
UF-SYÖTTEEN VAIHTELUN SELVITTÄMINEN JA NÄYTTEENOTON OPTIMOINTI



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Hämeenlinna, kevät 2016

Rinna Heinonen

Rinna Heinonen



HÄMEENLINNA

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Meijeriteknologian suuntautumisvaihtoehto

Tekijä	Rinna Heinonen	Vuosi 2016
Työn nimi	UF-syötteen vaihtelun selvittäminen ja näytteenoton optimointi	

TIIVISTELMÄ

Juustopöly on heraan jäänyttä erittäin hienojakoista juustoa, jota syntyy juuston valmistuksen ja rakeiston käsittelyn aikana. Pölypitoisuus vaihtelee suurissa määrin. Juustopölyn jääminen heraan on ongelmallista sen lisäksi että se pienentää juuston saantoa ja täten aiheuttaa taloudellisia tappioita, se myös aiheuttaa kalvojen tukkeutumista heraa suodatettaessa. Juustoheraa suodatettaessa suositellaan yleensä syötön esikäsittelyä ja pölyn poistoa mm. seulan ja/tai lingon avulla.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Valio Oy Seinäjoen tehdas. Seinäjoen Valiolla suodatetaan ultrasuodatinlaitteistolla raejuuston valmistuksen yhteydessä erottunutta hapanta juustoheraa heraproteiinikonsentraatiksi eli WPC:ksi. Ultrasuodattimelle menevän heran juustopölypitoisuuksissa on ollut vaihtelua ja ne ovat olleet liian korkeita suodatinkalvoille asetettuihin rajoihin verrattuna. Työn tavoitteena oli selvittää UF-suodattimelle menevän syötteen koostumuksen vaihtelua, sekä optimoida näytteenotto niin, että saadaan luotettavaa tietoa pölynpoistoprosessin toimimisesta.

Tutkimusta varten otettiin näytteitä syksyllä 2015 pölynpoistoprosessin eri kohdista syötteen koostumuksen vaihdella. Aineisto analysoitiin tilastollisin menetelmin. Tuloksista ilmeni, että pölynpoistoprosessin toiminta vaihtelee suuresti riippuen siitä, oliko kyseessä pelkkä juustohera vai pakkauskoneiden pesuvedet tai näiden kahden sekoitus. Pölynpoistoprosessi ei saanut poistettua juustopölyä sille tasolle, mille sen valmistajan mukaan pitäisi päästä. Pölynpoistoprosessin toiminnasta saadaan luotettavampaa tietoa, kun otetaan näytteet pelkästä juustoherasta, koska pölypitoisuus pölynpoistoprosessin jälkeen jäi aina korkeammaksi juustoheralta kuin pesuve-sillä.

Opinnäytetyö toimi niin sanottuna nykytilanteen kartoituksena, ja opinnäytetyön pölytulosten perusteella Valion T&K -yksikössä suoritettiin pienimuotoinen tutkimus juustopölyn partikkelikoosta juustoherassa ja pesuve-sissä. Tulokset tukivat opinnäytetyössä saatuja tuloksia.

Avainsanat hera, juustopöly, ultrasuodatus

Sivut 46 s. + liitteet 5 s.

HÄMEENLINNA

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering
Dairy Technology

Author

Rinna Heinonen

Year 2016

Subject of Bachelor's thesis

Investigating the UF feed variation and optimization of sampling

ABSTRACT

Cheese dust is fine cheese particles captured in whey formed during cheese making and curd processing. The concentration of cheese fines varies a lot. Fines in whey is a problem because they not only cause economic losses but also clog the membranes when filtering whey. It is often recommended to use pre-filtration and removal of the cheese fines with the help of a screen or a separator.

This Bachelor's thesis was commissioned by Valio Oy Seinäjoki Plant. The purpose of the thesis was to investigate the variations in the whey that is fed to the ultrafiltration membranes. The composition of the UF feed varies from pure cheese whey to washing water and the mixture of both. The aim was also to optimize the sampling so that reliable information is obtained from the process of removing the cheese dust.

To find out the variation of the UF feed, samples of the whey and washing water were taken from different stages of the process of removing the cheese fines and the data was analysed statistically. The results of the thesis show that depending on the feed type, the concentration of fine cheese particles varied a lot. The process of removing cheese dust was not as effective stated by the manufacturer. Based on the results of this study it is suggested that the samples should be taken from cheese whey only because the concentration of cheese fines was higher compared to washing water.

Based on the results of the thesis a small investigation was conducted in Valio's Development and Research Department concerning the particle size of the cheese fines. The results of that study supported the results of this thesis.

Keywords whey, cheese dust, ultrafiltration

Pages 46 p. + appendices 5 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TYÖN RAJAUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	2
3	UF-SYÖTTEEN KOOSTUMUS	2
3.1	Hera	2
3.1.1	Happaman ja makean heran erot	3
3.1.2	Juustopölyn muodostumiseen ja määrään vaikuttavat tekijät	4
3.2	Huuhdevedet pakkauskoneilta.....	5
4	PÖLYNPOISTOPROSESSI.....	5
4.1	Heraseula.....	5
4.2	Heralinko	6
4.3	Herapastööri	7
5	KALVOSUODATUSTEKNIIKAT – ULTRASUODATUS.....	7
5.1	Kalvotekniikat ja kalvosuodatus	8
5.1.1	Suodatustavat.....	8
5.1.2	Erilaisia kalvosuodatustekniikoita.....	9
5.1.3	Kalvosuodatus heran käsittelyssä	10
5.1.4	Ultrasuodatus	11
5.2	Kalvotyypit.....	12
5.3	Kalvomateriaalit	13
5.4	Suodatusmoduulit.....	14
5.4.1	Levysuodatin	14
5.4.2	Putkimoduuli	15
5.4.3	Spiraalisuodatin	16
5.4.4	Onttokuitumoduuli	17
6	KALVOJEN LIKAANTUMINEN	18
6.1	Konsentraatiopolarisaatio.....	18
6.2	”Fouling” eli likaantuminen	18
6.3	Kalvomateriaalin vaikutus likaantumiseen	19
6.4	Prosessiolosuhteiden vaikutus likaantumiseen.....	20
6.4.1	pH ja lämpötila	20
6.4.2	Syöttövirtaus ja paine-ero.....	21
6.4.3	Tangentiaalivirtaus	21
6.4.4	Heran konsentrintikerroin.....	22
6.4.5	Pölypitoisuus	22
6.5	Ultrasuodattimen pesu.....	22
7	MATERIAALIT JA MENETELMÄT.....	24
7.1	Näytteenottosuunnitelma.....	24
7.2	Pölypitoisuuden määrittäminen.....	25
8	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	26

8.1	Normaalisuustesti	26
8.2	Käsittelyryhmien väliset erot	28
8.2.1	Näytetyyppi	28
8.2.2	Näytteenottoaika	30
8.2.3	Erotukset ennen seula/seulan jälkeen ja ennen linkoa/lingon jälkeen ..	32
8.3	Keskiarvot	34
8.4	Korrelaatiot.....	36
8.4.1	Juustohera seulan jälkeen	37
8.4.2	Pesuedet seulan jälkeen	37
8.4.3	Juustohera lingon jälkeen	38
8.4.4	Pesuedet lingon jälkeen	39
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	41
	LÄHTEET	44

Liite 1	Näytteenottosuunnitelma
Liite 2	Näytteenottolomake
Liite 3	Tulokset juustohera
Liite 4	Tulokset pesuedet
Liite 5	Tulokset juustoheraa + pesuvesiä

1 JOHDANTO

Valio Oy on Suomen suurin maidonjalostaja. Valion tuotantolaitoksia on Suomessa 13 paikkakunnalla. Seinäjoen tehdas on yksi Valion suurimmista ja monipuolisimmista tuotantolaitoksista. Seinäjoen Valiolla valmistetaan kaikki Valion ravintorasvat, raejuustot ja rahkat sekä lisäksi Valio Gefilus® ja Hevi® shot -tehojuomat.

Seinäjoella valmistetaan kaikki Valion raejuustot. Juustonvalmistuksen yhteydessä erottuu heraa, jota käytetään WPC:n (Whey Protein Concentrate) eli heraproteiinkonsentraatin valmistuksessa. WPC valmistetaan suodattamalla juustoheraa ultrasuodatinkalvojen läpi, jolloin syntyy arvokkaita heraproteiineja sisältävää heraproteiinkonsentraattia sekä permeaattia. Permeaatti ajetaan UF-suodattimen rinnalla toimivalle RO-suodattimelle rahkaheran sekaan suodatettavaksi. WPC myydään Valion Lapinlahden ja Haapaveden tehtaille, joissa sitä jatkojalostetaan ja käytetään mm. lastenruokien valmistuksessa.

Ultrasuodatukseen tulevan syötteen laatu vaihtelee riippuen siitä, onko se pelkkää juustoheraa vai onko mukana myös pakkauskoneilta tulevia huuhtovesiä. Heran koostumuksen lisäksi pölynpoistossa käytettävien heraseulan ja heralingon pölynpoistokyky vaikuttaa UF-syötteen pölypitoisuuteen. Heran pölypitoisuus on yksi oleellinen tekijä ultrasuodatuskalvojen likaantumisessa ja vaikuttaa täten myös kalvojen peseytyvyyteen.

UF-syötteen pölypitoisuuksissa on ollut suuria eroja, ja ultrasuodattimen toiminta on ollut vaihtelevaa. Työn tavoitteena oli selvittää, millaista vaihtelua sisältyy syötteeseen, jota ajetaan ultrasuodattimelle suodatettavaksi. Lisäksi selvitettiin, millainen näytteenottokäytännön tulisi olla, jotta saataisiin riittävästi tietoa siitä, toimiiko pölynpoistoprosessi optimaalisesti.

2 TYÖN RAJAUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Työ rajattiin koskemaan ultrasuodatusta ja sen raaka-aineena toimivan juustoheran koostumusta. Erityisesti juustoheran pölypitoisuus on tutkimuksen aiheena.

Käytännön osassa tutkitaan heran pölypitoisuutta ennen pölynpoistoprosessia ja pölynpoistoprosessin jälkeen. Käytännön osassa esitetään näytteenotossuunnitelma ja näytteet sekä niistä saadut tulokset.

Työn kirjallisessa osassa selvitetään yleisesti kalvosuodatustekniikoita ja niihin liittyviä tekijöitä. Työssä keskitytään pääasiassa ultrasuodatukseen. Kalvojen merkitys ja kalvojen likaantumiseen vaikuttavat tekijät ovat erityisesti tarkastelun kohteena. Lisäksi perehdytään pölynpoistoprosessiin ja tarkastellaan heran koostumusta.

Alla on esitetty tutkimuskysymykset, joihin tällä opinnäytetyöllä pyritään löytämään vastaukset:

1. Miten näytteenottohetki ja syötteen koostumus vaikuttavat pölypitoisuuteen?
2. Miten syötteen pölypitoisuus vaikuttaa ultrasuodattimen toimintaan?
3. Millaisella näytteenotolla saadaan selville laitteiston toimintakunto?

3 UF-SYÖTTEEN KOOSTUMUS

Ultrasuodattimelle menevä syöte koostuu juustoherasta sekä pakkauskoneiden pesu- että rakeiston huuhteluvesisistä. Välillä syötteessä on pelkkää juustoheraa ja välillä pelkkiä pesuvesiä, tai juustoheraa ja pesuvesiä voi olla sekaissin.

3.1 Hera

Hera on juustonvalmistuksen ja kaseiinin tuotannon yhteydessä saatava sivutuote. Jokaista juustokiloa kohden syntyy noin 8–9 litraa heraa. Hera sisältää suunnilleen 50 % maidon alkuperäisistä ravinteista, joita ovat liukoiset proteiinit, laktoosi, vitamiinit ja mineraalit. (Bylund 2003, 345.)

Ennen kalvosuodatustekniikoiden kehittymistä 1970-luvulla heraa pidettiin jätteenä, jolla ei ollut mitään arvoa. Sitä kipattiin suoraan meriin ja jokiin, levitettiin pelloille tai vietiin sioille ruuaksi. Luontoon levittäminen aiheutti ympäristöongelmia johtuen heran korkeasta biokemiallisen hapenkulutuksesta eli BOD:stä. Nykyään heraa pidetään arvokkaana raaka-aineena, ja sitä käytetäänkin funktionaalisten tai terveystuotteiden elintarvikkeiden valmistuksessa. Pääosa heran käsittelystä tähtää heraproteiinien talteenottoon. (Gésan-Guiziu 2013, 133.)

Heran koostumus vaihtelee riippuen valmistusprosessista. Vaikuttavina tekijöinä ovat valmistettavan juuston tyyppi, maidon lämpökäsittelyt sekä kaseiinin poistoon käytetyt keinot. Heraa on pääasiassa kahta erilaista: ns. makeaa heraa (sweet whey) ja hapanta heraa (acid whey). Pääosa kaikesta tuotetusta herasta on makeaa heraa.

Makeaa heraa saadaan juustojen valmistuksesta, missä kaseiinin saostaminen tapahtuu juoksetteen avulla. Makean heran pH on lähellä alkuperäisen maidon pH:ta, eli noin 6,0–6,6. Hapan hera syntyy maitohappokäymisen avulla valmistetuista tuoreista juustoista kuten raejuustosta tai maidon kemiallisesta saostamisesta kaseiinin isoelektriseen pisteeseen. Hapoheran pH on matala, noin 4,6 (kaseiinin isoelektrinen piste). (Gésan-Guiziou 2013, 133–146; Bylund 2003, 345–352; Riera Rodríguez, Fernández Martínez & Muro Urista 2014, 1–8.)

Hera koostuu suunnilleen 94 % vedestä ja 6 % kuiva-aineesta. Kuiva-aineesta noin 4,5 % on laktoosia, 0,8 % proteiineja ja 0,7 % mineraaleja. Taulukossa 1 on vertailtu sekä makean että happaman heran koostumuksia. Heran sisältämistä proteiineista tärkeimmät ovat α -laktalbumiini, β -laktoglobuliini sekä naudan seerumi albumiini (BSA), ja lisäksi lakroferriini ja immunoglobuliinit. (Kilara & Vaghela 2004, 72; Ramchandran & Vasiljevic 2012, 193–207.)

Taulukko 1 Makean ja happaman heran koostumukset (Riera Rodríguez, F.A., Fernández Martínez, A. & Muro Urista, C. 2014. Characteristics and composition of sweet and acid wheys. Teoksessa Gorawala, P. (toim.) Agricultural Research Updates, Volume 8. Hauppauge, NY, USA: Nova Science Publishers, Inc. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10913178&p00=Agricultural+Research+Updates%2C+Volume+8>, 3.)

	Makea hera	Hapan hera
pH	5,9–6,3	4,3–4,6
Kuiva-aine (%)	6,4	6,2
Rasva (%)	0,5	0,04
Laktoosi (%)	4,6	4,0
Maitohappo (%)	0,05	0,8
Mineraalit (%)	0,5	0,8
Proteiinit ja muut typpiyhdisteet (%)	0,8	0,7

3.1.1 Happaman ja makean heran erot

Kuten taulukosta 1 nähdään, hapan hera sisältää vähemmän laktoosia ja proteiinia kuin makea hera. Laktoosin määrä johtuu siitä, että hapoherassa juustomaitoon lisätyt maitohappobakteerit ovat käyttäneet enemmän laktoosia ravinnokseen. Tästä seuraa taas suurempi happaman heran maitohappopitoisuus. Makealla heralla on korkea laktoosipitoisuus ja siksi sitä käytetäänkin laktoosin tuotannossa. Proteiiniolosat ovat muuten samanlaiset sekä makealla että happamalla heralla, mutta happamassa herassa ei ole kaseinomakropeptidejä (ts. kaseiini glykomakropeptidejä). Glykomakropeptidi vapautuu kappakaseiinista entsyymaattisen reaktion seurauksena eli täten

sitä ei yleensä esiinny happoherassa. Raejuuston valmistuksessa muodostuneessa happamassa herassa sitä saattaa kuitenkin olla, koska valmistuksessa juustomaitoon lisätään pieni määrä juoksetta. Taulukosta 5 nähdään myös, että rasvapitoisuus happamalla heralla on huomattavasti alempi kuin makealla heralla. Tämä johtuu siitä, että hapanta heraa saadaan mm. raejuuston valmistuksesta, jossa juustomaitona käytetään rasvatonta maitoa.

Happaman heran mineraalipitoisuus on suurempi kuin makeassa herassa johtuen happamien olosuhteiden aiheuttamasta mineraalien (kalsium ja fosfaatti) vapautumisesta kaseiinimiselleistä. Yksi merkittävä ero herojen välillä on se, että happohera sisältää kalsiumfosfaattia, jota ei makeassa herassa ole ollenkaan tai sitä on hyvin pieniä määriä. Kalsiumfosfaatti vaikuttaa oleellisesti kalvojen likaantumiseen, koska se vaikuttaa konsentraatiopolarisaation syntymiseen kalvon pinnalle ja täten vähentää permeaattivuota. Toisaalta happoheran matalampi pH nostaa permeaattivirtausta, joka taas vähentää kalvoille kertyvien partikkeleiden määrää. (Glover 1985, 84; Gésan-Guiziu 2013, 135; Sienkiewicz & Riedel 1990, 28–35.)

3.1.2 Juustopölyn muodostumiseen ja määrään vaikuttavat tekijät

Juustopöly on heraan jäänyttä erittäin hienojakoista juustoa (partikkelikoko < 1 mm). Sitä muodostuu juustonvalmistuksen aikana juoksettuman leikkauksen ja juuston keiton sekä hämmennyksen aikana. Juustopölyn jääminen heraan pienentää saantoa ja lisäksi se haittaa suodatusta tukkimalla kalvoja. Juustopöly pyritäänkin poistamaan ennen suodatusta esimerkiksi seulan ja/tai erityisen pölyn poistoon tarkoitetun lingon avulla.

Juustopölyä syntyy aina juustonvalmistuksen yhteydessä. Jos syntyvän juustopölyn määrä on suuri, on yleensä joko valmistusreseptissä tai raaka-aineessa jokin virhe. Lisäksi juustopölyn muodostumiseen ja sen määrään vaikuttavat paljon käytettävät laitteet ja niiden tekniset ratkaisut. Esimerkiksi juustopölyä syntyy huomattavasti enemmän käytettäessä lankaleikkureita. Lankaleikkurit ovat aina tylsiä, toisin kuin veitsileikkurit. Leikkureiden ikä ja kunto vaikuttavat muutenkin leikkauksen onnistumiseen.

Saostuman ominaisuudet vaikuttavat suuresti juustopölyn syntyyn. Maidon korkea pH tekee saostumasta heikon ja lisää pölyn määrää. Myöskään liian matala pH ei ole hyvä, koska tällöin saostuma voi olla jo liian kiinteä, ja sitä on vaikea leikata. Liian korkeat lämpökäsittelyt maidolle aiheuttavat proteiinien denaturoimista ja niiden kasvanut määrä heikentää saostumaa ja lisää pölyn määrää. Lisäksi juustomaitoon lisättävällä hapatteella ja sen aktiivisuudella on vaikutusta saostuman ominaisuuksiin. Myös lämpötilojen erot kattilassa vaikuttavat saostumaan ja sitä kautta pölyn muodostumiseen.

Valtaosassa juustojen valmistuksessa käytetään juoksetta juuston saostamiseen. Juoksettumisella ja leikkaushetkellä on suuri vaikutus pölyn muodostumiseen. Jos saostuma leikataan liian aikaisin, jää saostuma liian pehmeäksi ja pölyä muodostuu enemmän. Myös juoksetteen hyvä sekoittuminen on tärkeä tekijä pölyn muodostumisen ehkäisemiseksi. Jos juoksete ei ole sekoittunut hyvin, saostumaan syntyy juoksettumattomia alueita, jotka

vaikuttavat pölyn muodostumiseen leikkauksen aikana. Myös liian vähäinen juoksetemäärä tekee saostumasta heikon. Seinäjoen Valiolla juustomaidon saostaminen tapahtuu happosaostuksen avulla. Juustomaitoon lisätään kuitenkin pieni määrä juoksetta saostuman ominaisuuksien parantamiseksi, mutta juoksetelisäys on niin pieni, että sillä tuskin on suurta vaikutusta pölyn muodostumiseen. (Huumonen, sähköpostikeskustelu 5.11.2015; Uusi-Rauva, sähköpostikeskustelu 9.11.2015)

Leikkauksen voimakkuudella ja leikkausnopeudella on myös vaikutusta pölyn määrään. Everard, O’Callaghan, Mateo, O’Donell, Castillo & Payne (2008) tutkivat saostuman leikkauksen voimakkuuden ja eri sekoitusnopeuksien vaikutusta heraan jäävään juustopölyn määrään juoksetteella saostetun juuston valmistuksessa. Heikko leikkaus ja nopeampi sekoitusnopeus lisäsivät tutkimuksen mukaan juustopölyn sekä rasvan määrää herassa. Leikkauksen voimakkuuden ei todettu vaikuttavan rakeiston synereesiin juuri ollenkaan, mutta sillä oli huomattava vaikutus juustopölyn määrään herassa. Rakeiston heikko leikkaus ja nopea sekoitus aiheuttivat rakeiston rikkoutumista, jolloin juustopölyä syntyi enemmän ja se jäi heran erotuksessa heraan. Heikon leikkauksen ja nopean sekoituksen seurauksena syntyy isompia juustorakeita, jotka törmäilevät enemmän sekoittajiin sekä toisiinsa ja täten ovat alttiimpia rikkoutumaan, jolloin syntyy hienojakoista juustopölyä. Leikkauksen voimakkuudella ja leikkaushetkellä on siis suuri merkitys pölyn muodostumisessa.

3.2 Huuhdevedet pakkauskoneilta

Juustoheran lisäksi ultrasuodattimelle menevä syöte sisältää juuston jäädytyksestä ja rakeiston pesusta tulleita vesiä sekä raejuuston pakkauskoneiden pesuvesiä. Vesiä kerääntyy pölynpoistoprosessin purkusäiliöihin sitä mukaa kun kattiloita puretaan ja pakkauskoneita pestään. Eli välillä säiliöissä on sekaisin sekä juustoheraa että pesuvesiä tai pelkkiä pesuvesiä.

4 PÖLYNPOISTOPROSESSI

UF-suodattimelle menevän juustoheran tulee olla pastöroitua, koska suodatuksen seurauksena syntyneitä retentaattia eli WPC:tä käytetään elintarvikkeena mm. lastenruokien valmistuksessa. Ennen pastörintia herasta poistetaan juustopölyä heraseulan ja lingon avulla.

