete vákumbepárlással kombinálva, alkalmasnak bizonyult szilárd fázisú mikrokapszula prekursor előállításához.

4. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Új tudományos eredményeim az adott műszerekre és vizsgált mintákra bizonyítottak teljes mértékben, de jelentőségüket növeli, hogy annak ellenére, hogy a különböző membránműveletek esetében, a statikus keverő alkalmazása már több esetben bizonyult hatékonynak, a membrán emulzifikálás témakörében az erre irányuló kutatások a felkutatott irodalmak alapján csekélyek. Ebből kifolyólag végzett vizsgálataim alapján nem jelenthető ki egyértelműen, hogy a csőmembrán belsejébe helyezett terelőlemezek számottevő hatással lettek volna a folyamat termelékenységére vagy a keletkezett emulzió tulajdonságaira. Azonban a szükséges nyíróerő alacsonyabb áramlási sebességgel volt biztosítva, miközben a nyíróerőterhek csökkentek a keringtetett részben. A mechanikai hatásra érzékeny komponensek pl. keményítő, fehérjék, aromák esetében a módszer ezen tulajdonsága hasznosítható lehet.

Termékfejlesztés szempontjából a membrán emulzifikálás kétségtelenül nagy figyelmet érdemel, ha a végtermékünkben fontos a homogenitás és a jól reprodukálható cseppeloszlás. Membrántechnika alkalmazásával jobb homogenizálást, ezáltal könnyebben emészthető, testesebb ízű termékek hozhatóak létre. A kísérleti membrán emulzifikáló berendezés továbbfejlesztésével, egy nagyobb úrtartalmú diszperz fázis tartály beszerelésével a készíthető termékek köre kibővülne. Nagyobb diszperz fázis koncentrációjú termékek gyártására adna lehetőséget, pl. majonéz. Továbbá érdekes lehet vizsgálni, hogy az érzékszervi tulajdonságokban milyen

különbséget eredményez salátaöntet esetében a fázisok megfordításából adódó változások. Nem olajba történő ecet diszpergálással, hanem ecetbe történő olaj diszpergálással történő emulzió gyártását követően, érzékszervi bírálat képezhetné a vizsgálat tárgyát.

Mikrokapszulázás kapcsán további kutatások során mindenképp érdemes lehet a mikrokapszula kinyerési módszereket kiterjeszteni más módszerekkel pl. porlasztva szárítással. Érdekes szempont lehet további vizsgálatok kapcsán a mikrokapszulázással kapcsolatosan vizsgálni a statikus keverő folyamatra gyakorolt hatását.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT KÖZLEMÉNYEK

Szakkikk nemzetközi, impakt faktoralal rendelkező folyóiratban		
típus	év	publikáció
journal	2016	K. Albert , Gy. Vatai, L. Giorno, A. Koris (2016): <i>Energy-saving potential of cross-flow membrane emulsification by ceramic tube membrane</i> , 2014, <i>Membrane Water Treatment</i> , DOI: 10.12989/mwt.2016.7.3.175, IF=0.625 (2015)
journal	2015	K. Albert , Cs. Tóth, Gy. Vatai , A. Koris (2015): <i>Microencapsulation analysis based on membrane technology: basic research of spherical, solid precursor microcapsule production</i> . <i>Periodica Polytechnica Chemical Engineering</i> , DOI: 10.3311/PPch.8500, IF=0.296 (2015)
journal	2014	K. Albert , A. Koris, S. Ahammed, I. Gáspár, Gy. Vatai (2014): <i>Vinaigrette production by membrane emulsification: Process optimization and product development</i> , <i>Periodica Polytechnica Chemical Engineering</i> , DOI: 10.3311/PPch.7583, IF= 0.296 (2015)
journal	2014	K. Albert , A. Koris, I. Gáspár, G. Rácz, Gy. Vatai (2014): <i>Production of microemulsion by membrane emulsification: Comparison of empty ceramic tube membrane and membrane equipped with static turbulence promoters</i> , <i>Acta Alimentaria</i> , DOI: 10.1556/AAlim.43.2014.Suppl.2, IF=0.274 (2015)

Konferencia kiadványban megjelent teljes terjedelmű anyagok		
típus	év	publikáció
conference presentation	2016	K. Albert , A. Koris, Gy. Vatai (2016): Application of membrane emulsification process in the food industry, PERMEA 2016 - Membrane Science and Technology Conference of Visegrád Countries, Prague, Czech Republic
conference presentation	2016	K. Albert , A. Koris, Gy. Vatai (2016): Food emulsion production by membrane technology, Chemical Engineering Days '16, Veszprém, Hungary
conference presentation	2015	K. Albert , A. Koris, Cs. Tóth, Gy. Vatai (2015): Microencapsulation analysis based on membrane technology: basic research of spherical, solid precursor microcapsule production, Chemical Engineering Days '15, Veszprém, Hungary
conference presentation	2014	K. Albert , A. Koris, S. Ahammed, I. Gáspár, Gy. Vatai (2014): Vinaigrette production by membrane emulsification: Process optimization and product development, Chemical Engineering Days '14, Veszprém, Hungary (ISBN 978-963-010-3) 2014
conference presentation	2013	A. Koris, K. Albert , S. Ahammed, S. Chakraborty, I. Gáspár, Gy. Vatai (2013): Applied research on fine vinaigrette emulsion production by special membrane technique, Food Science Conference, Budapest, Hungary (ISBN 978-963-503-550-2)
conference presentation	2012	Albert K. , Koris A., Vatai Gy. (2012): Mikroemulzió előállítása membrán emulzifikálás módszerével, Műszaki Kémiai Napok '12, Veszprém, Magyarország, (ISBN 978-615-5044-54-0)

Konferencia kiadványban megjelent összefoglalók		
típus	év	publikáció
poster presentation	2014	K. Albert, A. Koris, S. Ahammed, Gy. Vatai (2014): <i>New engineering approach of salad dressing (vinaigrette) production, 8th International Congress of Food Technologists, Biotechnologists and Nutritionists, Opatija, Croatia</i>
poster presentation	2014	K. Albert, A. Koris, D. Simon, Gy. Vatai (2014): <i>New engineering approach of cream liqueur production, 3rd Interdisciplinary Doctoral Conference, Pécs, Hungary, (ISBN 978-963-642-597-5)</i>
poster presentation	2013	K. Albert, A. Koris, I. Gáspár, G. Rácz, Gy. Vatai (2013): <i>Production of microemulsion by ceramic tube membrane equipped with static turbulence promoter, Food Science Conference, Budapest, Hungary (ISBN 978-963-503-550-2)</i>
poster presentation	2012	K. Albert, A. Koris, Gy. Vatai, E. Piacentini, L. Giorno (2012): <i>Production of microemulsion by ceramic tube membrane equipped with static turbulence promoter, Euromembrane 2012, London, England, Procedia Engineering Volume 44, Pages 1161–1162.</i>