Membraanitekniikan rooli elintarviketeollisuudessa – suodatuksen periaatteet ja sovellutukset

4.4.2025

Membraanitekniikka on vakiinnuttanut asemansa elintarviketeollisuudessa tehokkaana ja monipuolisena erotusmenetelmänä. Sen avulla voidaan erottaa, konsentroida ja puhdistaa erilaisia elintarvikkeiden komponentteja ilman merkittävää lämpökuormitusta, mikä säilyttää tuotteiden alkuperäiset ominaisuudet (Akin et al., 2012). Membraanierotuksella voidaan esimerkiksi erottaa kaseiinia raakamaidosta. Tämä prosessi tuottaa kaseiinikonsentraatteja, joita käytetään monissa elintarvikkeissa, kuten juustoissa ja maitopohjaisissa tuotteissa. Kaseiinin markkinat ovat kasvaneet merkittävästi viimeisten 10 vuoden aikana, osittain johtuen kasvaneesta kiinnostuksesta sen ravitsemuksellisten ominaisuuksien ja monipuolisten käyttötarkoitusten vuoksi (Euromonitor International, 2025).

Membraanikuivauksen toimintaperiaate

Membraanisuodatus perustuu puoliläpäisevien kalvojen käyttöön, joissa erotus tapahtuu pääasiassa paine-eron vaikutuksesta. Kalvon huokoisuuden mukaan menetelmää voidaan soveltaa monenlaisiin prosesseihin, kuten maidon ja meijerituotteiden jalostukseen, juomateollisuuden suodatukseen sekä elintarvikkeiden sivuvirtojen hyödyntämiseen (Akin et al., 2012). Mikro-, ultra-, nano- ja käänteisosmoosisuodatuksen avulla on mahdollista hallita tarkasti raaka-aineiden koostumusta, parantaa tuotteiden laatua ja optimoida

prosessien tehokkuutta. Tämä tekee membraanitekniikasta keskeisen työkalun nykyaikaisessa elintarviketuotannossa, jossa korostuvat sekä laatuvaatimukset että kestävän kehityksen periaatteet.

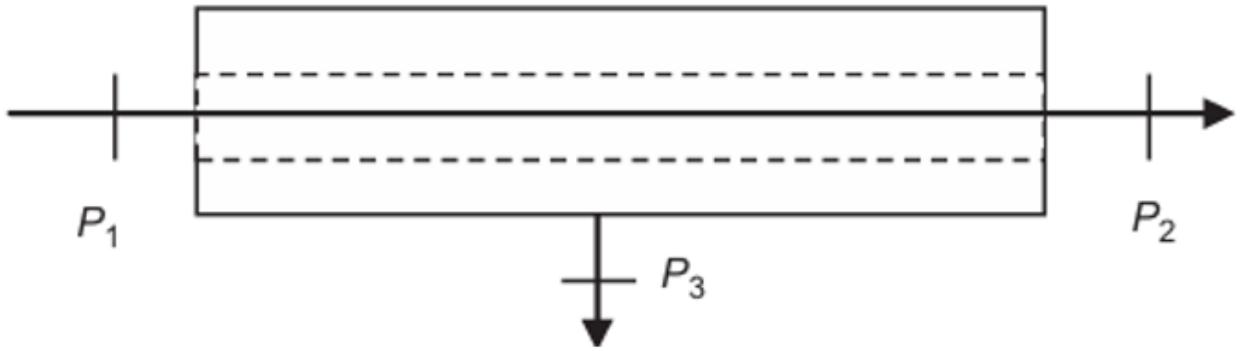
Aivan kuten tavallisessa suodatuksessa, myös membraanisuodatuksessa permeaatin kulkeutumisen ajava voima on kalvon läpi tapahtuva paine-ero, eli transkalvopaine-ero (TMPD tai ΔPTM) (taulukko 1). Permeaattipuolen paine on käytännössä tasainen, kun taas retentaatin puolen paine laskee virtauksen suuntaan (kuvio 1).

Transkalvopaine-ero määritellään seuraavasti (kaava 1):

$$TMPD = \frac{P1+P2}{2} - P3 \qquad (1)$$

missä:

- **P1, P2** = Retentaatin puolen paine moduulin sisäänmenossa ja ulostulossa.
- **P3** = Permeaattipuolen paine, joka oletetaan tasaiseksi.