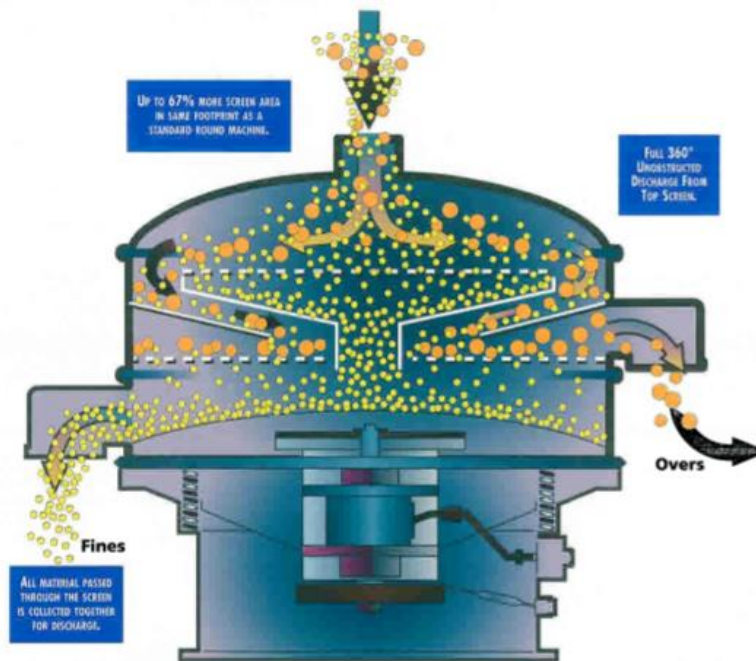
Seinäjoella valmistettavien juustojen määrä on päivässä noin 8 kattilaa. Herälämmönvaihtimella ajetaan yleensä kaksi ajoa päivässä. Laitteet pestään ajojen jälkeen. Laitteet ovat vaihdellen 8–18 tuntia toiminnassa, tosin välillä kierrolla. 24 tunnin käynnissä oloa pyritään välttämään, jotta laitteet pysyvät toimintakykyisinä ja tehokkaina poistamaan juustopölyä.

4.1 Heraseula

Pölynpoistoprosessi alkaa kun hera pumpataan purkusäiliöistä seulalle. Hera syötetään seulalle yläkautta. Seulan sisällä on kaksi metalliverkkoa

päällekkäin, joiden läpi hera kulkee. Seulan pohjalla on moottori, joka tärisyttää verkkoja. Kun hera kulkee ensimmäisen verkon läpi, kulkee puhtas hera sen läpi, ja pöly jää verkon päälle. Tärisävä verkko kuljettaa pölyn ulkolaitoja pitkin vielä alemmalle verkolle. Partikkelit, jotka eivät läpäise verkkoja, kuljetetaan seulan laitojen kautta välisäiliöön, josta ne siirretään erillisiin biojätessäiliöihin. Puhdistettu hera kulkee seulan jälkeen ilmanerotussuppiloon, jonka tarkoituksena on poistaa ilmaa herasta, koska linko ei toimi, jos herassa on ilmaa. Käytännössä hera seisoo ilmanerotussuppilossa jonkin aikaa ennen lingolle syöttöä.

Seinäjoen heraseula on merkiltään Swecon Avalanche. Kuva 1 esittää seulan rakennetta ja toimintaa.



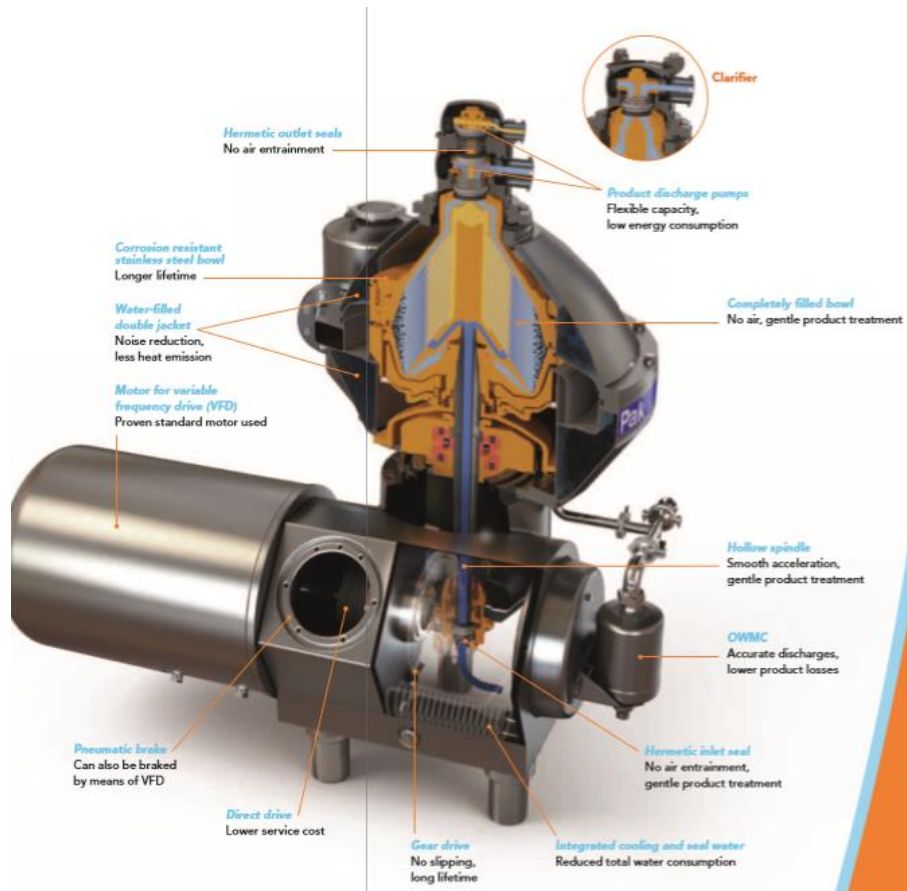
Kuva 1 Sweco Avalanche heraseula. Hera syötetään yläkautta ja se kulkee kahden tärisävien verkon läpi, jotka poistava herasta pölyä. (kuva SWECON laite-esitteestä)

4.2 Heralinko

Heraseula ei pysty poistamaan kaikkea juustopölyä herasta, joten seulan jälkeen hera kulkee vielä lingon kautta. Heralinko toimii samalla periaatteella kuin separaattori, eli sen toiminta perustuu keskipakovoimaan. Heraa syötetään alakautta lingolle, ja lingon pyöriessä yli 5 000 kierrosta minuutissa raskaampi juustopöly kulkeutuu lingon ulkolaidoille puhdistetun heran kulkeutuessa ylhäältä ulos. Juustopöly kulkee lingon laitoja pitkin tyhjennussuppiloon, ja linko tekee osittaistyhjennyksen neljän minuutin välein. Osittaistyhjennys tehdään paineen ja veden avulla siten, että paineistettu vesi puhdistaa ja huuhtelee lingon. Huuhdevedet otetaan talteen riippuen vesien pölypitoisuudesta. Linkoon mahtuu yhteensä 10 kg juustopölyä ja huuhteluvesiä.

Seinäjoella oleva linko on Tetra Pakin Tetra Centri® AirTight (Kuva 2, s. 7). Linko on tarkoitettu erityisesti heran puhdistamiseen. Valmistajan mukaan lingon tulisi pystyä poistamaan syöttestä pölyä siten, että kun lingolle

tulevan syötteen pölypitoisuus on maksimissaan 0,500 %, poistaa linko pölyä tasolle 0,020 % edellyttäen syöttövirtauksen olevan 25 000 l/h.



Kuva 2 Tetra Centri® AirTight heraliningon ulkonäkö ja rakenne (kuva Tetra Pakin laite-esitteestä)

4.3 Herapastööri

Lingon jälkeen puhdistettu hera kulkee pastöörin syöttösuppilon, josta se jatkaa pastöörille. Pastöroinnilla pyritään tuhoamaan herassa olevat bakteerit sekä mahdollisesti jäljellä olevia maitohappobakteereja. Herapastööri on rakenteeltaan tavallisen levylämmönvaihtimen mallinen. Heraa pastöroidaan 72 °C:ssa noin 15–20 sekuntia, ja pastöroinnin jälkeen hera kulkee jäähdynpakan kautta herasäiliöön odottamaan suodatusta.

5 KALVOSUODATUSTEKNIIKAT – ULTRASUODATUS

Alla on listattu tärkeää sanastoa liittyen kalvosuodatukseen ja yhteen sen sovelluksista, ultrasuodatukseen:

- cut-off-arvo = minimi molekyyliaino, jonka yli menevät molekyylit kalvo pystyy pidättämään, eli kuinka suuren osan tietyn painoisten molekyylien kulkeutumisesta kalvon läpi kalvo pystyy estämään
- diasuodatus = veden lisääminen syöttövirtaukseen, jolloin saadaan huuhdottua kalvon läpi kulkevia komponentteja, eli ultrasuodatuksen tapauksessa poistettua tehokkaammin laktoosia ja suoloja

- ”fouling” = kalvojen likaantuminen, ei voida estää, ainut keino poistaa pesemällä kalvot
- konsentraatiokerroin = tilavuuden vähentyminen liuosta konsentroidessa, alkuperäisen syötön tilavuuden suhde konsentroidin jälkeiseen retentaatin tilavuuteen
- konsentraatiopolarisaatio = partikkeleiden kertyminen kalvon pinnalle, voidaan poistaa, aiheuttaa kalvojen likaantumista ellei poisteta
- paine-ero = suodatuksen ajava voima, kalvon syöttöpuolen ja permeaattipuolen välisten paineiden ero
- permeaatti = kalvon läpi kulkeva neste
- permeaattivuo (J) = permeaattivirtaus, kalvon läpäisseen nesteen eli permeaatin virtausmäärä suodatuspinta-alaa kohti, yksikkönä l/m²h
- puoliläpäisevä kalvo = kalvo, joka sallii tietyn kokoisten molekyylien läpäisyn ja pidättää toisen kokoiset molekyylit
- retentaatti = kalvon pidättämä neste, sisältää kaikki kalvon pidättämät ainesosat sekä lisäksi permeaatin sisältävät partikkelit
- syöttö = suodatettava liuos
- syöttövirtaus = syötön keskimääräinen virtausnopeus kalvon yli, yksikkö m/s
- tangentialivirtaus = syöttö kulkee kalvojen suuntaisesti, estää kakkeroksen muodostumista kalvolle ja täten ehkäisee kalvojen likaantumista. (Glover 1985, 14–16; Sahlstein 2005.)

5.1 Kalvotekniikat ja kalvosuodatus

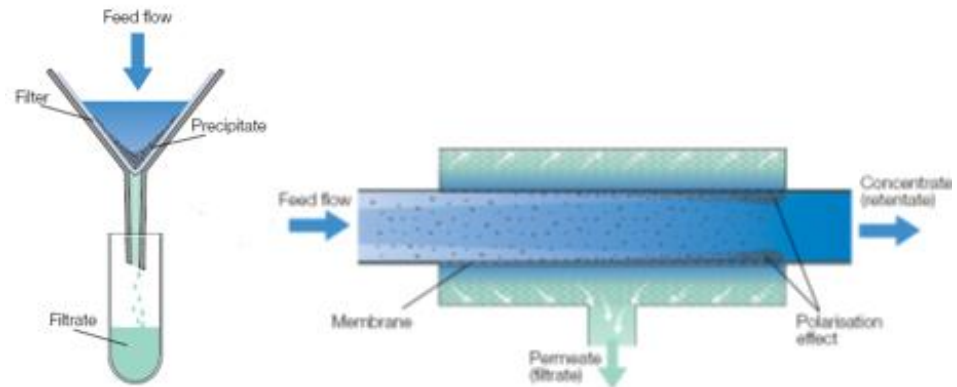
Kalvotekniikoilla tarkoitetaan erotustekniikoita, joissa aineosia erotetaan rakenteellisesti erilaisten kalvojen läpi. Ainesosien erottuminen ja kalvon läpäisykyky voi perustua molekyylikokoon, sähköiseen varaukseen tai liukoisuuteen. Erotukseen tarvitaan jokin ajava voima – voima, joka saa molekyylit liikkeelle. Ajavana voimana voi toimia paine-ero, pitoisuusero tai sähkökenttä. Kalvosuodatustekniikoiden ajavana voimana toimii paine-ero. Erona perinteiseen suodatustekniikkaan verrattuna kalvosuodatuksen yhtenä tärkeimpänä erona on se, että kalvosuodatuksella pystytään erottelemaan myös liukoisia komponentteja.

Kalvosuodatustekniikoilla pyritään yleisesti konsentroimaan, puhdistamaan tai fraktioimaan erilaisia yhdisteitä ja molekyyylejä nesteissä. Kalvosuodatustekniikoiden etuna on se, että niissä ei tarvita ulkoisia lisäaineita kuten liuottimia. Lisäksi prosessit toimivat maltillisissa lämpötiloissa, jolloin ne eivät vaikuta biologisten yhdisteiden rakenteeseen, niillä on matala energiankulutus ja laitteistot ovat helposti laajennettavissa. Kalvosuodatustekniikoilla ei ole myöskään suurta vaikutusta ympäristön kuormitukseen. (Amaro Riera, Fernández & Muro 2014, 3; Sahlstein 2005, 1–2.)

5.1.1 Suodatustavat

Kalvosuodatus voidaan järjestää joko ns. ”dead-end”-suodatuksena tai ”cross-flow”-suodatuksena (Kuva 3, s. 9). ”Cross-flow”-suodatus on yleisempi suodatustapa. Siinä on yksi syöttövirtaus, joka jakaantuu kahteen tuotvirtaan: retentaattiin eli konsentraattiin, joka sisältää kalvon pidättämät

ainekset sekä permeaattiin, joka sisältää kalvon läpäisseet ainesosat. Huomioitavaa on, että retentaatti sisältää myös jossain määrin kaikkia kalvon läpäisseitä ainesosia. Suodatettava aine syötetään suodatuskalvolle kalvon suuntaisesti eli tangentiaalisesti, mikä vähentää kalvolle muodostuvan kakukerroksen syntymistä ja täten kalvon likaantumista. ”Dead-end”-suodatuksessa ei ole kuin yksi tuotevirta. Ajavana voimana toimii pääasiassa painovoima, ja erillistä painetta voidaan käyttää tehostamaan suodatusta. Suodatinkalvon pinnalle muodostuu helposti suodatuskakku kalvon pidättämisestä ainesosista. (Bylund 2003, 132.)



Kuva 3 Vasemmalla ”dead-end” -suodatus ja oikealla ”cross-flow” -suodatus. ”Cross-flow” -suodatuksessa syöttö jakaantuu kahdeksi tuotevirraksi: retentaatiksi ja permeaatiksi (Jensen, D. esitysmateriaali PowerPoint-diat. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu.)

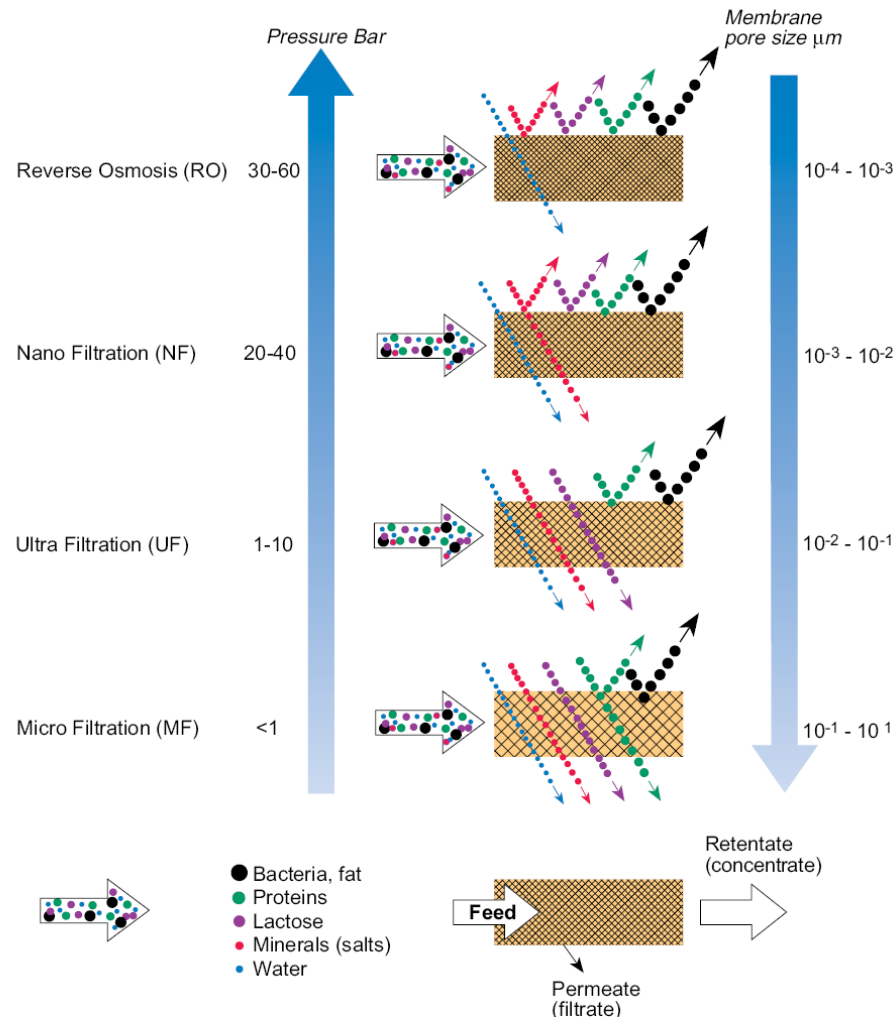
5.1.2 Erilaisia kalvosuodatustekniikoita

Kalvosuodatustekniikoita on neljä erilaista: mikrosuodatus (MF), ultra-suodatus (UF), nanosuodatus (NF) ja käänteisosmoosisuodatus (RO). Kalvosuodatustekniikat eroavat toisistaan kalvojen huokosten koon perusteella sekä käytettyjen paineiden perusteella. Mikro- ja ultrasuodatuksessa kalvoilla on suurimmat huokoskoot ja suodatuksessa käytetään matalia paineita. Nano- ja RO-suodatuksessa on taas päinvastoin pienimmät huokokset ja korkeimmat paineet. Kalvosuodatustekniikoiden eroja on kuvattu taulukossa 2. (Pouliot, Conway & Leclerc 2014, 46.)

Taulukko 2 Eri kalvotekniikoiden vertailua mm. kalvojen huokoskoon, paineen ja permeaattivuon avulla (Pouliot, Y., Conway, V. & Leclerc, P-L. 2014. Typical performance parameters of pressure-driven membrane processes. Teoksessa Clark, S., Jung, S. & Lamsal, B. (toim.) Food Processing: Principles and Applications (2nd Edition). Somerset, NJ, USA: Wiley. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10856813&p00=Food+Processing%3A+Principles+and+Applications+%282nd+Edition%29>, 48.)

	MF	UF	NF	RO
Huokoskoko	0,1–5 µm	1–100 nm	0,5–10 nm	< 0,5 nm
Pienimmät poistetut partikkelit	kolloidit, bakteerit	makromolekyylit, virukset	mikromolekyylit, ionit	kaikki liuenneet partikkelit
Paine (bar)	1–10	1–10	10–30	35–100
Permeaattivuo (l/m ² h)	100–1000	50–200	20–50	10–50

Mikrosuodatuskalvot päästävät läpi kaikki muut komponentit paitsi liukenemattomat partikkelit. Ultrasuodatuskalvot pidättävät kaikki liukenemattomat aineet sekä lisäksi proteiinit. Nanosuodatinkalvot pidättävät edellisten lisäksi myös laktoosin ja osan suoloista. RO-suodatinkalvot pidättävät kaikki komponentit ja sallivat ainoastaan veden läpäisyn. Kuvassa 4 nähdään eri suodatuskalvojen erottamat ainekset, suodatuksessa käytetyt paineet sekä kalvojen huokoskoot.



Kuva 4 Käänteisosmoosin, nanosuodatuksen, ultrasuodatuksen ja mikrosuodatuksen kalvojen erottelamat ainesosat, paineet ja huokoskoot (Jensen, D. esitysmateriaali PowerPoint-diat. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu.)

5.1.3 Kalvosuodatus heran käsittelyssä

Heran prosessoinnissa voidaan käyttää kaikkia edellä mainittuja kalvosuodatustekniikoita. Mikrosuodatusta käytetään pääasiassa heran esikäsittelyssä poistamaan bakteereja ja rasvaa. Ultrasuodatuksella on monia käyttötapoja heran käsittelyssä. Ultrasuodatusta käytetään pääasiassa heraproteiinien konsentroinnissa. Tällöin syntyy WPC:tä (Whey Protein Concentrate) ja laktoosirikasta permeaattia. UF-suodatusta voidaan käyttää tämän laktoosirikkaan permeaatin esikonsentroinnissa kun valmistetaan laktoosia. Lisäksi UF-suodatusta voidaan käyttää toissijaisena käsittelynä heran mikrosuodatukselle. Nano- ja RO-suodatusta käytetään pääasiassa

heran tai heran UF-permeaatin demineralisoinnissa tai konsentroinnissa. (Ramchandran & Vasiljevic 2012, 197–200.)

5.1.4 Ultrasuodatus

Ultrasuodatus (UF) on yksi neljästä kalvosuodatustekniikasta. Ultrasuodatuksessa (kuten mikrosuodatuksessakin) erottuminen perustuu pääosin molekyylien kokoon, eli siihen, kuinka hyvin ne mahtuvat kalvon huokosten läpi. Ultrasuodatuksessa erotuskyvyn mittana käytetään molekyylimassaa, koska moolimassa vastaa riittävän tarkasti molekyylin fyysistä kokoa. Kalvon erotuskyky ilmoitetaan ns. cut-off-arvon avulla. MWCO (Molecular Weight Cut-Off) tarkoittaa pienintä molekyylikokoa, jonka kalvo pystyy pidättämään. Cut-off-arvo vaihtelee 1 000–500 000 Da:n välillä. Ultrasuodatuksessa käytettävät paineet ovat melko matalia, 1–10 bar. Kuten yleensä kalvosuodatusmenetelmissä, syöttö virtaa kalvoille tangentialisesti ja osa syötön aineksista erottuu kalvon läpi permeaattiin. Kalvon läpäisemättömät partikkelit pidättyvät retentaattiin. Ultrasuodatinkalvot pidättävät proteiinia, rasvaa ja liukenemattomia suoloja ja päästävät lävitseen laktoosia, liukenevia suoloja sekä suurimman osan vedestä (Kuva 5). (Sahlstein 2005, 12; 26–27; Onwulata & Huth 2008, 5.)



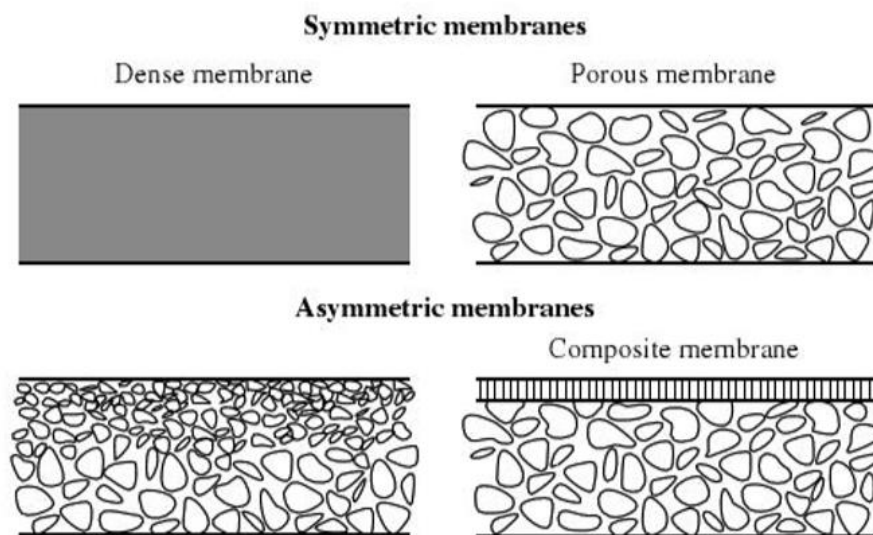
Kuva 5 Ultrasuodatuskalvo pidättää partikkelit, kolloidit, bakteerit sekä proteiinit (retentaatti) ja päästää lävitseen sokerit, suolat ja veden (permeaatti) (Jensen, D. esitysmateriaali PowerPoint-diat. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu.)

Ultrasuodatuksen käyttö heran käsittelyssä alkoi 1970-luvun alussa. Ultrasuodatusta käytetään mm. heraproteiinitivisteiden eli WPC:n (Whey Protein Concentrate) valmistamiseen. Heraproteiinitivisteet sisältävät proteiinia noin 20–89 % riippuen valmistusprosessista. WPC-35 (proteiinia 35 %) on yksi yleisesti valmistettu tuote. Kun ultrasuodatuksen liitetään ns. diasuodatus, niin proteiinin määrä saadaan nostettua yli 50 %:iin. Diasuodatuksessa retentaattiin lisätään vettä, jolloin saadaan huuhdottua mineraaleja ja laktoosia permeaattiin. WPI (Whey Protein Isolate) sisältää proteiinia yli 90 %, ja siitä on likimain kaikki laktoosi poistettu. WPI:n valmistukseen on usein liitetty ioninvaihtotorni, joka poistaa molekyyliä koon sijasta ionivaihtamisen perusteella. WPC:llä ja WPI:llä on monia hyviä ominaisuuksia:

suuri proteiinipitoisuus, vähän rasvaa ja kaloreita, ei patogeenejä tai myrkyllisiä aineita, hyvät emulgointiominaisuudet ja sopivuus muiden ainesosien kanssa käytettäväksi. Heraproteiinitäivisteitä käytetäänkin paljon mm. leipomo-, juoma- ja makeisteollisuudessa. Heran ultrasuodatuksessa suositellaan mm. pH:n säätöä tai esikonsentroitua kalvojen likaantumisen vähentämiseksi sekä suodatusprosessin toiminnan parantamiseksi. (Onwulata & Huth 2008, 6.)

5.2 Kalvotyypit

Suodatinkalvot jaetaan niiden rakenteen mukaan kahteen tyyppiin: symmetrisiin (tai isotrooppisiin) ja asymmetrisiin (ei-isotrooppisiin) kalvoihin. Kalvojen eroja on kuvattu kuvassa 6. Symmetrisillä kalvoilla tarkoitetaan kalvoja, jotka ovat samaa materiaalia ja joiden molemmat pinnat ovat samantyyppisiä. Symmetriset kalvot voivat olla tiheitä tai huokoisia. Symmetristen kalvojen huokokset ovat samankokoisia. Asymmetrisissä kalvoissa pintana toimii selektiivinen kalvo, joka tekee varsinaisen komponenttien erotuksen. Loppu kalvo toimii lähinnä kalvon rakenteen tukena. Asymmetriset kalvot voivat olla myös ns. komposiittikalvoja. Tavallisissa asymmetrisissä kalvoissa kalvomateriaali on kauttaaltaan sama, kun taas komposiittikalvoissa kalvon pintana toimii ohut polymeerikerros ja alapuolella eri materiaalista valmistettu huokoinen kalvorakenne. Huokosten kanssa samaa kokoa olevat komponentit tukkivat helposti symmetriset kalvot, kun taas asymmetriset kalvot eivät tukkeudu niin helposti. Ultrasuodatinkalvojen rakenne on pääosin asymmetrinen. (Cui, Jiang & Field 2010, 5–6; Sahlstein 2005, 6–7, Glover 1985, 34–36; Hausmann, Duke & Demmer, 2012, 24–25.)



Kuva 6 Symmetristen ja asymmetristen kalvojen rakenteiden erot. Asymmetrisissä kalvoissa pintana toimii selektiivinen kalvo, joka tekee erotuksen ja loppuosa kalvosta toimii tukirakenteena. (Hausmann, Duke & Demmer, 2012. Classification of commercial membranes based on morphology, structure, showing cross-sections. Teoksessa Tamime, A.Y. (toim.) Society of Dairy Technology series: Membrane Processing: Dairy and Beverage Applications. Somerset, NJ, USA: John Wiley & Sons. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10657917&p00=Society+of+Dairy+Technology+series%3A+Membrane+Processing>, 25.)

5.3 Kalvomateriaalit

Kalvomateriaali on oleellinen asia suodatinlaitteistoa koottaessa. Materiaalin tulee olla sopiva tarkoitettujen nesteiden prosessointiin ja sen tulee kestää prosessin olosuhteet. (Amador Riera ym. 2014, 4.)

Kalvomateriaalit jaetaan orgaanisiin ja epäorgaanisiin materiaaleihin tai toisin sanottuna polymeerisiin ja keraamisiin materiaaleihin. Orgaanisia materiaaleja ovat mm. selluloosa-asetaatti (CA), polysulfoni (PS), polyeetterisulfoni (PES), polyvinylidenefluoridi (PVDF) ja polypropyleeni (PP). Polymeeristen kalvojen etuja ovat niiden edulliset valmistuskustannukset sekä helppo valmistettavuus. Lisäksi ne soveltuvat huokoskokonsa vuoksi useisiin kalvosuodatustarkoituksiin ja ovat suuresti käytössä teollisuuden eri aloilla. Orgaanisilla kalvoilla on kuitenkin usein rajoituksia joko yhden tai useamman prosessiparametrin suhteen, kuten pH:n, paineen, lämpötilan tai kemiallisten aineiden kestävyys suhteen. Epäorgaaniset eli keraamiset kalvot on valmistettu useimmiten titaani-, alumiini- tai zirkoniaoksidoista (Sahlstein 2005, 5). Niiden etuina on hyvä lämmönkestävyys sekä kemiallinen kestävyys. Epäorgaaniset kalvot kestävät jopa äärimmäisiä olosuhteita kuten sterilointia. Haittana on kalvojen hauraus: ne voivat helposti hajota pudottamisesta tai liiallisesta värinästä. Suurin haitta keraamisilla kalvoilla on kuitenkin niiden hinta, koska ne ovat huomattavasti kalliimpia kuin orgaaniset kalvot. Keraamisia kalvoja ei ole myöskään saatavissa muille kuin ultrasuodattimille ja mikrosuodattimille. (Cui ym. 2010, 6.)

Parhaimmat kalvomateriaalit kestävät korkeita lämpötiloja sekä kemikalleja. Lisäksi kalvojen tulee olla hydrofiilisiä, jotta kalvojen likaantumista saadaan estettyä. Ultrasuodatinkalvot ovat useimmiten tehty selluloosa-asetaatista, polysulfonista, zirkoniumoksidoista tai muista keraamisista materiaaleista. Polysulfonit ovat suosittuja ultrasuodattimissa niiden korkean lämpötilan ja laajan pH-alueen kestävyys takia. (Hansen 1985, 187; Onwulata & Huth 2008, 5; Glover 1985, 34.)

Taulukossa 3 on esitetty eri kalvomateriaaleja ja niiden sopivuutta eri suodatusmoduuleihin sekä niiden kestävyttä lämmön, pH:n ja kloorin suhteen.

Taulukko 3 Eri kalvomateriaalien vertailua suodatintyyppiin, lämpötilan, pH:n ja kloorin kestävyys sekä kokoonpanon kannalta. (Pouliot, Y., Conway, V. & Leclerc, P-L. 2014. Characteristics of commercially available membranes.. Teoksessa Clark, S., Jung, S. & Lamsal, B. (toim.) Food Processing: Principles and Applications (2nd Edition). Somerset, NJ, USA: Wiley. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10856813&p00=Food+Processing%3A+Principles+and+Applications+%282nd+Edition%29>, 48.)

Materiaali	Suodatin				Kestävyys			Kokoonpano			
	MF	UF	NF	RO	Lämpötila	pH	Kloori	Spiraali-suodatin	Onttokuitusuodatin	Putki-suodatin	Levy-suodatin
Polysulfoni	x	x	x		80	0-14	hieman	x	x		x
Polyamidi	x	x	x	x	80	0-14	hieman	x			x
Selluloosa-asetaatti	x	x	x	x	80	2-8	huono	x	x		x
Keraaminen	x	x	x		1000	0-14	hyvin			x	
Hiili	x	x	x		1000	0-14	hyvin			x	

5.4 Suodatusmoduulit

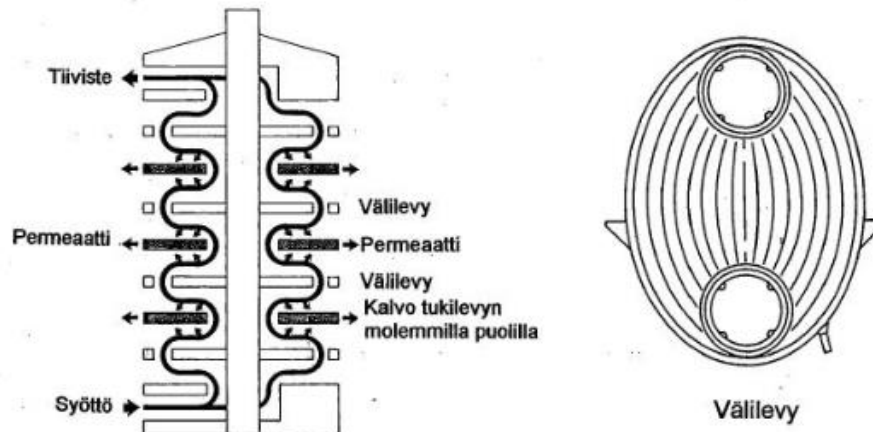
Kalvomoduuleja on markkinoilla olemassa neljä erilaista: levysuodatin, putkimoduuli, spiraalisuodatin ja onttokuitumoduuli. Suodattimien modulaarisen rakenteen ansiosta kalvojen huolto ja kunnossapito on helppo järjestää ja lisäksi pieneen tilaan saadaan sisällytettyä suuri suodatuspinta-ala (Sahlstein 2005, 33). Heran ultrasuodatuksessa suosituimmat kalvomoduulit ovat spiraalisuodatin ja onttokuitumoduuli (Ramchandran & Vasiljevic 2012, 198).

Tärkeitä tekijöitä kalvomoduuleja valittaessa ovat seuraavat:

- suuri pakkaustiheys: mahdollisimman paljon suodatuspinta-alaa pieneen tilavuuteen
- matala tangentialivirtauksen vastus: vähemmän kitkaa, vähemmän energian kulutusta ja pienempi paineen pudotus retentaatin virtauskanavassa
- ei ”kuolleita” alueita: virtauksen jakautuminen tasaisesti
- suuri turbulenssi retentaatin puolella vähentää likaantumista ja edistää aineensiirtoa
- helppo puhdistettavuus ja huolto
- matalat kustannukset. (Berk 2009, 245.)

5.4.1 Levysuodatin

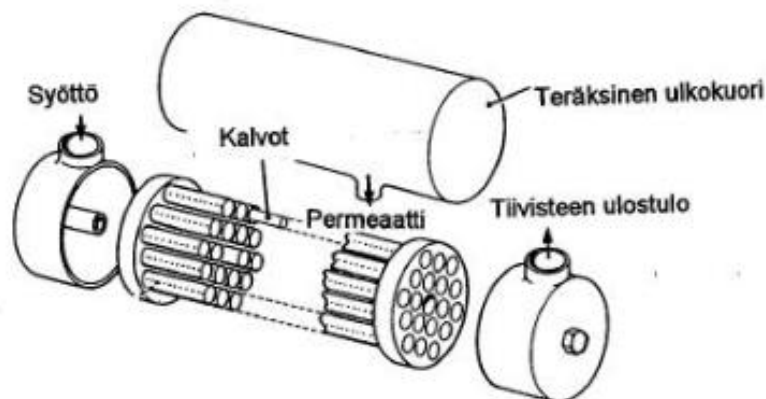
Levysuodatin ”plate and frame” (Kuva 7, s.15) on vanhin kalvotekninen moduuliratkaisu. Levysuodattimessa kalvot on kiinnitetty muovisen välilevyn molemmille puolille. Levyjä valitaan tarvittava haluttua suodatuspinta-alaa vastaava määrä ja kalvoista syntynyt pino puristetaan tiukasti yhteen. Välilevyjen pintakuviointi muodostaa virtauskanavia, joita pitkin permeaatti kulkee. Levysuodattimet soveltuvat hyvin korkeaviskositeettisten aineiden suodattamiseen, koska niiden virtauskanavat ovat lyhyitä. Heikkouksina levymoduuleilla on pieni suodatuspinta-ala, korkea hinta sekä vuotoherkkyys. Levysuodattimia voidaan käyttää ainoastaan matalissa paineissa, eli se soveltuu vain mikro- ja ultrasuodatukseen. (Sahlstein 2005, 36–37; Berk 2009, 247.)



Kuva 7 Levysuodattimen rakenne, välilevyssä virtauskanavat joita pitkin permeaatti kulkee (Sahlstein, J. 2005. Levysuodattimen periaatepiirros. Kalvotekniikat -opetusmoniste. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu, 37.)

5.4.2 Putkimoduuli

Putkimoduulissa ”tubular membrane” (Kuvat 8 ja 9, s. 16) suodatinkalvot on rakennettu jäykkien putkien sisäpinnalle. Kalvomateriaaleina toimivat joko polymeerit tai keraamiset materiaalit. Putket on yhdistetty päätylevyihin ja aseteltu yhdensuuntaisesti erillisen teräksisen ulkokuoren sisälle. Suodatettava neste syötetään putkien sisälle, ja permeaatti kulkee suodatuskalvojen läpi putken ulkopinnalle. Putkien halkaisijat vaihtelevat noin kymmenestä millimetristä kahteenkymmeneenviiteen. Suuresta halkaisijasta on hyötyä kalvojen puhdistamisessa ja tutkimisessa, ja lisäksi suuren tangentialivirtauksen ansiosta putkisuodatin soveltuu erinomaisesti isoja partikkeleita sisältävien nesteiden suodattamiseen. Putkisuodattimissa retentaatti virtaa normaalisti putkien sisällä permeaatin suodattuessa kalvojen läpi putken ulkopinnalle. Usein putkisuodattimissa virtausten suunta voidaan vaihtaa, jolloin kalvojen puhdistaminen ja pesu helpottuu. Putkimoduulin huonoin puoli on pieni suodatuspinta-ala suhteessa tilavuuteen. (Berk 2009, 248–249; Sahlstein 2005, 35.)



Kuva 8 Putkimoduulin rakenne (Sahlstein, J. 2005. Putkimoduulirakenteisen suodattimen rakenne. Kalvotekniikat -opetusmoniste. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu, 35.)

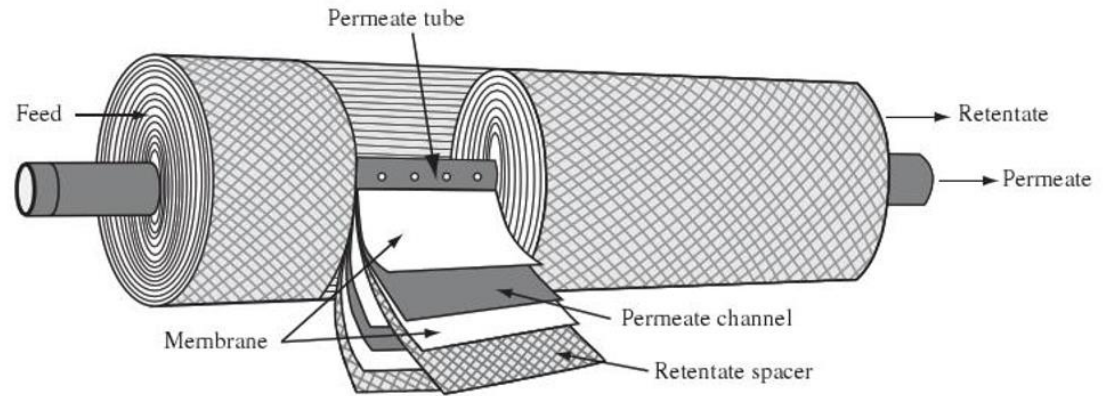


Kuva 9 Putkimoduulisuodatin, putkien määrä ja halkaisijan koko vaihtelee (Berk, Z. 2008. Tubular membrane module. Food Process Engineering and Technology. Elsevier. Viitattu 15.9.2015 Saatavissa Elsevier-tietokannassa: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFPET0002/food-process-engineering/food-process-engineering>, 248.)

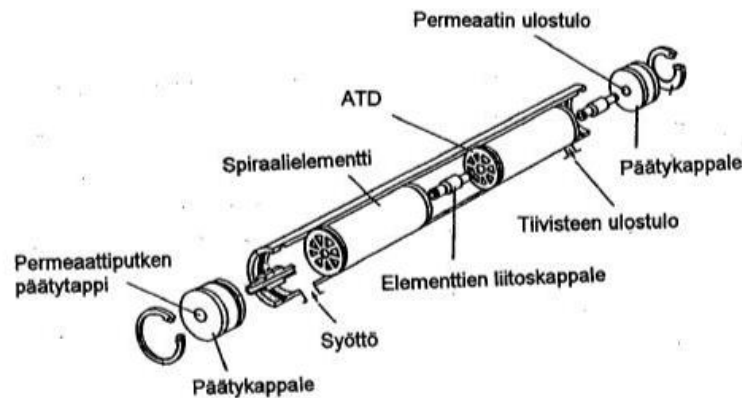
5.4.3 Spiraalisuodatin

Spiraalisuodattimen ”spiral wound” (Kuva 10, s. 17) perusrakenne muodostuu kahdesta suodatinkalvosta, spacereistä eli huokoisista välikappaleista sekä permeaattiputkesta, jonka ympärille kalvot on kääritty. Spiraalisuodattimissa käytetyt kalvomateriaalit ovat pääasiassa polymeerejä (Bylund 2003, 136.) Vastakkain asetetut suodatinkalvot on liimattu kolmesta reunasta yhteen, jolloin ne muodostavat pussimaisen rakenteen. Avoin pää on kiinnitetty rei’itettyyn permeaattiputkeen. Pussin sisään on asetettu verkkoomainen välikappale, ns. spacer, jota pitkin permeaatti kulkee permeaattiputkeen. Suodatinkalvojen ulkopuolille on myös asetettu verkkomaiset spacerit, joita pitkin syöttövirtaus kulkee. Näitä suodatinkalvoja ja spacereitä on usein monta päällekkäin. Koko kokoonpano on rullattu permeaattiputken ympärille, jolloin muodostuu kääretorttumaisen rakenne. Sylinterimäiset suodatinmoduulit kootaan peräkkäin putkimaiseen paineastiaan ja yhdistetään välikappaleiden avulla toisiinsa (Kuva 11, s. 17). Keskusputki, jonka ympärille kalvot on kääritty, suljetaan toisesta päästä ja putken toinen pää liitetään permeaattilinjaan.

Spiraalisuodattimet ovat yksi käytetyimmistä suodatinmoduuleista. Niiden etuja ovat suuri suodatuspinta-ala pienessä tilassa, alhaisimmat investointi- ja käyttökustannukset sekä monipuolisuus. Haittapuolina on kalvojen tukkeutuminen: liuenneet partikkelit tukkivat helposti spacerit ja täten heikentävät suodatustehoa. Yleisesti suositellaankin syötön esikäsittelyä vähentämään liuenneita partikkeleita. (Cui ym. 2010, 8; Berk 2009, 247; Sahlstein 2005, 33–34.)



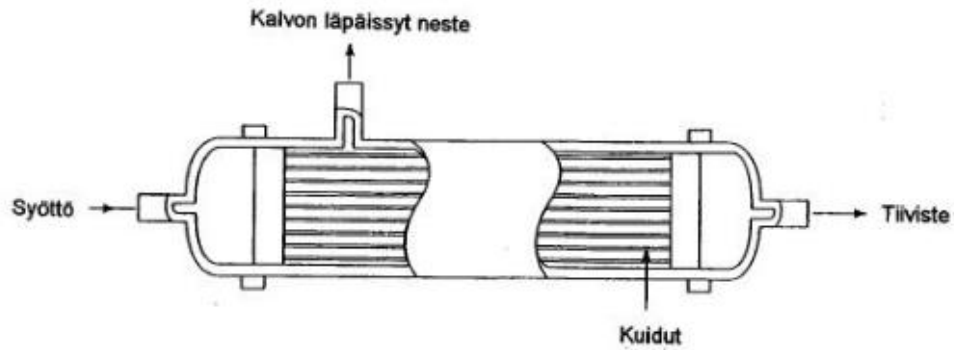
Kuva 10 Spiraalisuodattimen rakenne, kalvot on rullattu kääretorttumaisesti permeaattiputken ympärille (Smith, K. 2012. *Spiral-wound membrane configuration*. Teoksessa Tamime, A.Y. (toim.) *Society of Dairy Technology series: Membrane Processing: Dairy and Beverage Applications*. Somerset, NJ, USA: John Wiley & Sons. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10657917&p00=Society+of+Dairy+Technology+series%3A+Membrane+Processing> 59.)