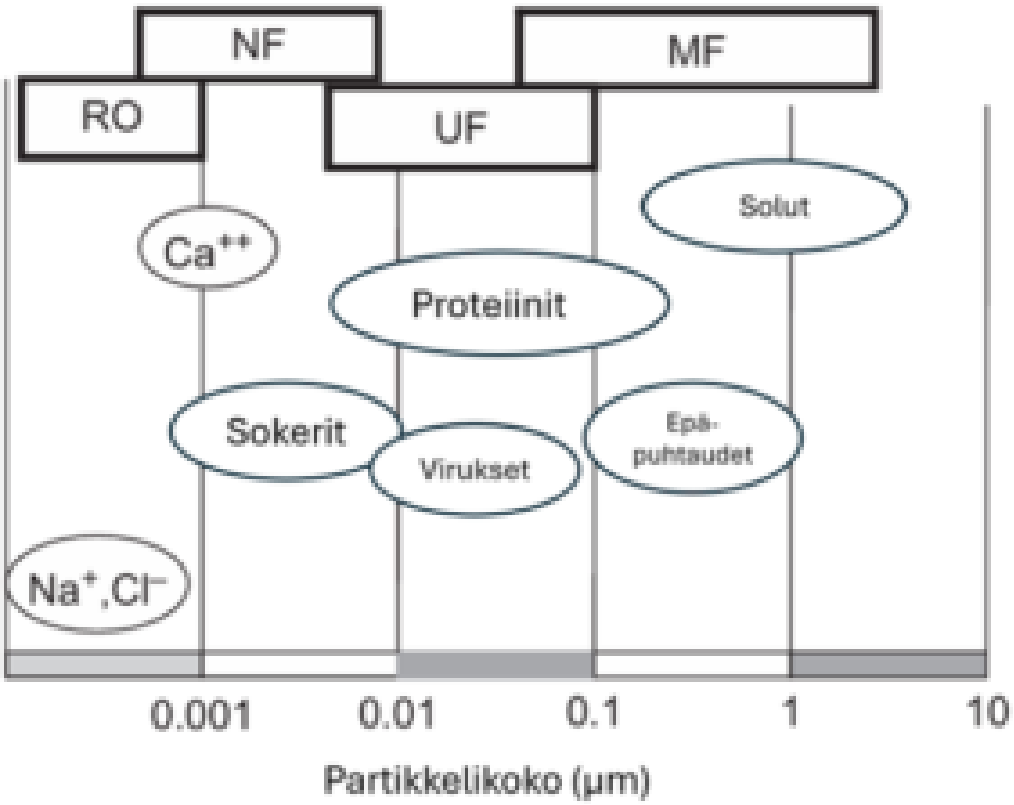
Kuvio 1. Periaatekuva: TMPD (P1>P2) (Berk, 2018).

Taulukko 1. Paineella toimivien kalvojen tyypilliset käyttöalueet (soveltaen Berk, 2018).

Prosessi	Tyypillinen käyttöpaine (MPa)	Hiukkaskokoalue (nm tai molekyylimassa)
MF	0,1–0,3	100–10 000
UF	0,3–1	1–100 (10^2–10^6 Da)
NF	1–4	0,5–5 (10^2–10^3 Da)
RO	3–10	(10^2–10^3 Da)

Membraanisuodatuksen voidaan jakaa neljään pääluokkaan, jotka eroavat toisistaan kalvon huokoisuuden ja erotusmekanismin perusteella (kuvio 2). Mikrosuodatus (MF) poistaa suurikokoisia partikkeleita, kuten mikro-organismeja ja sameuttavia aineita. Ultrasuodatus (UF) puolestaan erottaa suuremmat makromolekyylit, kuten proteiinit ja entsyymit. Nanosuodatus (NF) on tehokas suolojen, sokereiden ja pienten orgaanisten