Kuva 11 Suodatinkalvorullat kootaan peräkkäin putkimaiseen paineastiaan (Sahlstein, J. 2005. *Spiraalielementeistä koottu suodatin*. Kalvotekniikat -opetusmoniste. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu, 34.)

5.4.4 Onttokuitumoduuli

Onttokuitumoduuli ”hollow fibre” (Kuva 12, s. 18) muistuttaa rakenteeltaan putkisuodattimia. Erona on putkien koko: onttokuitusuodattimessa suodatinkalvoina toimivien kuitujen halkaisija on vain muutamia millimetrejä tai alle. Kalvokuidut kootaan halutun kokoiseksi kimpuksi ja asetetaan suoja-kuoren sisään. Kuituja on tavallisesti noin 50–3 000 kappaletta. Kalvomateriaalina toimivat useimmiten polymeerit (Bylund 2003, 137.) Hyviä puolia onttokuitumoduulissa on suuri pinta-ala pienessä tilassa sekä tarkka erotuskyky. Kalvot tulevat kuitenkin kalliiksi. Huonoja puolia on myös kalvojen likaantuminen, koska ohuet kuidut tukkeutuvat ja likaantuvat helposti. Tämä rajoittaa onttokuitumoduulien käyttöä matalaviskositeettisten nesteiden suodatuksessa. Kalvot ovat kuitenkin helpoiten puhdistettavissa, niissä pystytään muuttamaan virtauksen suuntaa inside-out- tai outside-in-tyyliin. Onttokuitusuodattimia käytetään pääasiassa RO-suodattimissa. (Berk 2009, 249; Sahlstein 2005, 36; Pouliot ym. 2014, 47–48.)



Kuva 12 Onttokuitusuodattimen rakenne, suodatinkalvoina toimivat kuidut on asetettu kimpuna suojakuoren sisään (Sahlstein, J. 2005. Onttokuitumoduulin rakenne. Kalvotekniikat -opetusmoniste. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu, 36.)

6 KALVOJEN LIKAANTUMINEN

Suodatinkalvojen likaantuminen on suurin haittapuoli kalvosuodatustekniikoissa. Likaantuminen vaikuttaa prosessin toimintaan ja kustannuksiin. Kalvojen likaantumiseen ja permeaattivuon vähenemiseen vaikuttaa kaksi tekijää: konsentraatiopolarisaatio sekä ”fouling” eli likaantuminen. Likaantumiseen vaikuttavat prosessiolosuhteet sekä kalvon ja syötön ominaisuudet.

Kalvojen likaantumisen estämiseksi suositellaan syötön esikäsitteilyä, kuten esisuodatusta, kompleksinmuodostusaineiden käyttöä, demineralisointia tai lämpökäsitteilyä. (Linden & Lorient 1999, 191.)

6.1 Konsentraatiopolarisaatio

Konsentraatiopolarisaatiolla tarkoitetaan liuenneiden tai kalvon pidättämien ainesosien kerääntymistä kalvon pinnalle. Kalvosuodatuksessa kaikki syötön ainesosat kulkeutuvat kalvon pinnalle konvektion avulla, ja pinnalle kulkeutuneiden aineksien määrä lisääntyy koko ajan samalla, kun permeaattia virtaa kalvon läpi. Tällöin pidättyvien aineiden konsentraatio kalvon pinnalla kasvaa, ja kalvolle muodostuu ns. kakkukerros. Kalvolle kertynyttä likakerrosta on mahdollista vähentää esimerkiksi säätämällä prosessiparametreja kuten painetta, syöttönopeutta tai syötön uudelleenkierrätysnopeutta. (Pouliot ym. 2014, 49; Cui ym. 2010, 8; Hansen 1985, 188.)

6.2 ”Fouling” eli likaantuminen

Toisin kuin konsentraatiopolarisaatio, likaantuminen on peruuttamaton tapahtuma. Likaantuminen vie suodatuspinta-alaa ja täten heikentää prosessia ja pienentää permeaattivuota. Ainoa keino parantaa prosessin suorituskykyä on lopettaa suodatus ja pestä kalvot. Kalvojen likaantumista ei voi estää, ja siksi onkin tärkeää suunnitella prosessi niin, että likaantumista tapahtuu mahdollisimman vähän. Likaantuminen voi tapahtua useammalla tavalla, kuten partikkeleiden adsorptoitumisella kalvon pinnalle tai huokosten tukkeutumisella. Likaantuminen voi johtua liuenneista epäorgaanisista suoloista, makromolekyyleistä (proteiinit, hiilihydraatit ja rasvat), kemiallisista

reagensseista tai mikro-organismeista. Makromolekyylit, kuten proteiinit, voivat adsorptoitua kalvoihin tai muodostaa geeli- tai kakkukerroksen kalvon pinnalle. Epäorgaaninen likaantuminen aiheutuu suoloista ja ioneista, jotka tukkivat kalvon huokokset. Kalsium ja fosfaatti voivat saostua kalvon pinnalle. Biologinen likaantuminen taas aiheutuu bakteerien muodostamista biofilmeistä kalvojen pinnalle. Taulukosta 4 nähdään esimerkkejä likaantumista aiheuttavista tekijöistä ja likaantumistyypeistä kalvosuodatustekniikoissa. Likaantumiseen vaikuttavat liuenneiden aineiden pitoisuudet sekä syötteen ominaisuudet, kalvotyyppi ja materiaali (hydrofiilisius), huokosten koko ja kalvomoduulin hydrodynaamiset ominaisuudet (turbulenssi ym.). (Amador Riera ym. 2014, 11–13; Pouliot ym. 2014, 49–50; Cui ym. 2010, 12.)

Taulukko 4 Esimerkkejä likaantumista aiheuttavista tekijöistä ja likaantumistyypeistä kalvosuodatustekniikoissa (Cui, Z.F., Jiang, Y. & Field, R.W. 2010. Examples of Foulants and Fouling Modes in Membrane Processes. Teoksessa Cui, Z.F., and Muralidhara, H.S. (toim.) Membrane Technology: A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing. Saint Louis, MO, USA: Elsevier Science & Technology. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10427574&p00=Membrane+Technology%3A+A+Practical+Guide+to+Membrane+Technology+and+Applications+in+Food+and+Bioprocessing>, 12.)

Likaantumisen aiheuttaja	Likaantumisen tyyppi
Isot liuenneet partikkelit	Suodatettavan liuoksen alkuperäiset tai prosessissa syntyneet isot partikkelit voivat tukkia suodatuskanavia
Pienet kolloidiset partikkelit	Kolloidiset partikkelit voivat muodostaa likakerroksen kalvolle
Makromolekyylit	Geelin tai kakkukerroksen muodostuminen kalvon pinnalle ja huokosten tukkeutuminen
Pienet molekyylit	Orgaanisten molekyyliden likaava vuorovaikutus muovisiin kalvoihin
Proteiinit	Vuorovaikutus kalvon tai kalvon huokosten välillä
Kemialliset reaktiot	Pitoisuuden tai pH:n nousu voi aiheuttaa suolojen hydroksidien saostumista
Biologiset tekijät	Bakteerien kasvu kalvon pinnalle ja solun ulkoisten polymeerien erityy

Heran suodatukseen käytettävien UF-kalvojen likaantuminen johtuu mm. jäännösrasvasta herassa (ei raejuustoherassa, koska valmistettu rasvattomasta maidosta), proteiinien kertymisestä kalvojen pinnalle sekä kalsiumfosfaatin saostumisesta. (Gésan-Guiziu 2013, 139.)

6.3 Kalvomateriaalin vaikutus likaantumiseen

Kalvotyypit ja materiaalit vaikuttavat likaantumiseen oleellisesti. Kalvomateriaalit, huokoskoko sekä pinnan hydrofiilisius vaikuttavat likaantumiseen. Hydrofobiset kalvot adsorboivat proteiineja kun taas hydrofiiliset kalvot vetävät puoleensa enemmän mineraaleja kuten kalsiumia. Täten hydrofiiliset kalvot eivät ole niin herkkiä likaantumiselle kuin hydrofobiset. UF-kalvot ovat aina hydrofiilisiä, jolla pyritään välttämään proteiinien adsorboitumista. (Pouliot ym. 2014, 52.)

6.4 Prosessiolosuhteiden vaikutus likaantumiseen

Prosessin olosuhteet vaikuttavat myös likaantumiseen. Cross-flow-suodatus on parempi kuin dead-end-suodatus, jossa kalvon pidättämät ainekset muodostavat helposti kalvon pinnalle suodatinkakkukerroksen. Paine-eron, lämpötilan ja turbulentsisuuden säätö voivat pienentää kalvojen likaantumista. Korkea paine saa poistettua kakkukerrosta kalvon päältä sekä estää uuden muodostumista. Suodatettavan liuoksen nopea uudelleenkierrättäminen estää myös kalvolle kerääntyvien ainesten aiheuttamaa likaantumista. Korkeampi lämpötila voi vähentää syötön viskositeettia ja täten parantaa kalvon permeabiliteettia. Kuitenkaan liian korkeita lämpötiloja ei ole hyvä käyttää pelkästään kalvon kestävyuden kannalta mutta myös proteiinien denaturoitumisen takia. Likaantumista voidaan estää myös käyttämällä turbulentsisuutta aiheuttavia kiihdykkeitä, jotka vähentävät konsentraatiota kalvon pinnan lähellä. Backflushing (tai backpulsing) eli syöttövirran suunnan kääntäminen irrottaa myös kalvolle kertyneitä partikkeleita ja näin puhdistaa kalvoja. (Pouliot ym. 2014, 52.)

Kuo ja Cheryan (1983) tutkivat prosessiparametrien vaikutusta kalvojen likaantumiseen suodatettaessa happoheraa (raejuustosta) spiraalimallisella ultrasuodattimella. Tutkimuksessa tutkittiin pH:n, lämpötilan, syöttövirtauksen ja paineen vaikutusta kalvojen likaantumiseen. Johtopäätöksinä todettiin, että pH:n säätö ja liukenemattomien partikkeleiden erottaminen vähentävät kalvojen likaantumista. Lisäksi tutkimuksessa ilmeni, että korkea syöttövirtaus on hyvä vain kun paine-ero kalvojen välillä oli alle tietyn kriittisen arvon (tässä tutkimuksessa 350 kPa). Suodatusajan pidentyessä syöttövirtauksella eikä paine-erolla ollut merkittävää vaikutusta likaantumiseen, jonka he arvelivat johtuvan likaantumistyylin muuttumisesta kalvon pinnan likaantumisesta kalvon huokosten tukkeutumiseen partikkelien vaikutuksesta.

6.4.1 pH ja lämpötila

Heran suodatuksessa suositellaan usein syötön esikäsitteilyä kuten pH:n säätöä. Kuon ja Cheryanin (1983) mukaan pH:n nosto happoheran normaalista pH:sta (4,6) pH:seen 7,0 tai pH:n lasku noin 2:een tai 3:een vähentää kalvojen likaantumista ja permeaattivuon alenemista. pH:n säätö vaikuttaa kalsiumfosfaatin saostumiseen. Haptoherassa on kalsiumia yli kaksinkertainen määrä makeaan heraan verrattuna ja suurin osa kalsiumista on liukene-mattomassa kolloidisessa kalsiumfosfaatin muodossa. Kalsiumfosfaatti vaikuttaa kalvojen likaantumiseen kahdella tavalla: se voi joko saostua kalvon pinnalle tai absorboitua kalvolle. pH:n lasku happamampaan suuntaan aiheuttaa kalsiumfosfaatin liukenemista, jolloin se suodattuu helpommin kalvon läpi. pH:n noston likaantumista ehkäisevä vaikutus taas perustuu siihen, että kun pH säädettiin tasolle 7, hera puhdistettiin linkoamalla pH-säädön jälkeen, jolloin liukenemattomat partikkelit saatiin helposti pois. Tällöin hera oli jopa verrattavissa pH 2:een säädetyin heran kanssa.

Seinäjoen tehtaalla ei tehdä pH-säätöä, koska heran pH on jo hyvin alhainen ja kalsiumin liukoisuus suuri. Makella heralla pH säädetään aina, koska muuten kalsiumfosfaattia saostuu kalvojen pinnalle heikentäen niiden suodatuskykyä. (Heino, sähköpostikeskustelu 5.11.2015)

Lämpötila vaikuttaa kalvojen likaantumiseen siten, että korkeampi lämpötila laskee syötön viskositeettia, jolloin permeaattivuo kasvaa. Kuo ja Cheryan (1983) totesivat tutkimuksessaan saman. Liian korkeita lämpötiloja ei ole kuitenkaan hyvä käyttää kalvon kestävyuden kannalta mutta myös proteiinien denaturoitumisen takia (Pouliot ym. 2014, 52).

6.4.2 Syöttövirtaus ja paine-ero

Virtausnopeuden kasvattaminen vähentää kalvojen likaantumista, koska virtauksen nopeutuessa kalvolle ei ehdi kertyä niin paljoa kalvoa läpäisemättömiä partikkeleita.

Kuon ja Cheryanin (1983) tutkimuksessa esiintyi yhteys virtausnopeuden ja paine-eron välillä. Paine-eron ollessa matala tai keskitasoa syöttövirtauksen nostaminen nosti permeaattivuota ja vähensi likaantumista, mutta kun käytettiin korkeita paineita, niin ajan kuluessa korkea syöttövirtaus kiihdyttikin likaantumista. Tutkimuksessa selvisi, että paineen kasvaessa permeaattivuo kasvoi. Matalilla syöttövirtauksilla paineella oli vähäistä tai ei minkäänlaista vaikutusta kalvojen likaantumiseen. Korkeilla syöttövirtauksilla paineella oli permeaattivuota kasvattava vaikutus paine-eron ollessa tietyllä alueella, mutta kun paine-ero kasvoi suuremmaksi, kalvojen likaantuminen oli niin suurta, että se aiheutti permeaattivuon romahduksen.

Kuo ja Cheryan esittivät oman teoriansa, jossa he pohtivat kalvojen likaantumisen lisääntymistä. Heidän mukaansa syöttövirtauksen ollessa korkea kalvolle ajautuu enemmän suodatettavia ainesosia, mutta myös partikkeleita poistuu samaan tahtiin. Tästä seuraa että likaantumista aiheuttavien partikkelien määrä ja näiden poistumisen välinen suhde on pienempi kuin käytettäessä matalaa syöttövirtausta. Näin olikin suodatuksen alussa, kunnes tietyn ajan kuluttua suodatuksen aloituksesta likaantuminen kiihtyi. Kuo ja Cheryan arvelivat muutoksen johtuvan pienistä liukoisista partikkeleista kuten laktoosista ja suoloista, jotka normaalisti kulkeutuvat kalvon lävitse, mutta tässä tapauksessa adsorboituivat tai jäivät jumiin kalvon huokosiin. Näitä jumissa olleita partikkeleita kertyi koko ajan lisää, ja lopulta ne kristallisoituivat tai saostuivat kalvon huokosiin ja täten aiheuttivat likaantumisen ja permeaattivuon romahduksen. (Kuo & Cheryan 1983.)

6.4.3 Tangentiaalivirtaus

Cross-flow suodatuksessa suodatettava liuos syötetään kalvolle tangentiaalisesti eli kalvon suuntaisesti. Syöttö jakaantuu kahteen virtaan: retentaattiin ja permeaattiin. Tangentiaalisen virtauksen avulla kalvon pidättämät partikkelit jatkavat matkaansa retentaatin mukana, eivätkä muodosta kakkukerrosta kalvon pinnalle. Tangentiaalivirtaus ylläpitää tasaista permeaattivuota. (Cui ym. 2010, 4; Hansen 1985, 179.)

6.4.4 Heran konsentrintikerroin

Heran konsentrintikertoimella tarkoitetaan syöttövirtauksen suhdetta re-tentaattivirtaukseen. Konsentrintikertoimeen vaikuttaa suodatinkalvojen tyyppi sekä itse suodatettava liuos. Ultrasuodattimella kalvoille konsentroituu proteiinit, joten sen konsentrintikerroin voi olla melko korkea, esimerkiksi 30. Toisaalta taas RO-suodattimella konsentroituu kaikki kuiva-aine, jolloin sen konsentrintikerroin jää matalaksi. (Heino, sähköpostikeskustelu 5.11.2015) Konsentrintikerroin vaikuttaa likaantumiseen siten, että mitä isompi kerroin on, sen suurempi likaantumisherkkyys kalvoilla on, koska kalvoille konsentroituu enemmän kuiva-ainetta.

6.4.5 Pölypitoisuus

Pölypitoisuus on myös yksi kalvojen likaantumiseen vaikuttava tekijä. Seinäjoen Valiolla pölyn määrä on ollut yli suodatinlaitteistolle suositellun määrän (> 0,020 %). Pölypitoisuus vaikuttaa suodattimen toimintaan tukkimalla kalvoja. Spiraalisuodattimissa pöly tukkii kalvojen feed spacereitä eli välikalvoja, ja täten estää nesteen luonnollisen virtaamisen kalvojen läpi. Suodatuskyky heikkenee ja suodattimen suodatuskapasiteetti laskee. Tämä nähdään syöttö- ja permeaattivirtauksen alenemisena. Juustopölyn aiheuttama kalvojen tukkeutuminen voi johtaa suodatinkalvojen suodatuskyvyn pysyvään heikentymiseen ja tukkeutumisen ollessa voimakasta mikrobiologisiin ongelmiin. Suodattimen pesulla saadaan avattua kalvon huokosia, jolloin ainesosien suodattuminen kalvon läpi paranee ja virtaukset kasvavat. (Heino, sähköpostikeskustelu 5.11.2015)

6.5 Ultrasuodattimen pesu

Kalvojen likaantumista tapahtuu aina suodatuksen aikana. Kun kalvot ovat likaantuneet niin, että suodatuskapasiteetti laskee, tulee ne pestä. Suodatinkalvojen normaali pesu sisältää yleensä aina emäs ja happovaiheen. Lisäksi pesussa voidaan käyttää entsyymiä pilkkomaan proteiineja. Pesuresepti vaihtelee kalvojen ja suodatettavan liuoksen mukaan.

Seinäjoen Valion ultrasuodatinlaitteiston pesussa ensimmäisenä ennen varsinaista pesua on happohuuhtelu, jonka tarkoituksena on poistaa suoloja kalvon pinnalta. Pesureseptin ensimmäinen vaihe on emäsvaihe, jonka tarkoituksena on poistaa proteiinia. Pesu tapahtuu alle 50 °C:een lämpötilassa, joten pesussa on lisättävä entsyymiä. Entsyymi pilkkoo proteiinit niin, että ne irtoavat kalvoista alle 50 °C:een lämpötilassa. Entsyymiä ei tarvita, jos pesun lämpötila on yli 50 °C tai jos suodatettavassa liuoksessa ei ole proteiinia jota entsyymi pilkkoi. Emäsvaihetta (ja entsyymiä) seuraa happovaihe, jossa hapon tehtävänä on poistaa suoloja kuten kalsiumia. Hapomassa herassa oleva kalsiumfosfaatti likaa kalvoja, ja hapolla yritetään puhdistaa kalvoille saostunut kalsiumfosfaatti. Happo myös inaktivoi entsyymin, jota saattaa jäädä kalvon pinnalle välihuuhtelusta huolimatta. Lopuksi seuraa vielä toinen emäsvaihe, jonka tarkoitus on poistaa jäännöslikaa, jos sitä irtoaa vielä kalvoista. Lisäksi emäs avaa ultrasuodattimen kalvoja, jol-

loin suodatusominaisuudet palaavat. Happo tiukentaa kalvoja ja emäs puolestaan avaa niitä. Sekä alussa että lopussa ja jokaisen vaiheen välissä tapahtuu tietenkin myös välihuuhteluita. Seinäjoen Valiolla pesuissa käytettävä vesi on RO-suodatuksesta saatua RO-vettä, joka on hapanta. Loppuhuuhtelu tapahtuu kuitenkin aina ns. kaupungin vedellä eli vesijohtovedellä. (Heino, sähköpostikeskustelu 5.11.2015; Kangasalusta, sähköpostikeskustelu 11.11.2015)

7 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Nykyinen käytäntö on ollut ottaa yksi pölynäyte päivässä. Näyte on otettu heralingon jälkeen, eli kun syötteestä on poistettu juustopölyä ensin seulalla ja vielä tämän jälkeen lingolla. Lisäksi joka päivä otetaan ultrasuodattimen syöttösuppilosta näyte, josta laboratorio analysoi myös muiden analyysien lisäksi pölypitoisuuden.

7.1 Näytteenottosuunnitelma

Tutkittavia näytteitä varten tuli tehdä näytteenottosuunnitelma (Liite 1), jotta saatiin analysoitua syötteen laatua tarkasti pölynpoistoprosessin jokaisessa vaiheessa. Ultrasuodattimelle menevän syötteen koostumus vaihtelee siten, että välillä se sisältää enemmän juustoheraa ja välillä enemmän pakkaus-koneilta tulleita pesuvesiä. Tämän takia näytetyypeiksi valittiin kolme eri näytetyyppiä: A pelkkää juustoheraa, B pelkkiä pesuvesiä ja C juustoheraa sekä pesuvesiä. Kuvassa 13 (s. 25) ovat yön yli seisonet näytteet juustoherasta sekä pesuvesistä. Kuvissa näkyy kuinka pöly on laskeutunut näytelepurkkien pohjalle.

Näytteitä päätettiin ottaa mahdollisimman monesta eri kohdasta pölynpoistoprosessia, eli ennen seulaa, seulan jälkeen sekä lingon jälkeen. Näin pyrittiin saamaan kokonaiskuva pölynpoistoprosessin tehokkuudesta ja pölynpoistolaitteiden toiminnasta. Ennen seulaa otetut näytteet otettiin suoraan purkusäiliöistä 2S92 ja 2S94.

Tärkein näytteistä analysoitava ominaisuus oli heran pölypitoisuus. Tämän lisäksi näytteistä mitattiin pH ja kuiva-aine koostumuksen vaihtelujen selvittämiseksi. Lisäksi näytteenottohetkellä kirjattiin ylös muita tietoja kuten kellonaika, säiliön lämpötila ja pinnankorkeus, heralingon syöttövirtaus sekä kellonaika, jolloin heraseulan ajo ja pastörointi on aloitettu. Muut lähtötiedot kirjattiin mm. sen takia, että tiedettiin, missä vaiheessa pölynpoistoprosessia näytteet oli otettu (esim. kuinka kauan heraseula ja linko olivat olleet päällä). Lämpötilasta nähtiin myös, mitä näytetyyppiä säiliössä oli milläkin hetkellä. Näytteitä otettaessa tiedot kirjattiin erilliseen näytteenotolomakkeeseen (Liite 2).

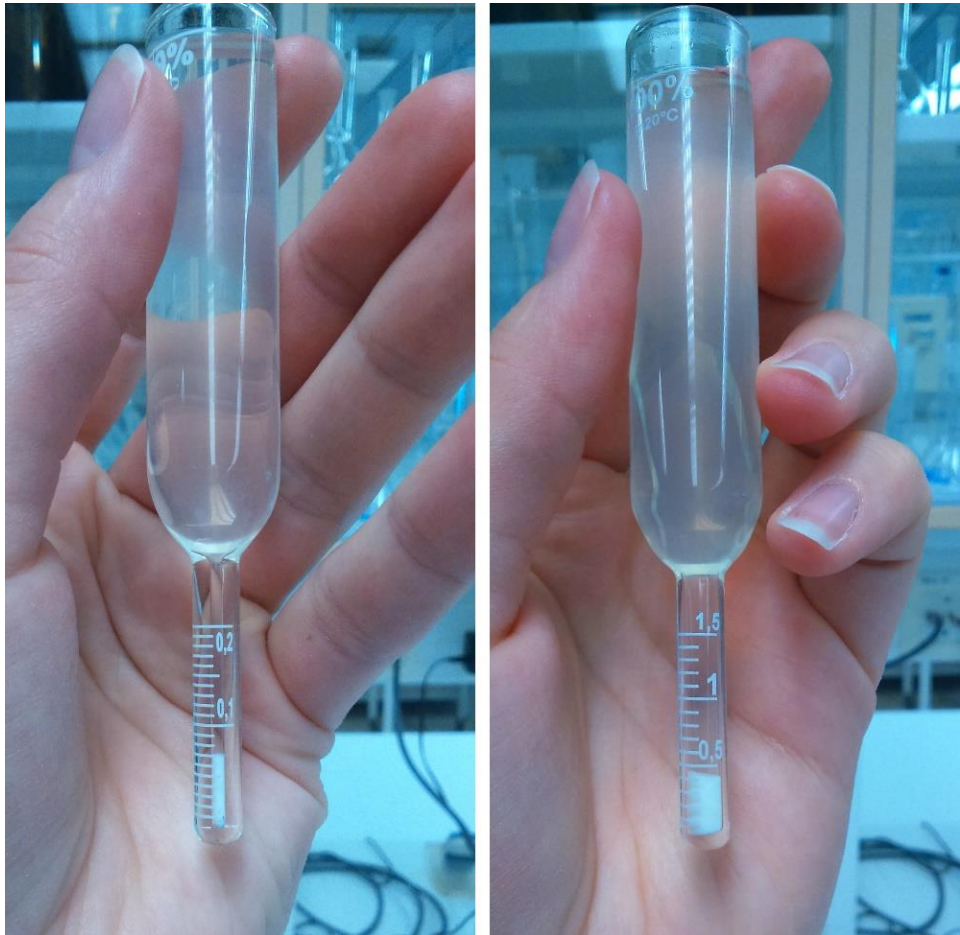


Kuva 13 Juustohera ja pesuvesi -näytteet, joiden on annettu seistä koskemattomina yön yli. Juustopöly näkyy laskeutuneen näytepurkkien pohjalle. (Kuva: Rinna Heinonen, 2015)

7.2 Pölypitoisuuden määrittäminen

Seinäjoen aluelaboratorio analysoi pääasiassa tätä työtä varten otetut pölynäytteet. Olin myös itse kerran seuraamassa ja tekemässä pölynäytteiden analysointia.

Pölypitoisuuden määrittäminen on melko yksinkertainen analyysi. Tutkittavaa näytettä pipetoidaan erityiseen ”pölyputkeen”, jossa on tietty asteikko. Putkia on erikokoisia, kuten 0,2 ja 1,5 asteikolla (Kuva 14, s. 26). Tulokset ilmoitetaan prosenteissa, eli juustopölyn prosenttiosuus tutkittavasta näytteestä. Näytettä pipetoidaan 10 ml putkeen, jonka jälkeen putkia sekoitetaan sentrifugissa 4 000 rpm:n kierrosnopeudella 10 minuuttia. Sentrifugoinnin aikana pölysakka laskeutuu putken pohjalle ja pölytulos on luettavissa asteikolta.



Kuva 14 Pölyputkia eri asteikolla, vasemmalla pölyputki pienellä 0,2 -asteikolla, käytetään juustopölyn määrittämiseen lingon jälkeen. Oikealla pölyputki 1,5 -asteikolla, käytetään juustopölyn määrittämiseen ennen seulaa ja seulan jälkeen. (Kuva: Rinna Heinonen, 2015)

8 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

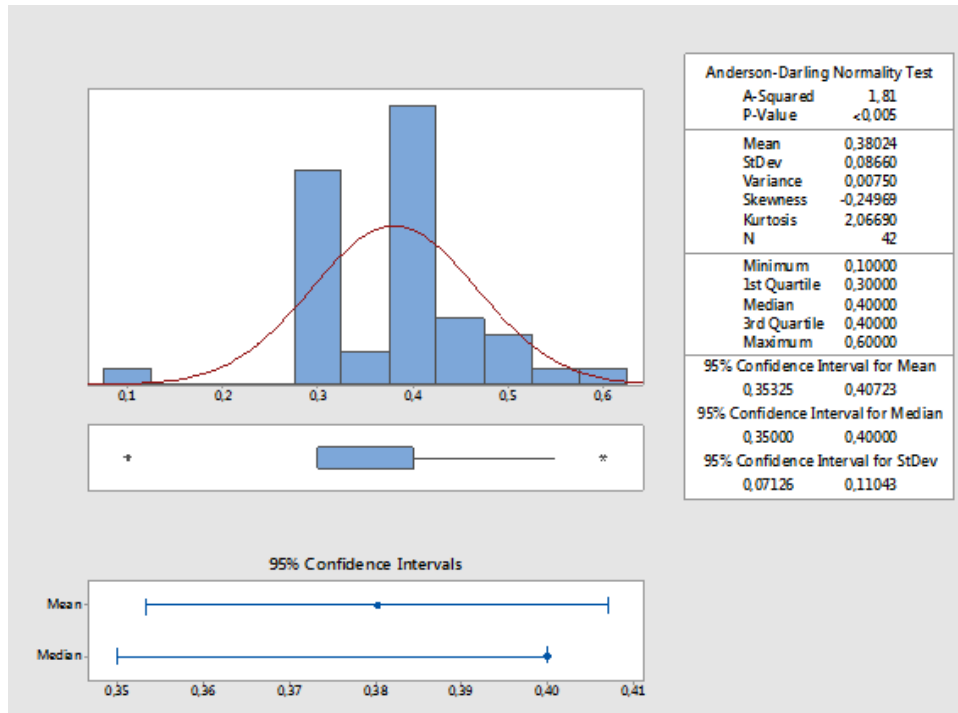
Näytteenotossa saadut tulokset ja aineisto analysoitiin käyttämällä Minitab-tilasto-ohjelmaa sekä Exceliä. Aineistoa käsiteltiin mm. varianssianalyysien ja korrelaatioiden avulla. Tulokset näkyvät liitteissä 3, 4 ja 5. Osassa tulostaulukon lähtötiedoissa on puutteita, koska osan näytteistä ottivat muut henkilöt kuin minä itse. Pölypitoisuudet on lihavoitu taulukoissa.

8.1 Normaalisuustesti

Ennen tilastollisten testien suorittamista aineistojen normaalisti jakautuminen tarkistettiin. Aineisto on normaalisti jakautunut jos P-arvo on yli 0,05.

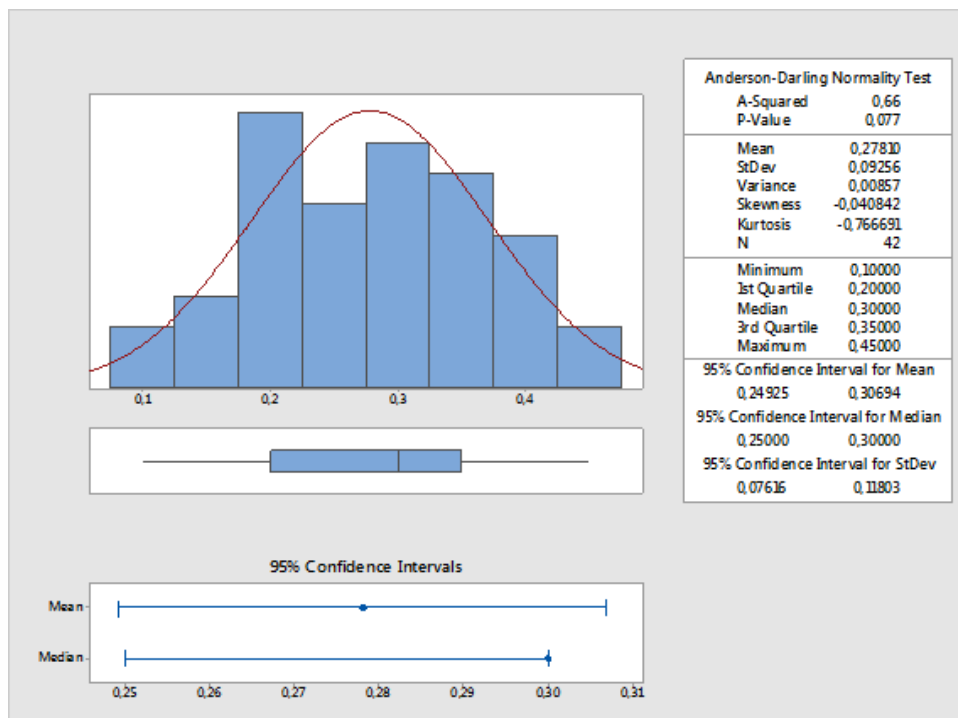
Kuvissa 15 (s. 27), 16 (s. 27) ja 17 (s. 28) näkyvät normaalijakauman kuvaajat säiliössä, seulan jälkeen ja lingon jälkeen. Kuvaajissa on mukana kaikki näytetyypit eli juustohera, pesuvedet sekä juustoheran ja pesuvesien sekoitus.

Kuvaajan perusteella (Kuva 15, s. 27) pölypitoisuus säiliössä ei ole normaalisti jakautunut ($P < 0,05$). Kuvasta nähdään myös pölypitoisuuksien keskiarvo kaikilla näytetyypeillä säiliössä (0,38024).



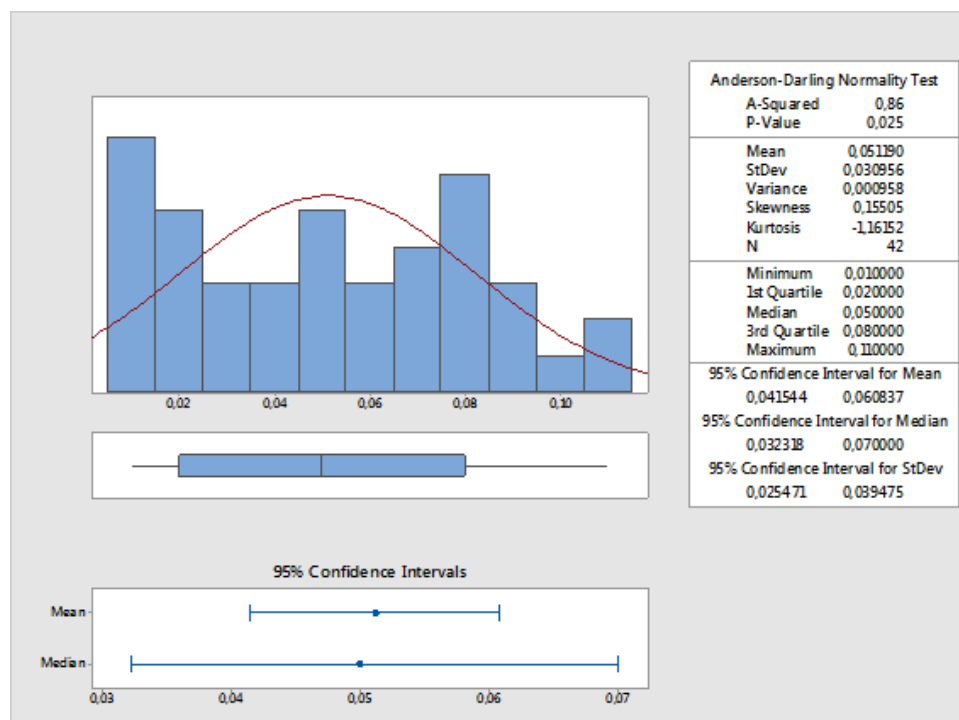
Kuva 15 Normaalijakauma pölypitoisuudesta säiliössä, mukana kaikki näytetyypit eli juustohera, pesuvedet sekä juustoheraa + pesuvesiä

Kuvaajasta (Kuva 16) nähdään, että pölypitoisuus seulan jälkeen on normaalisti jakautunut ($P > 0,05$). Keskiarvo kaikkien näytetyyppien pölypitoisuudelle seulan jälkeen on 0,27810.



Kuva 16 Normaalijakauma pölypitoisuudesta seulan jälkeen, mukana kaikki näytetyypit eli juustohera, pesuvedet sekä juustoheraa + pesuvesiä

Kuvaajasta (Kuva 17) nähdään, että pölypitoisuus ei ole normaalisti jakautunut lington jälkeen. ($P < 0,05$). Lington jälkeen pölypitoisuuden keskiarvo kaikilla näytetyypeillä on 0,051190.



Kuva 17 Normaalijakauma pölypitoisuudesta lington jälkeen, mukana kaikki näytetyypit eli juustohera, pesuvedet sekä juustoheraa + pesuvesiä

Edellä esitetyistä kuvaajista katsottuna aineisto ei näytä olevan kovin normaalisti jakautunut, mutta tämä johtuu siitä, että kuvaajissa on aineistoa kolmesta eri näytetyypistä.

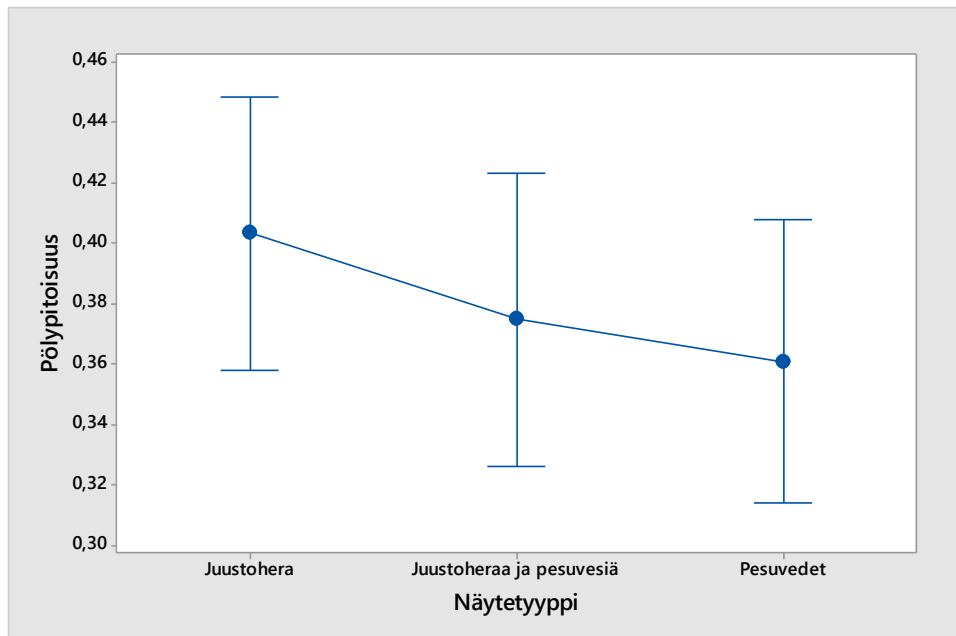
8.2 Käsittelyryhmien väliset erot

Käsittelyryhmien välisiä eroja voidaan analysoida varianssianalyysillä. Varianssianalyysillä tutkitaan, eroavatko käsittelyryhmien keskiarvot toisistaan. Nollahypoteesina on, että eroja ei ole käsittelyryhmien välillä. Tämä toteutuu silloin, kun P-arvo on suurempi kuin 0,05. Jos taas P-arvo on pienempi kuin 0,05, käsittelyryhmien välillä on eroja.

8.2.1 Näytetyyppi

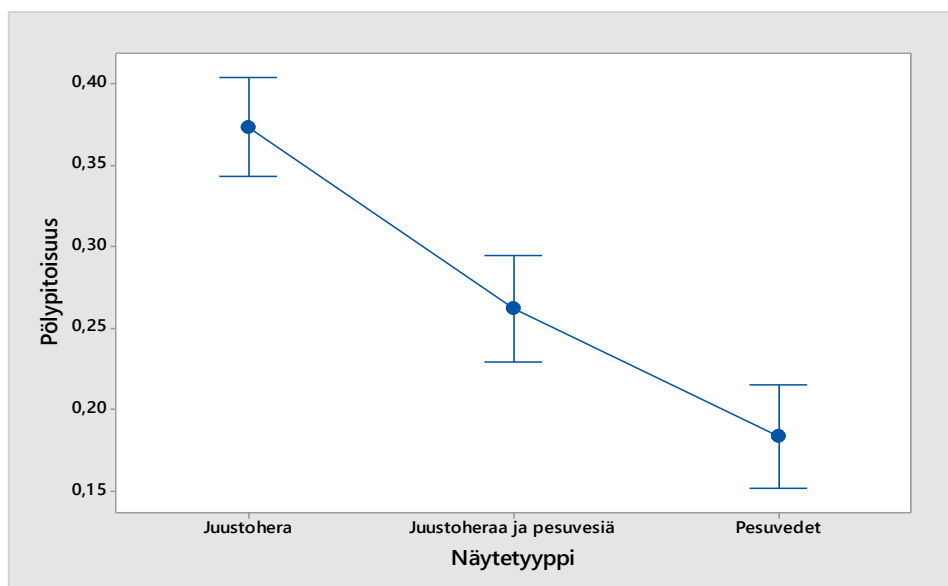
Kuvissa 18 (s. 29), 19 (s. 29) ja 20 (s. 30) on esitetty varianssianalyysit pölypitoisuuden ja näytetyypin välillä säiliössä, seulan jälkeen ja lington jälkeen. Varianssianalyysillä pyritään selvittämään, eroavatko eri näytetyypit pölypitoisuudeltaan tietyssä näytteenotto paikassa. Kuvissa olevat pisteet tarkoittavat keskiarvoja, ja niistä lähtevät viivat hajontaa eli sitä kuinka laajalle pölypitoisuudet ovat levinneet keskiarvon ympärille.

Kuvassa 18 on esitetty säiliössä otettujen näytteiden varianssianalyysi pölypitoisuuden ja näytetyypin välillä. Kuvasta näkee, että kolmen eri näytetyypin väleissä on paljon päällekkäisyyksiä (hajonnat menevät päällekkäin). Tästä voidaan päätellä, että eri näytetyyppien pölypitoisuudet eivät eroa toisistaan säiliöistä otetuissa näytteissä. Tämä todetaan myös P-arvosta, joka on suurempi kuin 0,05.



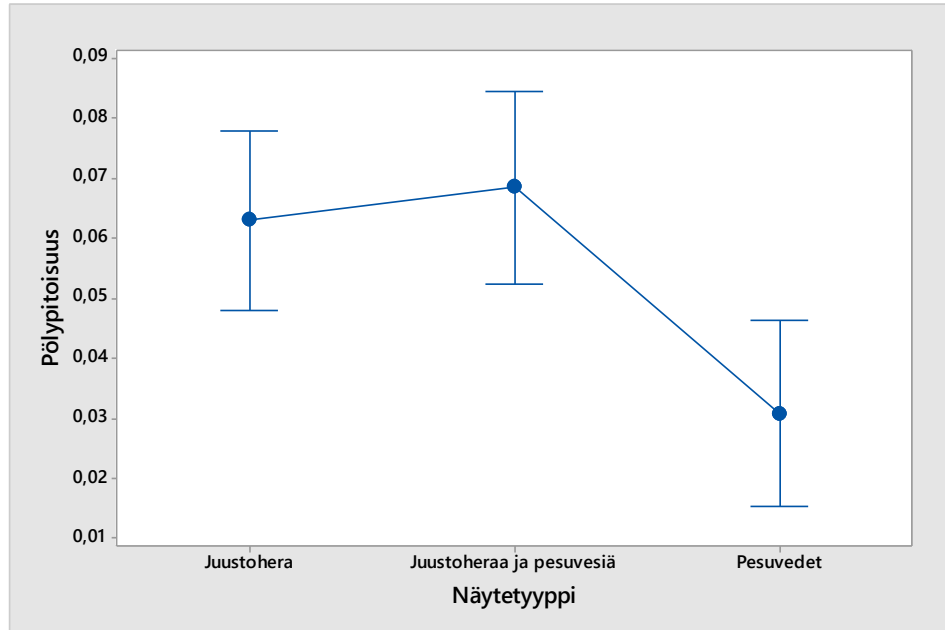
Kuva 18 Varianssianalyysi pölypitoisuus vs näytetyppi säiliössä; säiliöstä otettuiden eri näytetyyppien pölypitoisuuksien erot. (P-arvo = 0,410)

Kuvassa 19 on esitetty seulan jälkeen otettujen näytteiden varianssianalyysi pölypitoisuuden ja näytetyypin välillä. Eri näytetyypeissä on eroavaisuuksia seulan jälkeen, koska hajonnat eivät mene päällekkäin ($P < 0,05$). Juustoheran keskiarvo on suurin ja pesuvesien pienin. Lisäksi niiden keskiarvot ja hajonnat ovat kaukana toisistaan, eli voidaan päätellä, että seula ei poista juustoherasta pölyä läheskään niin hyvin kuin pesuvesistä.



Kuva 19 Varianssianalyysi pölypitoisuus vs näytetyppi seulan jälkeen; seulan jälkeen otettuiden eri näytetyyppien pölypitoisuuksien erot (P-arvo = 0,000)

Kuvassa 20 on esitetty lingon jälkeen otettujen näytteiden varianssianalyysi pölypitoisuuden ja näytetyypin välillä. Eri näytetyypeissä on eroavaisuuksia lingon jälkeen, tosin ei niinkään juustoheran sekä juustoheran ja pesuvesien sekoituksen välillä. Eroavaisuuksia on pesuvesien ja kahden muun näytetyypin välillä ($P < 0,05$). Keskiarvo pesuvesillä on selkeästi pienempi kuin muilla, josta voidaan päätellä, että linko poistaa pölyä parhaiten pesuvesistä. Juustoherasta sekä juustoheran ja pesuvesien sekoituksesta linko poistaa pölyä suunnilleen yhtä hyvin.