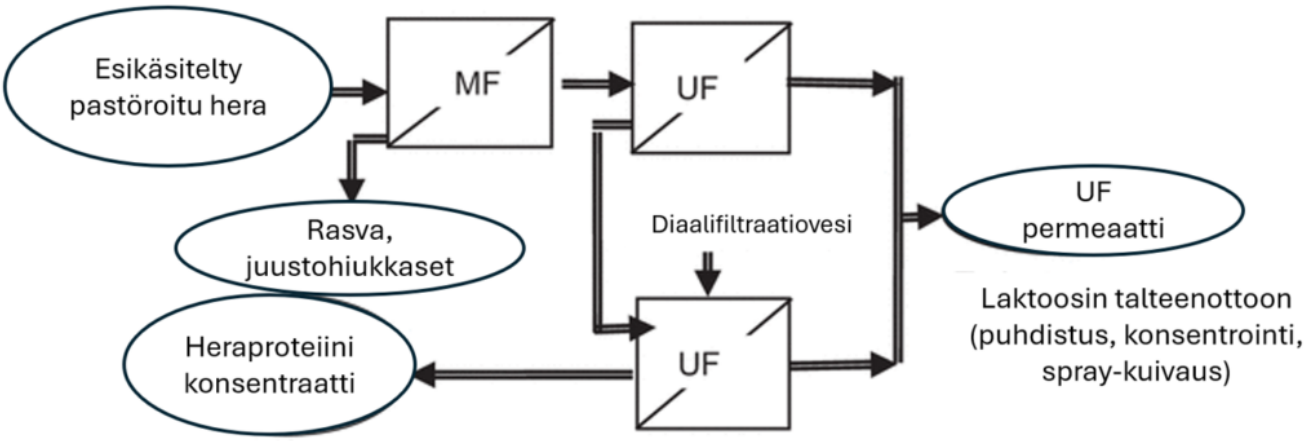
yhdisteiden erottamiseen. Käänteisosmoosi (RO) on kaikkein tehokkain menetelmä, sillä se poistaa lähes kaikki liuenneet aineet, jättäen jäljelle vain puhtaan veden (Bazinet, 2005).



Kuvio 2. Esimerkkejä membraanisuodatuksella eroteltavista partikkeleista ja niiden kokoeroista (soveltaen Berk, 2018).

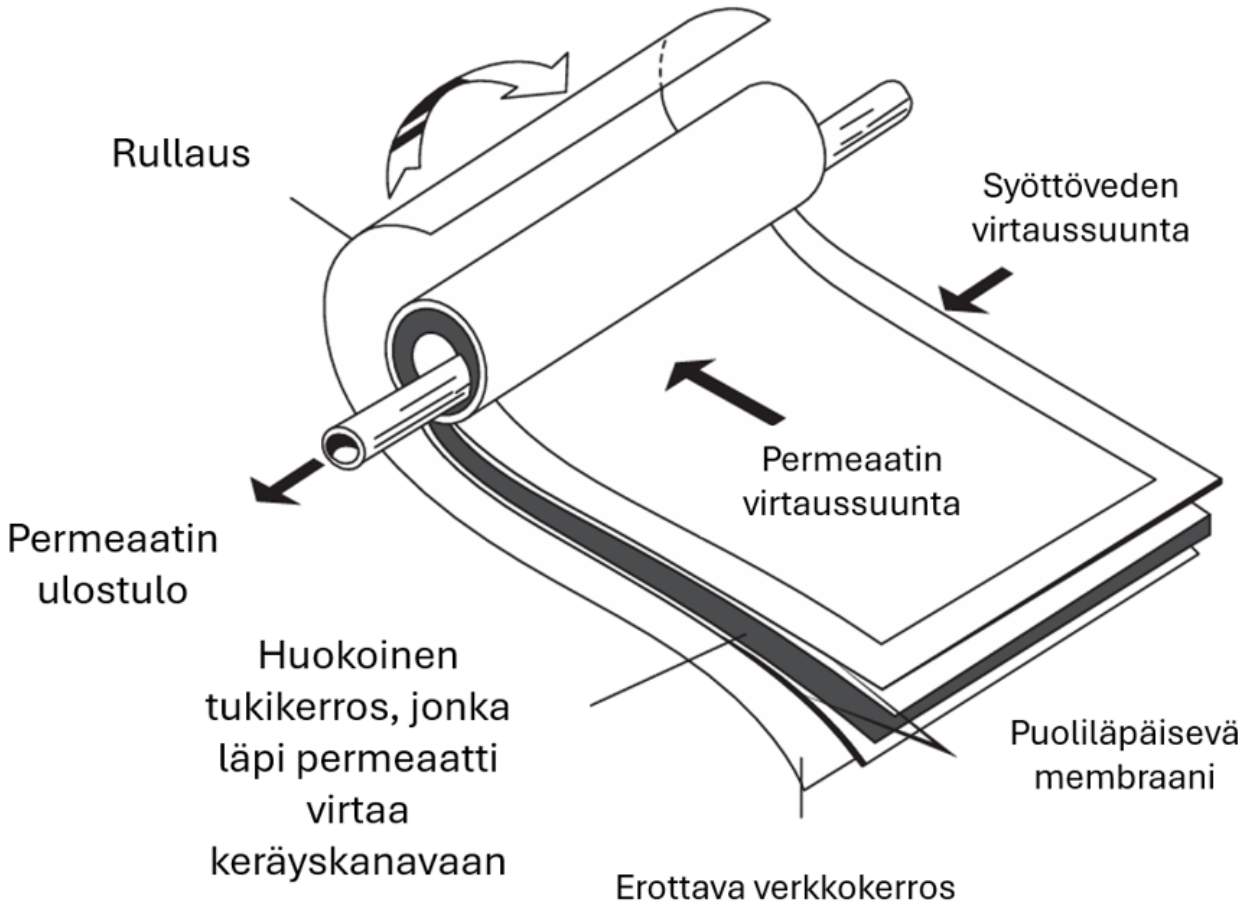
Membraanisuodatuksen erotusmekanismi perustuu pääasiassa kahteen vaikutukseen: seulontavaikutukseen ja kemiallisiin tai fysikaalisiin vuorovaikutuksiin erotettavien aineiden ja kalvon välillä (Alkhudbiri et al., 2012). Seulontavaikutuksessa aineiden koko määrittää, mitkä molekyylit voivat kulkea kalvon läpi ja mitkä jäävät retentaattiin. Fysikaaliset ja kemialliset vuorovaikutukset, kuten varauksellisten molekyylien elektrostaattiset hylkimisvoimat, voivat myös vaikuttaa erotusprosessiin, erityisesti NF- ja UF-membraaneilla.