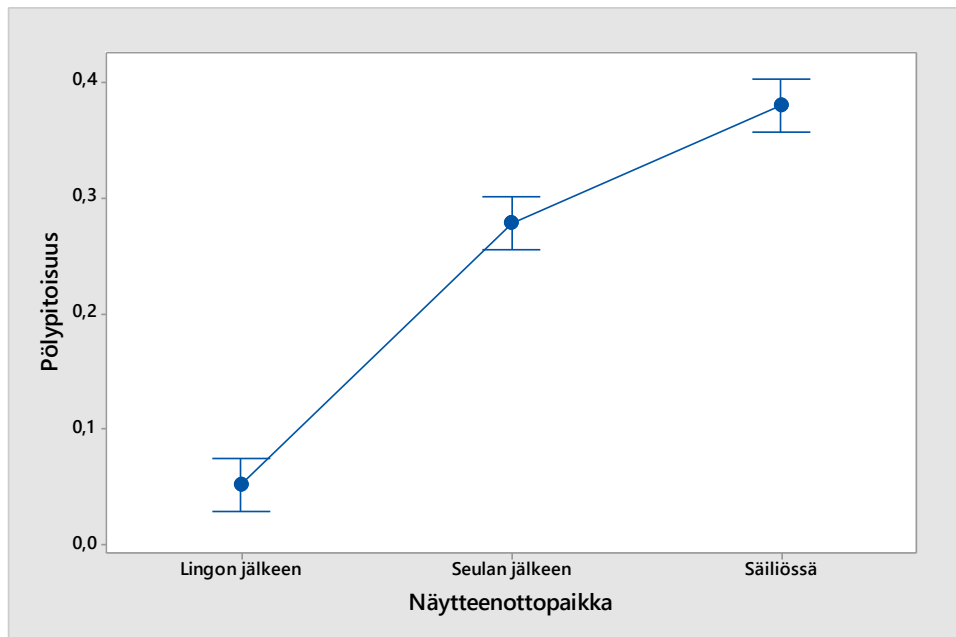


Kuva 20 Varianssianalyysi pölypitoisuus vs näytetyppi lingon jälkeen; lingon jälkeen otettuiden eri näytetyyppien pölypitoisuuksien erot (P -arvo = 0,003)

8.2.2 Näytteenottoaika

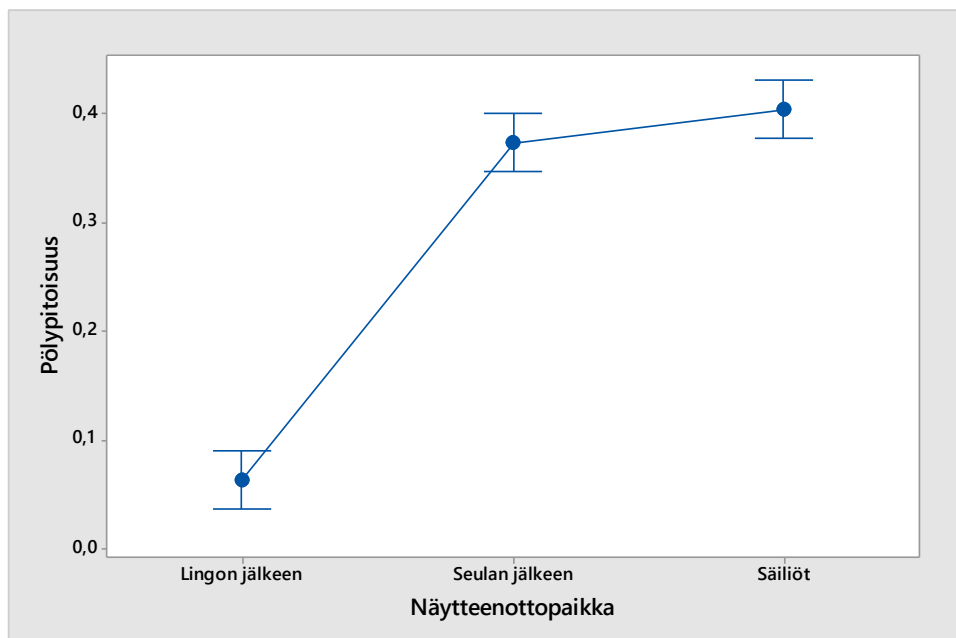
Kuvissa 21 (s. 31), 22 (s. 31) ja 23 (s. 32) on esitetty varianssianalyysit pölypitoisuuden ja näytteenottoajan välillä. Varianssianalyysillä pyritään esittämään pölynpoistoprosessin toimivuus ja oletuksena onkin, että pölypitoisuus eroaa eri näytteenottoaikojen välillä.

Kuvassa 21 (s. 31) on esitetty varianssianalyysi kaikkien näytetyyppien pölypitoisuuden ja näytteenottoajan välillä. Kuvasta nähdään, että eroja on eri paikkojen välillä, koska hajonnat eivät mene päällekkäin ($P < 0,05$). Tämä on loogista, koska se osoittaa, että pölynpoistoprosessi toimii ja pölyn määrä vähenee prosessin eri kohdissa. Säiliössä pölypitoisuuden määrät ovat suurempia kuin seulan ja lingon jälkeen otetuissa näytteissä. Lingon jälkeen pölypitoisuudet ovat alhaisimpia.



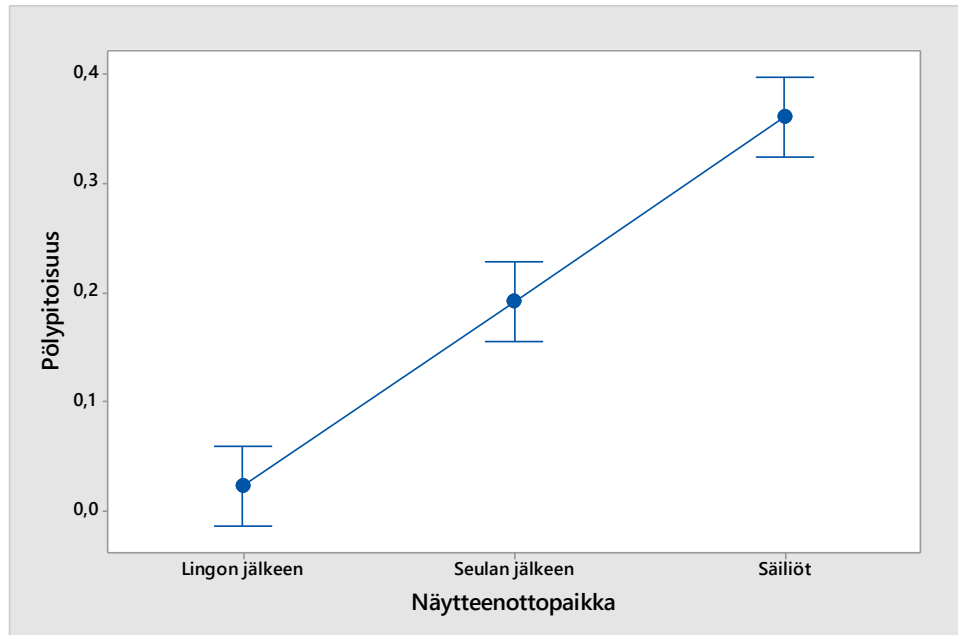
Kuva 21 Varianssianalyysi pölypitoisuus vs näytteenottoaikka kaikki näytetyypit; eri näytteenottoaikoista otetuiden näytteiden pölypitoisuuksien erot (P -arvo = 0,000)

Kuvassa 22 on esitetty varianssianalyysi juustoheran pölypitoisuuden ja näytteenottoaikan välillä. Kuvasta nähdään, että pölypitoisuus juustoherassa ei eroa paljon säiliöstä otetuiden näytteiden sekä seulan jälkeen otetuiden näytteiden välillä. Pölypitoisuus lingon jälkeen taas eroaa huomattavasti muihin näytteenottoaikoihin verrattaessa ($P < 0,05$). Voidaan siis päätellä, että seula ei poista juustoherasta lähes ollenkaan pölyä, mutta linko kuitenkin pystyy poistamaan suuren osan.



Kuva 22 Juustoheran varianssianalyysi pölypitoisuus vs näytteenottoaikka; eri näytteenottoaikoista otetuiden juustoheranäytteiden pölypitoisuuksien erot (P -arvo = 0,000)

Kuvassa 23 on esitetty varianssianalyysi pesuvesien pölypitoisuuden ja näytteenottoaikan välillä. Kuvasta nähdään, että pölypitoisuudet eroavat toisistaan kaikkien näytteenottoaikojen välillä ($P < 0,05$). Pölynpoistoprosessi näyttää toimivan tasaisesti siten, että sekä seula että linko poistavat yhtä tehokkaasti pölyä.



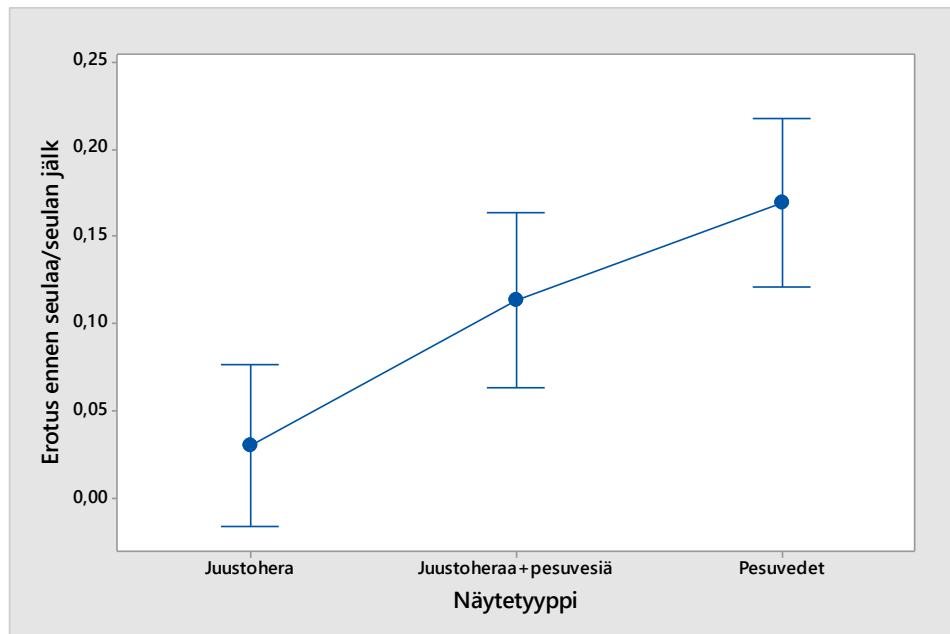
Kuva 23 Pesuvesien varianssianalyysi pölypitoisuus vs näytteenottoaika; eri näytteenottoaikoista otettuiden pesuvesinäytteiden pölypitoisuuksien erot (P -arvo = 0,000)

8.2.3 Erotukset ennen seulaa/seulan jälkeen ja ennen linkoa/lingon jälkeen

Saaduista pölypitoisuuksista laskettiin erotukset sekä seulalle että lingolle. Erotukset ennen seulaa/seulan jälkeen saatiin vähentämällä pölypitoisuudet seulan jälkeen pölypitoisuuksista ennen seulaa (eli säiliössä olevista pölypitoisuuksista). Samoin erotukset ennen linkoa/lingon jälkeen saatiin vähentämällä pölypitoisuudet lingon jälkeen pölypitoisuuksista ennen linkoa (eli seulan jälkeen). Näin saatiin erotukset eli pölymäärät, jotka seula ja linko olivat poistaneet syötteestä.

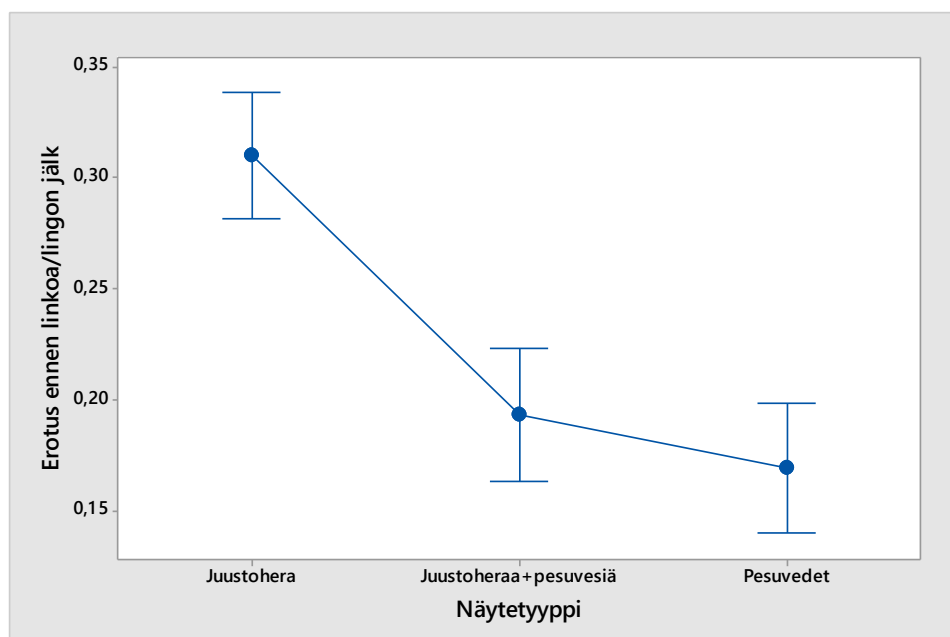
Kuvissa 24 (s. 33) ja 25 (s. 33) on esitetty varianssianalyysit erotus ennen seulaa/seulan jälkeen vs. näytetyyppi sekä erotus ennen linkoa/lingon jälkeen vs. näytetyyppi.

Kuvassa 24 (s. 33) on verrattu näytetyyppejä ja erotuksia pölypitoisuuksissa ennen seulaa ja seulan jälkeen. Kuvasta nähdään, että eroja eri näytetyyppien välillä ei ole paljoa ($P < 0,05$). Kuvasta nähdään myös, että erotusten keskiarvo on suurin pesuvesillä ja pienin juustoheralla. Seula siis poistaa paremmin pölyä pesuvesistä kuin juustoherasta.



Kuva 24 Varianssianalyysi erotus ennen seulaa/seulan jälkeen vs näytetyyppi; seulan poistamien pölymäärien vertailua eri näytetyypeillä (P-arvo = 0,001)

Kuvassa 25 on verrattu näytetyyppejä ja erotuksia pölypitoisuuksissa ennen linkoa ja lingon jälkeen. Kuvasta nähdään, että eroja on eri näytetyyppien välillä, erityisesti juustoheran ja muiden näytetyyppien välillä ($P < 0,05$). Pesuvesien sekä juustoheran ja pesuvesien sekoituksen välillä eroja ei ole niin paljoa. Erotusten keskiarvo on suurin juustoheralla ja pienin pesuvesillä. Vaikuttaa siltä, että linko poistaa tehokkaimmin pölyä juustoherasta. Tämä johtuu kuitenkin siitä, että linkoa edeltävä seula ei ole pystynyt poistamaan suurinta osaa pölystä kuten pesuvesien kohdalla. Linko ei siis poista pesuvesistä niin paljoa pölyä, koska sitä on poistettu jo seulan avulla niin paljon. Aiemmin esitetyn varianssianalyysikuvan (kuva 20, s. 30) perusteella pölypitoisuus lingon jälkeen on kuitenkin matalin pesuvesillä.



Kuva 25 Varianssianalyysi erotus ennen linkoa/lingon jälkeen vs näytetyyppi; lingon poistamien pölymäärien vertailua eri näytetyypeillä (P-arvo = 0,000)

8.3 Keskiarvot

Taulukoissa 5, 6 (s. 35) ja 7 (s. 35) on koottuna eri näytetyyppien keskiarvoja pölypitoisuudesta, kuiva-aineesta ja pH:sta eri näytteenottoaikoissa. Keskiarvot on myös esitetty pylväskaavioiden avulla (Kuvat 26, 27, s. 35 ja 28, s. 36).

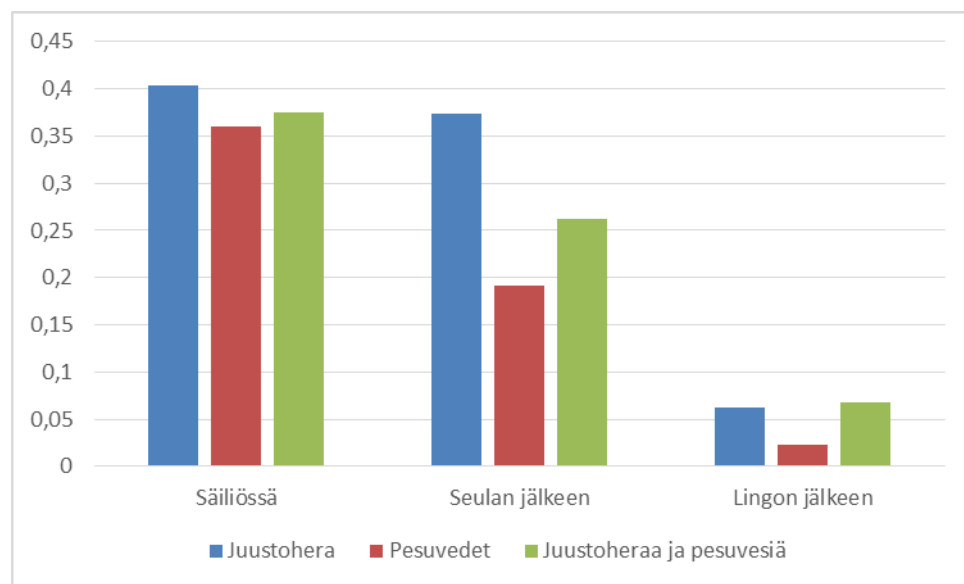
Seulan pölynpoistokyky on lähes olematon kun kyseessä on juustohera. Tämä nähdään taulukossa 5 ja kuvassa 26 esitetyistä keskiarvoista: juustoheran pölypitoisuuden keskiarvo ennen seulaa on 0,403 ja keskiarvo seulan jälkeen on 0,373. Arvot ovat melko lähellä toisiaan, eli pölypitoisuus on lähes sama ennen seulaa ja seulan jälkeen. Linko kuitenkin pystyy poistamaan suuren osan pölystä, mutta ei tavoitetasolle 0,020 tai alle.

Pölypitoisuuden keskiarvo pesuvesillä ennen seulaa on 0,361 ja seulan jälkeen 0,191 (Taulukko 5). Seulan pölynpoistokyky pesuvesillä on siis erittäin hyvä, se poistaa lähes puolet pölystä. Myös loppupölypitoisuus lingon jälkeen (keskiarvo 0,023) on parempi kuin juustoheralla, mutta sekään ei aivan riitä saavuttamaan tavoitetasoa alle 0,020.

Juustoheran ja pesuvesien sekoitus on näiden ääripäiden välissä. Keskiarvo lingon jälkeen 0,063 näyttäisi olevan kuitenkin parempi juustoheralla kuin juustoheran ja pesuvesien sekoituksella 0,068 (Taulukko 5).

Taulukko 5 Näytetyyppien pölypitoisuuksien keskiarvot eri näytteenottoaikoissa

Pölypitoisuus keskiarvot	Säiliössä	Seulan jälkeen	Lingon jälkeen
Juustohera	0,403	0,373	0,063
Pesuedet	0,361	0,191	0,023
Juustoheraa ja pesuvesiä	0,375	0,262	0,068

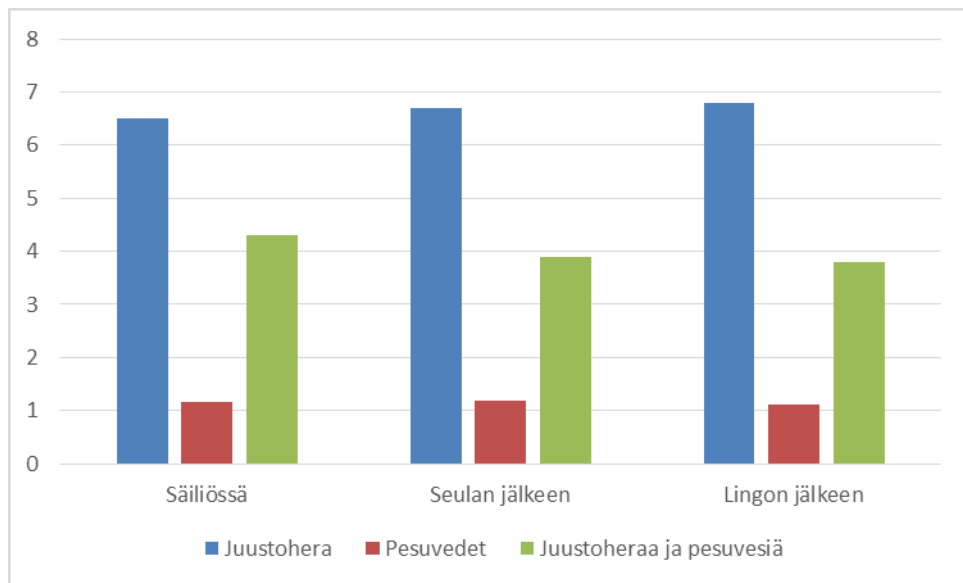


Kuva 26 Pölypitoisuus eri näytetyypeillä säiliössä, seulan jälkeen ja lingon jälkeen; säiliössä suurimmat pölypitoisuudet ja lingon jälkeen pienimmät

Eri näytetyyppien kuiva-aineet ja pH:t eroavat toisistaan riippuen mikä näytetyppi on kyseessä. Juustoheran kuiva-ainepitoisuus on taulukon 6 mukaan keskimäärin noin 6,5–6,8, ja pesuvesillä sama on noin 1,1–1,2. Juustoheran ja pesuvesien sekoituksella kuiva-ainepitoisuus on keskimäärin noin 3,8–4,3. Keskiarvot näkyvät myös kuvassa 27.