Membraanisuodatusta voidaan käyttää joko jatkuvana tai panosprosessina (Aspelund & Glatz, 2010a). Yksi käytännön sovellus on dialyysifiltraatio (DF), jossa kalvoon jääviä yhdisteitä voidaan huuhdella pois tuoreella liuottimella. Tätä menetelmää käytetään esimerkiksi heraproteiinien puhdistamisessa ja laktoosin poistamisessa (kuvio 3).



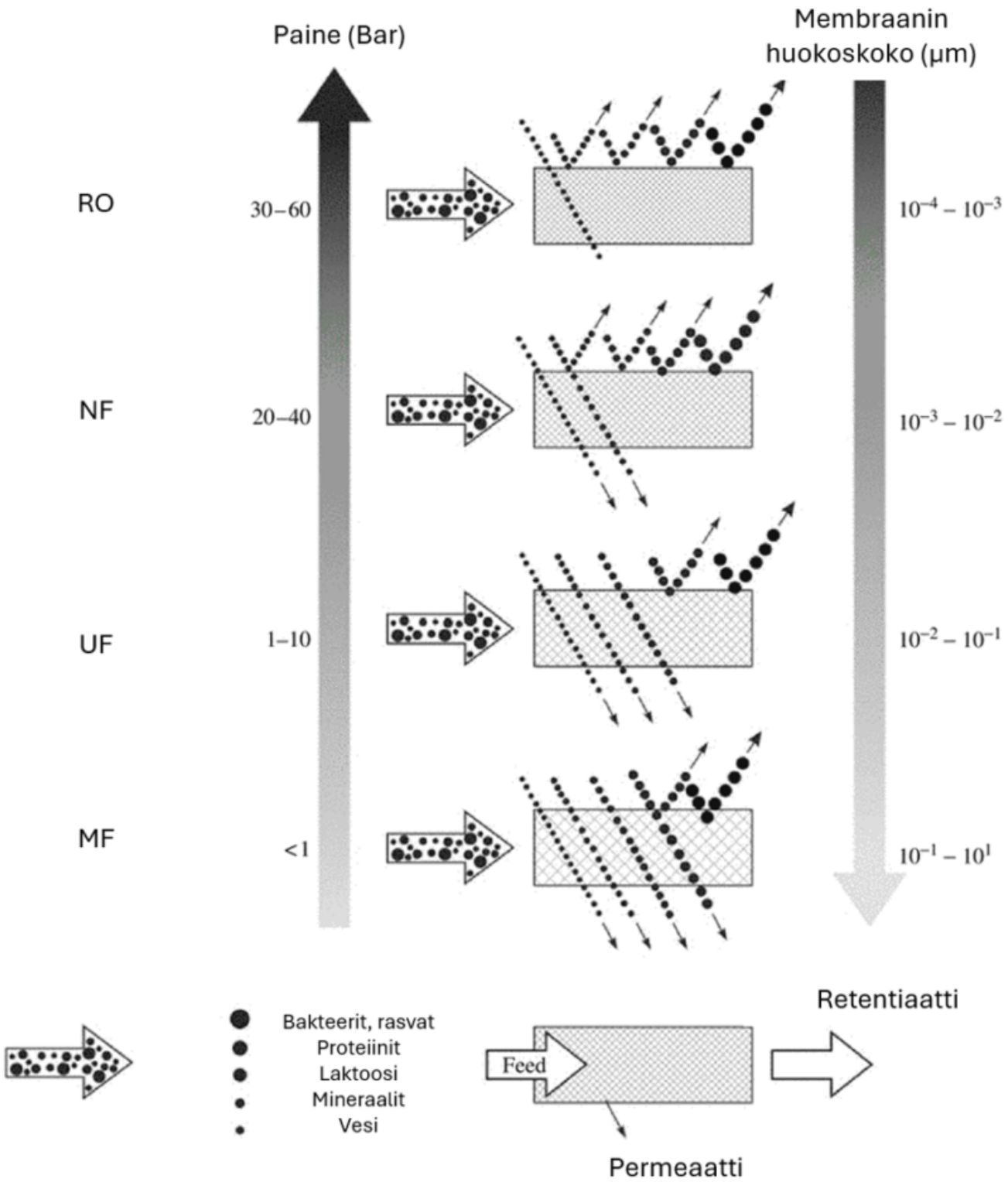
Kuvio 3. Heraproteiinien konsentrointiprosessi (soveltaen Berk, 2018).

Membraanisuodatusjärjestelmät voidaan toteuttaa eri kalvomoduuleilla, joista yleisimpiä ovat levy- ja kehysmoduulit, spiraalimoduulit, putkimoduulit ja ontelokuitumoduulit (Berk, 2018). Spiraalimoduulit ovat yksi käytetyimmistä membraanityypeistä elintarviketeollisuudessa. Ne koostuvat kahdesta suurikokoisesta membraanilevystä, jotka on lämpötiivistetty kolmelta sivulta muodostaen eräänlaisen pussin. Tämän pussin sisälle sijoitetaan huokoinen tukikerros, joka mahdollistaa permeaatin virtauksen. Tämä kalvojen kerroksittainen rakenne kääritään tiiviisti spiraalimuotoon ja sijoitetaan sylinterimäiseen moduuliin (kuvio 4). Spiraalimoduulit ovat erittäin kompakteja ja niiden pinta-ala suhteessa tilavuuteen on suuri, mikä tekee niistä energiatehokkaita ja soveltuvia erityisesti maitotuotteiden ja mehujen suodatusprosesseihin.



Kuvio 4. Spiraalisuodattimen rakenne (soveltaen Berk, 2018).

Membraanisuodatusmenetelmiä hyödynnetään elintarviketeollisuudessa erityisesti maidon jatkojalostuksessa, mehu- ja viiniteollisuudessa sekä panimoteollisuudessa (Aliçieo et al., 2008). Esimerkiksi maitotuotteiden valmistuksessa membraanisuodatusta voidaan käyttää eri proteiinien tai laktoosin erotukseen maidosta ja heraproteiinien konsentroimiseen (kuvio 5). Mehujen ja viinien stabiloinnissa ja kirkastuksessa membraanisuodatus on yleistynyt, sillä se mahdollistaa tehokkaan erottelun ilman kemikaalien käyttöä. Oluen valmistuksessa membraanisuodatuksella voidaan kerätä talteen hiivasoluja panimoprosessin eri vaiheissa.



Kuvio 5. Maidon membraanisuodatus (Tetra Pak, 1995).