Taulukko 6 Näytetyyppien kuiva-ainepitoisuuksien keskiarvot eri näytteenottoaikoissa

Kuiva-aine keskiarvot	Säiliössä	Seulan jälkeen	Lingon jälkeen
Juustohera	6,5	6,7	6,8
Pesuedet	1,2	1,2	1,1
Juustoheraa ja pesuvesiä	4,3	3,9	3,8

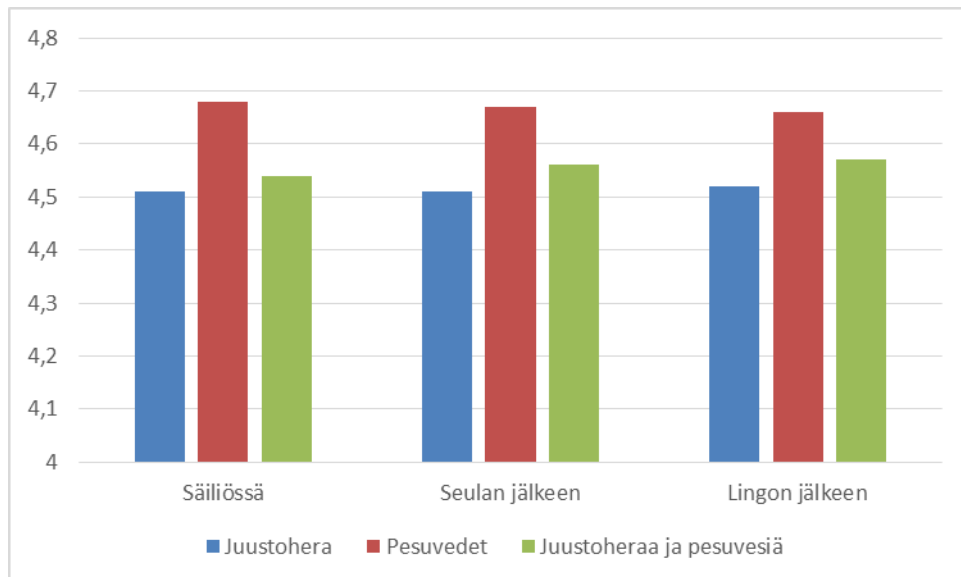


Kuva 27 Kuiva-ainepitoisuus eri näytetyypeillä säiliössä, seulan jälkeen ja lingon jälkeen; kuiva-ainepitoisuudet suurimmat juustoheralla ja pienimmät pesuvesillä

Taulukosta 7 nähdään, että pH-arvot ovat pesuvesillä suurempia (keskiarvot noin 4,66–4,68) kuin juustoheralla (keskiarvot 4,51–4,52). Pesuvesien korkeampi pH johtuu todennäköisesti siitä, että siinä on mukana happamuutta neutraloivaa vettä. Keskiarvot näkyvät myös kuvassa 28 (s. 36).

Taulukko 7 Näytetyyppien pH:n keskiarvot eri näytteenottoaikoissa

pH keskiarvot	Säiliössä	Seulan jälkeen	Lingon jälkeen
Juustohera	4,51	4,51	4,52
Pesuedet	4,68	4,67	4,66
Juustoheraa ja pesuvesiä	4,54	4,56	4,57



Kuva 28 pH eri näytetyypeillä säiliössä, seulan jälkeen ja lingon jälkeen; pH korkein pesuvesillä ja matalin juustoheralla

8.4 Korrelaatiot

Korrelaatiokerroin (r) mittaa lineaarisen yhteyden astetta kahden muuttujan välillä. Korrelaatiokerroin on aina $-1:n$ ja $+1:n$ välillä. Positiivinen korrelaatio ilmaisee, että molemmat muuttujat pyrkivät kasvamaan tai pienenevän samanaikaisesti. Negatiivinen korrelaatio taas ilmaisee, että toinen muuttuja kasvaa ja toinen muuttuja pyrkii pienenevän samanaikaisesti. Mitä lähempänä korrelaatiokertoimen arvo on lukua 1, sitä voimakkaampi on muuttujien välinen lineaarinen yhteys. Jos korrelaatiokerroin on lähellä nollaa, ei niiden välillä ole lineaarista yhteyttä. Muuttujien välillä voi kuitenkin olla muunlaista riippuvuutta. (Holopainen & Pulkkinen 2012, 234–235.)

Huomioitavaa tässä työssä on se, että korrelaatiokerroin on herkkä poikkeaville arvoille. Tämä näkyy etenkin pienissä aineistoissa. Tässä työssä aineisto on kokonaisuudeltaan laaja, mutta kun tarkastellaan vain yhtä näytetyyppiä kerrallaan, ei näytemäärä olekaan kovin suuri. Eli tässä tarkastellut korrelaatiot eivät välttämättä kerro kaikkea niin hyvin kuin jos olisi otettu enemmän näytteitä eri näytetyypeistä. Tuloksissa oli joitakin suuria heittoja joissakin kohdissa, ja korrelaatioita tarkasteltaessa ne poistettiin, jotta ne eivät vääristäisi tuloksia.

Näytetyypin C (juustoheraa ja pesuvesiä) tapauksessa korrelaatioiden tarkastelu on jätetty pois, koska tuloksia läpi käytäessä näytti siltä, että jonkinlaista korrelaatioita on lähes kaikkien muiden tekijöiden välillä kuin pölypitoisuuden ja muiden tekijöiden. Lisäksi näytetyypin C korrelaatioiden tarkastelun ei oleteta olevan oleellista, koska ei tiedetä juustoheran ja pesuvesien suhdetta ja lisäksi niiden välinen suhde vaihtelee jokaisessa näytteessä.

Tuloksissa on esitetty korrelaatiot pölypitoisuuden ja muiden tekijöiden välillä sekä lisäksi muiden tekijöiden väliset keskeiset korrelaatiot. Tuloksia tarkasteltaessa huomattiin, että muiden tekijöiden välillä on jonkinlaista korrelaatiota, mutta näitä ei ole tarpeen käsitellä tässä sen enempää, koska

kiinnostavinta oli tietää korreloiko pölypitoisuus muiden tekijöiden kanssa. Muiden tekijöiden välisten korrelaatioiden hajontakuviot ja pohdinta on jätetty kokonaan pois.

8.4.1 Juustohera seulan jälkeen

Juustoheran pölypitoisuuden ja muiden tekijöiden korrelaatiot ja merkittävyydet seulan jälkeen näkyvät taulukossa 8.

Juustoheralla ei ole korrelaatiota pölypitoisuuden ja muiden muuttujien välillä seulan jälkeen otetuissa näytteissä. Kuiva-aineella ja lämpötilalla on heikkoa korrelaatiota ($P < 0,05$).

Taulukko 8 Juustoheran pölypitoisuuden ja muiden tekijöiden korrelaatiot ja P-arvot seulan jälkeen

	Pölypitoisuus	Kuiva-aine	pH	Lämpötila
Kuiva-aine	0,266 0,380			
pH	-0,165 0,590	0,048 0,876		
Lämpötila	-0,015 0,962	0,693 0,009	0,357 0,232	
Pinnankorkeus	0,160 0,601	-0,087 0,770	-0,561 0,046	-0,026 0,932
ylempi luku	korrelaatiokerroin			
alempi luku	P-arvo			

8.4.2 Pesuvedet seulan jälkeen

Pesuvesien pölypitoisuuden ja muiden tekijöiden korrelaatiot ja merkittävyydet seulan jälkeen näkyvät taulukossa 9 (s. 38).

Pesuvesillä ei ole korrelaatiota pölypitoisuuden ja muiden muuttujien välillä seulan jälkeen otetuissa näytteissä. Kuiva-aineella ja pH:lla sekä kuiva-aineella ja lämpötilalla on melko voimakasta korrelaatiota ($P < 0,05$).

Taulukko 9 Pesuvesien pölypitoisuuden ja muiden tekijöiden korrelaatiot ja P-arvot seulan jälkeen

	Pölypitoisuus	Kuiva-aine	pH	Lämpötila
Kuiva-aine	0,486 0,109			
pH	-0,278 0,381	-0,795 0,002		
Lämpötila	0,313 0,323	0,798 0,002	-0,565 0,056	
Pinnankorkeus	-0,051 0,876	-0,157 0,626	0,378 0,226	0,012 0,970
ylempi luku	korrelaatiokerroin			
alempi luku	P-arvo			

8.4.3 Juustohera lingon jälkeen

Juustoheran pölypitoisuuden ja muiden tekijöiden korrelaatiot ja merkitsevyydet lingon jälkeen näkyvät taulukossa 10.

Juustoheran pölypitoisuudella lingon jälkeen ei ole korrelaatiota muiden muuttujien kanssa. Kuiva-aineella ja lämpötilalla sen sijaan on heikkoa positiivista korrelaatiota ($P < 0,05$).

Taulukko 10 Juustoheran pölypitoisuuden ja muiden tekijöiden korrelaatiot sekä P-arvot lingon jälkeen

	Pölypitoisuus	Kuiva-aine	pH	Lämpötila	Pinnan- korkeus	Syöttö- virtaus
Kuiva-aine	0,416 0,157					
pH	0,474 0,102	0,030 0,924				
Lämpötila	0,294 0,330	0,684 0,010	0,170 0,580			
Pinnankorkeus	-0,085 0,783	-0,116 0,705	-0,429 0,144	-0,029 0,924		
Syöttövirtaus	0,197 0,562	0,191 0,575	-0,376 0,254	0,078 0,820	-0,048 0,889	
Ajon kesto	0,344 0,331	-0,354 0,316	0,299 0,401	-0,375 0,286	0,137 0,706	0,058 0,874
ylempi luku	korrelaatiokerroin					
alempi luku	P-arvo					

8.4.4 Pesuvedet lingon jälkeen

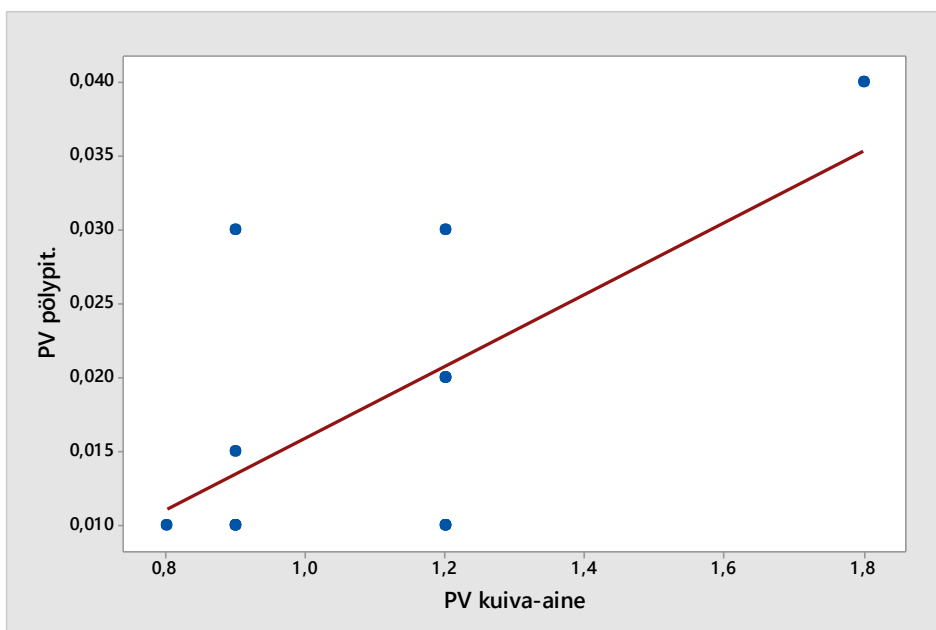
Pesuvesien pölypitoisuuden ja muiden tekijöiden korrelaatiot ja merkitsevyydet lingon jälkeen näkyvät taulukossa 11.

Pesuvesien pölypitoisuudella lingon jälkeen on heikkoa positiivista korrelaatiota kuiva-aineen ja lämpötilan kanssa sekä negatiivista korrelaatiota pH:n kanssa ($P < 0,05$). Lisäksi kuiva-aineella ja syöttövirtauksella on positiivista korrelaatiota ($P < 0,05$).

Taulukko 11 Pesuvesien pölypitoisuuden ja muiden tekijöiden korrelaatiot sekä P-arvot lingon jälkeen

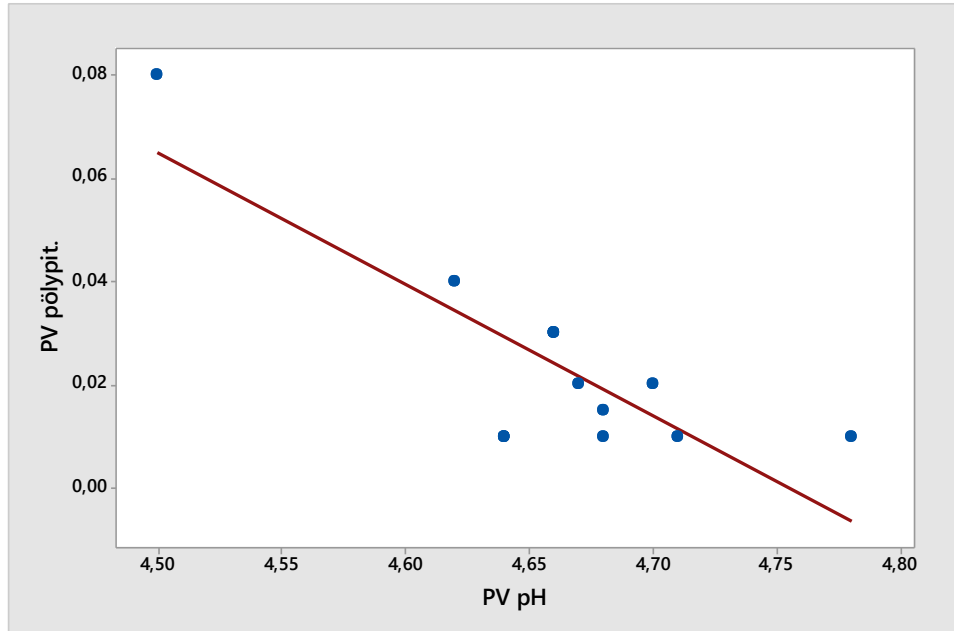
	Pölypitoisuus	Kuiva-aine	pH	Lämpötila	Pinnan korkeus	Syöttövirtaus
Kuiva-aine	0,648 0,031					
pH	-0,822 0,001	-0,579 0,062				
Lämpötila	0,719 0,008	0,530 0,094	-0,473 0,121			
Pinnankorkeus	-0,366 0,241	-0,365 0,269	0,367 0,240	-0,042 0,898		
Syöttövirtaus	0,152 0,676	0,725 0,027	-0,168 0,642	-0,101 0,781	-0,359 0,309	
Ajon kesto	0,286 0,492	0,207 0,623	0,259 0,563	0,699 0,054	-0,367 0,371	-0,157 0,710
ylempi luku	korrelaatiokerroin					
alempi luku	P-arvo					

Hajontakuvion (Kuva 29) perusteella ei näyttäisi kuitenkaan olevan korrelaatiota pesuvesien pölypitoisuuden sekä kuiva-aineen välillä, koska useissa eri kuiva-aineen arvoissa on mitattu useita eri pölypitoisuuksia.



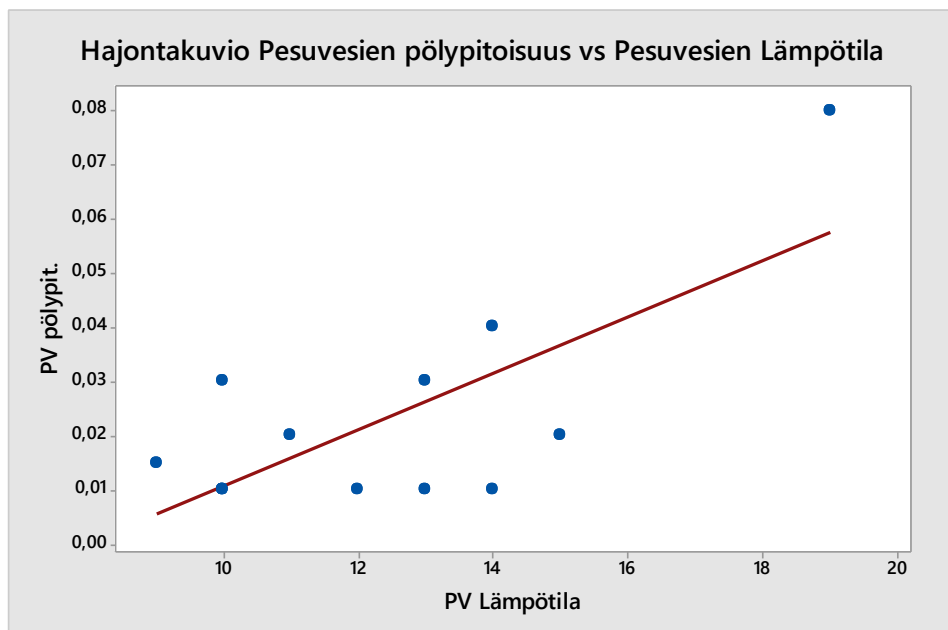
Kuva 29 Hajontakuvio Pesuvesien pölypitoisuus vs. Pesuvesien kuiva-aine

Hajontakuvion (Kuva 30) perusteella näyttäisi olevan voimakasta negatiivista korrelaatiota pesuvesien pölypitoisuuden ja pH:n kanssa. Eli pH:n kasvaessa pölypitoisuus näyttäisi laskevan. Hajontakuvion mukaan mitä matalampi pH on, sitä enemmän pesuvesissä on juustoheraa eli pölyä, ja pölypitoisuus on täten suurempi.



Kuva 30 Hajontakuvio Pesuvesien pölypitoisuus vs. Pesuvesien pH

Hajontakuvion (Kuva 31) perusteella pesuvesien pölypitoisuudella ja lämpötilalla näyttäisi olevan hieman positiivista korrelaatiota. Lämpötilan kasvaessa pölypitoisuuskin näyttäisi kasvavan. Tämä ei ole kuitenkaan oleellista, koska lämpötilalla ei oleteta olevan vaikutusta pölypitoisuuteen.



Kuva 31 Hajontakuvio Pesuvesien pölypitoisuus vs. Pesuvesien lämpötila

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Pölynpoistoprosessista otetuista näytteistä analysoitiin pölypitoisuus ja lisäksi niistä mitattiin pH ja kuiva-aine. Aineisto käsiteltiin tilastollisin menetelmin Minitab-ohjelmaa ja Exceliä käyttäen. Aineistosta selvitettiin eri käsittelyryhmien välisiä eroja (varianssianalyysit), keskiarvoja sekä korrelaatioita.

Tulosten perusteella pölynpoistoprosessi toimii ja saa vähennettyä juustopölyn määrää. Tämä nähdään varianssianalyysistä, jossa on verrattu eri näytteenottoaikoja ja pölypitoisuuksia. Seulan ja lingon toiminnassa, ja siinä miten ne poistavat pölyä eri näytetyypeistä, on kuitenkin eroja. Varianssianalyysin mukaan eri näytetyyppien pölypitoisuuksilla ei ole eroja säiliöstä otetuissa näytteissä ($P > 0,05$). Tämä voidaan todeta myös laskettujen keskiarvojen mukaan, jotka ovat lähes samalla tasolla jokaisella eri näytetyypillä eli juustoheralla, pesuvesillä sekä näiden sekoituksella. Eroja ilmenee sekä seulan että lingon jälkeen otetuissa näytteissä ($P < 0,05$). Seulan jälkeen otetuissa näytteissä on eroja kaikkien näytetyyppien välillä. Seula ei poista juustoherasta lähes ollenkaan pölyä kun taas pesuvesistä seula saa poistettua jopa puolet juustopölystä. Tämä selviää sekä varianssianalyysin että keskiarvojen perusteella. Lingon jälkeen eroja on pesuvesien sekä muiden näytetyyppien välillä, mutta juustoheran sekä juustoheran ja pesuvesien sekoituksen välillä ei ole paljoa eroja. Linko pystyy poistamaan eniten pölyä juustoherasta, mutta tämä johtuu siitä, että seula on jo poistanut suurimman osan pesuvesien pölystä. Lingon jälkeen pölypitoisuudet ovat silti korkeammat kuin pesuvesillä. Vaikka pölynpoistoprosessi toimii, niin eri näytetyyppien keskiarvojen mukaan pölypitoisuuksia ei saada alennettua halutulle tasolle $< 0,020$ %.

Varianssianalyysien ja keskiarvojen perusteella vaikuttaa siltä, että pesuvesissä olevan juustopölyn partikkelikoko on suuri, jolloin seula pystyy poistamaan pölyä hyvin. Juustoherassa taas arvellaan olevan ns. mikropölyä eli niin hienojakoista pölyä, ettei seula pysty sitä poistamaan. Tämän opinnäytetyön seurauksena tehtiin pienimuotoinen tutkimus Valion Tutkimus- ja kehitysyksikössä, missä tutkittiin pölyn partikkelikokoa. Tämän tutkimuksen perusteella varmistui nämä partikkelikokojen erot.

Korrelaatioita käsiteltäessä laskettiin korrelaatiot juustopölyn sekä muiden tekijöiden välillä. Näitä muita tekijöitä ovat näytteitä otettaessa kirjatut pH, kuiva-aine, säiliön lämpötila ja pinnankorkeus, syöttövirtaus lingolle sekä ajon kesto eli aika, jonka seula ja herapastööri ovat olleet päällä ajon aloituksesta. Lisäksi laskettiin näiden muiden tekijöiden väliset korrelaatiot. Korrelaatiot laskettiin vain juustoheralle ja pesuvesille seulan ja lingon jälkeen, sillä ei ollut mielekäästä tutkia näiden sekoituksen korrelaatioita, kun ei tiedetty heran ja pesuvesien välisiä suhteita. Juustoheran pölypitoisuudella ei tulosten mukaan ole korrelaatiota muiden tekijöiden kanssa seulan eikä lingon jälkeen. Tilastollisesti merkittävää heikkoa korrelaatiota on kuitenkin seulan jälkeen juustoheran kuiva-aineella ja lämpötilalla. Pesuvesien kuiva-aineella ja pH:lla seulan jälkeen on melko voimakasta korrelaatiota samoin kuin lämpötilalla ja kuiva-aineella. Lingon jälkeen juustoheran pölypitoisuudella ei ole korrelaatiota edellä mainittujen muiden tekijöiden

kanssa. Sen sijaan kuiva-aineella ja lämpötilalla on heikkoa korrelaatiota. Pesuvesien pölypitoisuudella lingon jälkeen on korrelaatiota kuiva-aineen sekä lämpötilan kanssa, ja lisäksi voimakasta negatiivista korrelaatiota pH:n kanssa. Hajontakuvioita tarkasteltaessa korrelaatio ei kuitenkaan ole kovin merkittävää kuiva-aineen ja lämpötilan tapauksessa, koska eri pölypitoisuu- den arvoja on mitattu samoissa eri kuiva-aineen sekä lämpötilan arvoissa. Lisäksi kuiva-aineella ja lämpötilalla ei pitäisi olla vaikutusta pölypitoisuu- teen. Hajontakuvioista 30 (s. 40) katsottuna pesuvesien pölypitoisuudella ja pH:lla on voimakasta negatiivista korrelaatiota. Hajontakuviossa on kyllä muutama poikkeava mittaustulos, joiden poistaminen saattaisi muuttaa kor- relaatiota.