Membraaniteknologiaa hyödynnetään myös elintarviketeollisuuden sivuvirtojen käsittelyssä ja jätevesien puhdistuksessa (Artiga et al., 2005). Esimerkiksi nanosuodatus ja käänteisosmoosi voivat poistaa biologista happea kuluttavia yhdisteitä (COD/BOD) ja suoloja, mikä mahdollistaa tehokkaamman veden uudelleenkäytön prosesseissa.

Membraanisuodatuksen suurimpiin etuihin kuuluu sen energiatehokkuus verrattuna perinteisiin erotusmenetelmiin, kuten haihdutukseen ja tislaukseen (Bacchin & Aimar, 2005). Lisäksi se mahdollistaa erottelun ilman lämpötilan nousua, mikä säilyttää herkemmät yhdisteet, kuten vitamiinit ja entsyymit, paremmin. Moduulirakenteensa ansiosta membraanisuodatusjärjestelmät ovat helposti skaalattavissa pilot-mittakaavasta teolliseen tuotantoon.

SEAMKin Future Frami Food Lab -hankkeessa käyttöön otettu Alfa Laval PilotUnit Multi on monikäyttöinen laitteisto, joka mahdollistaa eri membraanisuodatusmenetelmien tutkimisen ja kehittämisen. Tämän laitteen avulla voidaan testata ja optimoida erilaisia suodatusprosesseja, jotka tukevat elintarviketeollisuuden innovaatioita ja kestävää kehitystä.

Juuso Kumpulainen
asiantuntija, TKI
SEAMK

Kirjoittaja toimii TKI-asiantuntijana Future Frami Food Lab (F^3L) -hankkeessa, joka on Euroopan unionin osarahoittama. Hankkeen päätavoitteena on lisätä Etelä-Pohjanmaan roolia ruokamaakuntana sekä johtavana elintarviketeknologian ja prosessien osaajana Suomessa ja kansainvälisesti merkittävänä toimijana sekä vahvistaa SEAMK Food Labsin roolia elintarviketeknologioiden ja -prosessien testausalustana ja alan tunnistettuna osaamiskeskittymänä.

Lisätietoa hankkeesta verkkosivuilta.

Lisätietoja SeAMK Food Labs -palveluista verkkosivuilta.

Lähteet

Achour, S., Khelifi, E., Attia, Y., Ferjani, E., & Hellal, A. N. (2012). Concentration of antioxidant polyphenols from *Thymus capitatus* extracts by membrane process technology. *Journal of Food Science, 77*(6), C703-C709.

Akin, O., Temelli, F., & Koseoglu, S. (2012). Membrane applications in functional foods and nutraceuticals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 52*(4), 347-371.

Alkhudbiri, A., Darwish, N., & Hilal, N. (2012). Membrane distillation: A comprehensive review. *Desalination, 287*, 2-18.

Aliçieo, T. V. R., Mendes, E. S., Pereira, N. C., de Barros, S. T. D., & Alves, J. A. (2008). Analysis of the use of a 0.2 µm ceramic membrane for beer clarification. *Acta Scientiarum – Technology, 30*(2), 181-186.

Artiga, P., Ficara, E., Malpei, F., Garrido, J. M., & Mendez, R. (2005). Treatment of two industrial wastewaters in a submerged membrane bioreactor. *Desalination, 179*(1-3), 161-169.

Aspelund, M. T., & Glatz, C. E. (2010a). Clarification of aqueous corn extracts by tangential flow microfiltration. *Journal of Membrane Science, 365*(1-2), 123-129.

Euromonitor International. (i.a.). *Passport-tietokanta*. Euromonitor International.

Bacchin, P., & Aimar, P. (2005). Critical and sustainable flux values: Theory, experiments, and applications. *Journal of Membrane Science, 281*(1-2), 42-48.

Bazinet, L. (2005). Electrodialytic phenomena and their applications in the dairy industry: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 45*(4), 453-472.

Berk, Z. (2018). *Food Process Engineering and Technology (3rd Edition)*, 261-287. Elsevier. https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011Q1D93/food-process-engineering/tangential-filtration

Membrane filters. In: Dairy Processing Handbook, 2nd and revised edn. of G. Bylund (1995). pp. 131–140. Tetra Pak Processing Systems AB, Lund.