Korrelaatioita tarkasteltaessa huomioitavaa on se, että korrelaatiokerroin on herkkä poikkeaville arvoille etenkin pienissä aineistoissa. Tämän työn ai- neisto on kokonaisuudessaan laaja, mutta kun tarkastellaan jokaista näyte- tyyppiä erikseen, ei näytemäärä olekaan kovin suuri. Tässä aineistossa oli myös muutamia paljon poikkeavia arvoja, jotka poistettiin korrelaatioiden laskemista varten. Tässä työssä esitetyt korrelaatiot eivät siis välttämättä kerro koko totuutta. Jos halutaan tutkia korrelaatioita tarkemmin, tulee ottaa enemmän näytteitä, jotta saadaan laajempi aineisto. Tällöin korrelaatioiden tulkitsemisen luotettavuus paranee.

Opinnäytetyössä oli tavoitteena selvittää, miten näytteenottohetki ja syöt- teen koostumus vaikuttavat pölypitoisuuteen. Tulosten perusteella näyt- teenottohetkellä ja syötteen koostumuksella on merkitystä pölypitoisuuteen. Pölypitoisuus riippuu siitä, minkälaista syöte on näytteenottohetkellä. Säi- liöistä otetuissa näytteissä pölypitoisuudet eivät juuri vaihdelleet oli sitten kyseessä juustohera tai pesuvedet. Eroja ilmeni kuitenkin seulan ja lingon jälkeen otetuissa näytteissä. Seulan jälkeen otetuissa juustoheranäytteissä pölypitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia kuin pesuvesinäytteissä. Tämän perusteella seulan todettiin poistavan juustopölyä paremmin pesu- vesistä kuin juustoherasta. Linko poisti pölyä juustoherasta paremmin kuin pesuvesistä, tosin pesuvesistä oli jo poistunut enemmän pölyä seulan avulla. Lisäksi pesuvesien pölypitoisuudet olivat silti alemmat lingon jälkeen kuin juustoheralla. Eli näytteenottohetki ja syötteen koostumus vaikuttavat pöly- pitoisuuteen siten, että kun kyseessä on juustohera, on pölypitoisuudet kor- keammat kuin jos näytteenottohetkellä on kyseessä pesuvedet.

Lisäksi opinnäytetyössä tuli selvittää, miten pölypitoisuus vaikuttaa ultra- suodattimen toimintaan. Juustopölyn tiedetään vaikuttavan suodattimen toi- mintaan tukkimalla kalvoja ja alentamalla permeaattivuota. Muuta vaiku- tusta juustopölyllä ei tiettävästi ole. Juustopöly tukkii suodatuskalvojen feed spacereita, eli välikalvoja joissa syöttöliuos ja retentaatti kulkee. Kun neste ei pääse virtaamaan kalvoilla niin hyvin kuin pitäisi, kalvojen suoda- tuskkyky ja kapasiteetti laskee. Tämä näkyy syöttövirtauksen sekä permeaat- tivirtauksen alentumisena. Juustopöly voi tukkia kalvot niin pahasti, että suodatuskyky heikkenee pysyvästi, ja lisäksi kalvojen tukkeutuminen voi johtaa mikrobiologisiin ongelmiin. Juustopölyn pitkäaikaista vaikutusta ult- rasuodattimen toimintaan on melko hankala tutkia, koska ei voida olla var- moja, aiheutuvatko esimerkiksi suodatuksen ongelmat juuri juustopölystä vai jostakin muusta tekijästä. Juustopölyn tiedetään kuitenkin alentavan

suodatuskykyä, jos kalvot altistuvat korkeille juustopölypitoisuuksille. Juustopölyn määrää ei pystytä jälkikäteen vähentämään, vaan huomiota tulee kiinnittää jo juuston valmistukseen ja rakeiston käsittelyyn ennen heran erotusta.

Yhtenä tämän opinnäytetyön tavoitteena oli optimoida näytteenotto siten, että pölynpoistoprosessista saadaan luotettavaa tietoa. Tämän työn tulosten perusteella kannattavinta olisi ottaa pölynäyte aina kun näytteenottohetkellä purussa on pelkkää juustoheraa, tai enimmäkseen juustoheraa. Tämän tietää esimerkiksi purkusäiliön lämpötilasta, kun se on noin 50 °C (keskiarvo juustoheran lämpötiloista näytteenottohetkellä). Näyte kannattaisi ottaa myös mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa ajon aloituksesta. Tein Seinäjoen Valiolla pienen testin, jossa selvitin ajoajan vaikutusta lingon jälkeiseen pölypitoisuuteen. Testissä otin näytteitä kahden tunnin ajan ajon aloituksesta 10 minuutin välein, ja näytteistä analysoitiin pölypitoisuus. Tulosten perusteella ajoajan pidentyessä pölypitoisuus ei kasvanut, vaan pikemminkin väheni. Testin perusteella ei voida olla varmoja, etteikö ajoajalla olisi vaikutusta pölypitoisuuteen, koska pölypitoisuudet vaihtelivat ja vähenivät ajan kuluessa. Lisäksi näytteet otettiin juustoheran ja pesuvesien sekoituksesta, mistä nämä pölypitoisuuksien vaihtelut todennäköisesti johtuivat. Eli pölynäyte kannattaisi ottaa varmuuden vuoksi mahdollisimman myöhään ajon alusta ja erityisesti juustoherasta. Näin olisi hyvä toimia siksi, että tiedetään tämän opinnäytetyön tulosten perusteella seulan ja lingon poistavan pölyä parhaiten pelkistä pesuvesistä ja heikoimmin pelkästä juustoherasta. Kun otetaan näytteet juustoherasta, saadaan luotettavaa tietoa laitteiston pölynpoistokyvystä.

LÄHTEET

- Amador Riera, F., Fernández, A. & Muro, C. 2014. Fractionation of Peptides By Means of Ultrafiltration and Nanofiltration Techniques. Teoksessa Wyatt, M. (toim.) *Whey Proteins: Functional Properties, Production and Health Benefits*. Hauppauge, NY, USA: Nova Science Publishers, Inc. 1–58. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10986075&p00=Whey+Proteins%3A+Functional+Properties%2C+Production+and+Health+Benefits>
- Berk, Z. 2009. *Food Process Engineering and Technology*. Elsevier. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Elsevier-tietokannassa: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFPET0002/food-process-engineering/food-process-engineering>
- Bylund, G. 2003. *Dairy processing handbook*. Lund, Sweden: Tetra Pak Processing Systems AB.
- Cui, Z.F., Jiang, Y. & Field, R.W. 2010. *Fundamentals of Pressure-Driven Membrane Separation Processes*. Teoksessa Cui, Z.F., and Muralidhara, H.S. (toim.) *Membrane Technology: A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing*. Saint Louis, MO, USA: Elsevier Science & Technology. 1–18. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10427574&p00=Membrane+Technology%3A+A+Practical+Guide+to+Membrane+Technology+and+Applications+in+Food+and+Bioprocessing>
- Everard, C.D., O’Callaghan, D.J., Mateo, M.J., O’Donnell, C.P., Castillo, M. & Payne, F.A. 2008. *Journal of Dairy Science*, 2008, Vol.91(7), pp.2575-2582.
- Gésan-Guiziou, G. 2013. Integrated membrane operations in whey processing. Teoksessa Cassano, A. & Drioli, E. (toim.) *Integrated Membrane Operations: In the Food Production*. Tübingen, DEU: Walter de Gruyter. 133–146. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10838279&p00=Integrated+Membrane+Operations%3A+In+the+Food+Production>
- Glover, F.A. 1985. *Ultrafiltration and reverse osmosis for the dairy industry*. Reading: National Institute for Research in Dairying.
- Hansen, R. 1985. *Evaporation, membrane filtration and spray drying in milk powder and cheese production*. Copenhagen, Denmark: North European Dairy Journal.
- Hausmann, A., Duke, M.C. & Demmer, T. 2012. *Principles of Membrane Filtration*. Teoksessa Tamime, A.Y. (toim.) *Society of Dairy Technology series: Membrane Processing: Dairy and Beverage Applications*. Somerset,

NJ, USA: John Wiley & Sons. 17–51. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10657917&p00=Society+of+Dairy+Technology+series%3A+Membrane+Processing>

Heino, A. 2015. Teknologiapäällikkö. Valio. Sähköpostikeskustelu 5.11.2015.

Holopainen, M. & Pulkkinen, P. 2012. Tilastolliset menetelmät. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Huumonen, I. 2015. Vastaava tuotekehittäjä. Valio. Sähköpostikeskustelu 5.11.2015.

Jensen, D. esitysmateriaali PowerPoint-diat. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Kangasalusta, J. 2015. Oy Christeyns Nordic Ab. Sähköpostikeskustelu 11.11.2015

Kilara, A. & Vaghela, M.N. 2004. Whey proteins. Teoksessa Yada, R.Y. (toim.) Proteins in Food Processing. Woodhead Publishing. 72–99. Viitattu 15.9.2015 Saatavissa Knovel-tietokannassa. <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPFP00004/proteins-in-food-processing/proteins-in-food-processing>

Kuo, Kun-pei & Cheryan, M. 1983. Ultrafiltration of Acid Whey in a Spiral-Wound Unit: Effect of Operating Parameters on Membrane Fouling. Journal of Food Science, 1983, Vol.48(4), pp.1113-1118.

Linden, G. Lorient, D. 1999. New Ingredients in Food Processing. Woodhead Publishing. Viitattu 15.9.2015 Saatavissa Elsevier-tietokannassa: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpNIFP0004/new-ingredients-in-food/new-ingredients-in-food>

Onwulata, C. & Huth, P. 2008. Whey processing, functionality and health benefits. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell.

Pouliot, Y., Conway, V. & Leclerc, P-L. 2014. Separation and Concentration Technologies in Food Processing. Teoksessa Clark, S., Jung, S. & Lamsal, B. (toim.) Food Processing: Principles and Applications (2nd Edition). Somerset, NJ, USA: Wiley. 33–60. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10856813&p00=Food+Processing%3A+Principles+and+Applications+%282nd+Edition%29>

Ramchandran, L. & Vasilevic, T. 2012. Whey Processing. Teoksessa Tamime, A.Y. (toim.) Society of Dairy Technology series: Membrane Processing: Dairy and Beverage Applications. Somerset, NJ, USA: John Wiley & Sons. 193–207. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa:

<http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10657917&p00=Society+of+Dairy+Technology+series%3A+Membrane+Processing>

Riera Rodríguez, F.A., Fernández Martínez, A. & Muro Urista, C. 2014. Cheese whey as a source of active peptides: production, analysis, purification and animal and human trials. Teoksessa Gorawala, P. (toim.) Agricultural Research Updates, Volume 8. Hauppauge, NY, USA: Nova Science Publishers, Inc. 1–52. Viitattu 15.9.2015. Saatavissa Ebrary-tietokannassa: <http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/detail.action?docID=10913178&p00=Agricultural+Research+Updates%2C+Volume+8>

Sahlstein, J. 2005. Kalvotekniikat-opetusmoniste. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Sienkiewicz, T. & Riedel, C.-L. 1990. Whey and whey utilization: possibilities for utilization in agriculture and foodstuffs production. Gelsenkirchen-Buer: Th. Mann.

Uusi-Rauva, J. 2015. Vastaava tuotekehittäjä. Valio. Sähköpostikeskustelu 9.11.2015.

NÄYTTEENOTTOSUUNNITELMA

Näytteet ja analyysit

Näytteitä otetaan pölynpoistoprosessin eri vaiheissa:

- ennen heraseulaa (säiliöstä 2S92 ja 2S94) odotusarvo 0,3 - 0,5
- heraseulan jälkeen ennen heralinkoa odotusarvo 0,2 - 0,4
- heralington jälkeen pastöörin syöttösuppilosta odotusarvo 0,01 - 0,1

Koska pastöroitavan heran koostumus vaihtelee pelkstä juustoherasta pelkkiin pakkauskoneiden pesuvesiin sekä näiden sekoitukseen, otetaan kolmenlaisia näytteitä:

- pelkkää juustoheraa näytetunnus A
- pelkkiä pakkauskoneiden pesuvesiä näytetunnus B
- juustoheraa + pakkausvesiä näytetunnus C

Näytteistä analysoidaan pölypitoisuus sekä lisäksi pH ja kuiva-aine. Pölypitoisuuden analysoinnin hoitaa laboratorio, mutta pH:n ja kuiva-aineen saa itse mitattua rahkan laboratoriossa. Näytteenottohetkellä tulisi kirjata ylös päivämäärä ja kellonaika, sekä säiliön lämpötila ja pinnankorkeus erilliseen näytteenottolomakkeeseen.

Näytteenotto (välineet ja näytteenottoaika ja -paikat)

Näytteet otetaan 120 ml näytepikareihin (ei tarvitse olla täysi) lyhyt- tai pitkävartisella kauhalla. Näytteenottokauhan ei tarvitse olla steriili ja samaa kauhaa voidaan käyttää useamman kerran. Näytteitä pyritään ottamaan jokaista näytetyyppiä (A, B, C) ainakin kerran ajon aikana. Näytteitä voisi ottaa esimerkiksi kahden viikon aikana joka päivä, jotta saadaan tarpeeksi analysoitavaa materiaalia.

Näyte ennen seulaa otetaan suoraan säiliöistä 2S92 tai 2S94. Näytteet otetaan silloin kun säiliössä on haluttua tavaraa (pelkkää juustoheraa, pelkkiä pesuvesiä tai juustoheraa ja pesuvesiä) ja säiliö on purussa. Kun halutaan ottaa näytteitä seulan jälkeen ja lington jälkeen, otetaan näytteet silloin, kun pastörintilalaitteistossa on varmasti näytteenottoa ajatellen halutun laatuista heraa. Eli aikaisintaan noin 10 - 15 min purun alkamisesta tai silloin kun säiliössä on enää muutamia tuhansia litroja jäljellä.

Tulokset

Tulosten perusteella pyritään selvittämään, mikä olisi oikea näytteenottohetki ja kuinka monesta kohtaa pölynpoistoprosessia näytteet tulisi ottaa. Kannattaisiko näytteet ottaa vain silloin kun syötteenä on pelkkää juustoheraa vai kun mukana on myös pakkauskoneilta tulleita pesuvesiä? Miten pesuvedet vaikuttavat juustoheran pölypitoisuuteen? Riittääkö yksi näytteenotto-kerta ajon aikana? Näihin kysymyksiin pyritään etsimään vastaukset.

Näytemäärät

Näytteet pyritään ottamaan kahden viikon aikana siten, että samana päivänä otetaan kaikkia näytetyyppejä A-C yhden näytteen eli yhteensä 9 näytettä per päivä. Kahden viikon aikana kertyy 10 näytekertaa kaikista näytetyypeistä, eli yhteensä näytteitä tulee 90 kpl.

Tyyppiä A 10 kpl (näytemäärä yht. 30)

Tyyppiä B 10 kpl (näytemäärä yht. 30)

Tyyppiä C 10 kpl (näytemäärä yht. 30)

NÄYTTEENOTTOLOMAKE

Päivämäärä ja aika	Näytteenottopaikka (yliviivaa väärä säiliö)	Lämpötila ja pinnankorkeus	Lingon syöttö- virtaus	Heraseulan ajo laitettu päälle klo	Kuiva-aine pH	Pölypitoisuus	Huomioita (mm. hera/vesi suhde)
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						
	2592 tai 2594						
	Seulan jälkeen						
	Lingon jälkeen						

TULOKSET JUUSTOHERAA

Päivämäärä	Klo	Näytteenottoaika	Lämpötila	Pinnankorkeus	Pölypitoisuus	Kuiva-aine	pH	Heraseulan ajo aloitettu	Syöttövirtaus lingolle
4.8.2015	9:10	2S94	49	11000	0,450	7,1	4,54		
	9:46	Seulan jälkeen	45	4000	0,400	7,0	4,50		
	9:48	Lingon jälkeen	45	3000	0,090	7,0	4,53		
11.8.2015		2S92 tai 2S94			0,400				
		Seulan jälkeen			0,350				
		Lingon jälkeen			0,110				
12.8.2015		2S92 tai 2S94			0,300				
		Seulan jälkeen			0,350				
		Lingon jälkeen			0,050				
13.8.2015	8:30	2S92 tai 2S94	49	12500	0,300	3,8	4,55		
	9:05	Seulan jälkeen	49	9300	0,400	6,8	4,47		
	9:06	Lingon jälkeen	49	9100	0,020	6,8	4,49		
17.8.2015	19:20	2S92	52	12300	0,400	7,0	4,51		
	20:00	Seulan jälkeen	57	5000	0,450	7,0	4,53	16:29	20200
	20:02	Lingon jälkeen	57	4000	0,080	7,0	4,53		
18.8.2015	13:55	2S94	45	11500	0,500	6,0	4,50		
	14:43	Seulan jälkeen	52	7000	0,350	6,3	4,51	9:19	20000-20200
	14:45	Lingon jälkeen	52	6800	0,090	6,3	4,52		
19.8.2015	12:05	2S92	39	11500	0,400	5,1	4,51		
	13:00	Seulan jälkeen	39	4800	0,350	5,1	4,51	9:16	19900-20000
	13:02	Lingon jälkeen	39	4600	0,010	5,1	4,52		
20.8.2015	7:02	2S94	49	10700	0,400	7,1	4,49		
	7:30	Seulan jälkeen	50	5000	0,400	6,9	4,49	7:05	19900-2000
	7:32	Lingon jälkeen	50	4800	0,040	6,9	4,49		
20.8.2015	11:25	2S94	49	12400	0,300	6,1	4,49		
	11:53	Seulan jälkeen	50	4700	0,450	7,0	4,51	7:05	20000
	11:55	Lingon jälkeen	50	4500	0,060	7,0	4,52		
24.8.2015	12:48	2S92	49	11000	0,400	7,0	4,51		
	13:14	Seulan jälkeen	49	4800	0,400	6,8	4,53	8:12	19900
	13:16	Lingon jälkeen	49	4600	0,110	6,8	4,54		
26.8.2015	8:23	2S94	54	9000	0,400	7,0	4,52		
	8:53	Seulan jälkeen	57	4500	0,350	7,0	4,54	8:21	19700-19800
	8:55	Lingon jälkeen	57	4300	0,050	7,0	4,54		
26.8.2015	10:45	2S94	51	7900	0,550	6,8	4,50		
	11:01	Seulan jälkeen	51	4400	0,400	7,0	4,51	8:21	19900-21000
	11:03	Lingon jälkeen	51	4200	0,080	7,1	4,51		
2.9.2015	19:16	2S94	56	14400	0,450	7,0	4,49		
	20:29	Seulan jälkeen	56	6700	0,350	7,0	4,50	19:11	20100
	20:31	Lingon jälkeen	56	6500	0,080	7,0	4,52		
7.9.2015	10:18	2S94	54	10900	0,400	7,0	4,49		
	*	Seulan jälkeen	54	1400	0,300	6,9	4,52	9:13	20100
	*	Lingon jälkeen	54	1200	0,030	6,9	4,52		
8.9.2015	12:18	2S94	50	12400	0,400	6,9	4,52		
	12:47	Seulan jälkeen	50	5800	0,300	6,8	4,52	9:35	20100
	12:49	Lingon jälkeen	50	5600	0,045	6,9	4,53		

TULOKSET PESUVESIÄ

Päivämäärä	Klo	Näytteenottoaika	Lämpötila	Pinnankorkeus	Pölypitoisuus	Kuiva-aine	pH	Heraseulan ajo aloitettu	Syöttövirtaus lingolle
4.8.2015	11:50	2S94	16	7300	0,500	1,3	4,63		
	12:25	Seulan jälkeen	13	3500	0,250	1,1	4,67		
	12:27	Lingon jälkeen	13	3000	0,030	1,2	4,66		
4.8.2015		2S92 tai 2S94			0,400				
		Seulan jälkeen			0,250				
		Lingon jälkeen			0,010				
12.8.2015		2S92 tai 2S94			0,400				
		Seulan jälkeen			0,300				
		Lingon jälkeen			0,020				
13.8.2015	8:35	2S92 tai 2S94	12	8600	0,300	0,9	4,72		
	9:33	Seulan jälkeen	12	1000	0,200	1,2	4,64		
	9:34	Lingon jälkeen	12	9800	0,010	1,2	4,64		
17.8.2015	16:25	2S92	11	14200	0,300	0,7	4,74	16:29	20000 - 20500
	17:00	Seulan jälkeen	10	4500	0,100	0,8	4,72		
	17:02	Lingon jälkeen	10	4200	0,010	0,9	4,71		
17.8.2015	17:15	2S94	10	11500	0,400	0,9	4,70	16:29	20000 - 20500
	17:45	Seulan jälkeen	10	4000	0,100	0,9	4,68		
	17:47	Lingon jälkeen	10	3800	0,030	0,9	4,66		
18.8.2015	9:10	2S94	10	14100	0,300	0,9	4,69		
	9:45	Seulan jälkeen	10	6500	0,200	1,0	4,69	9:19	20300
	9:47	Lingon jälkeen	10	6300	0,010	0,9	4,64		
20.8.2015	7:50	2S92	14	11100	0,400	2,2	4,61		
	8:08	Seulan jälkeen	14	4500	0,250	1,8	4,63	7:05	21000-22500
	8:10	Lingon jälkeen	14	4300	0,040	1,8	4,62		
21.8.2015	8:23	2S92	10	12100	0,450	1,0	4,67		
	9:03	Seulan jälkeen	11	5500	0,200	1,2	4,67	7:52	20100-20200
	9:05	Lingon jälkeen	11	5300	0,020	1,2	4,67		
24.8.2015	10:07	2S92	14	10700	0,400	1,3	4,70		
	11:15	Seulan jälkeen	15	5000	0,200	1,3	4,70	8:12	20000
	11:17	Lingon jälkeen	15	4800	0,020	1,2	4,70		
26.8.2015	9:00	2S92	15	11600	0,350	1,2	4,69		
	9:22	Seulan jälkeen	13	5000	0,150	1,3	4,66	8:21	19700-19800
	9:24	Lingon jälkeen	13	4800	0,010	1,2	4,68		
4.9.2015	*	2S94	19	4900	0,100	1,5	4,62		
	*	Seulan jälkeen	19	5300	0,150	1,7	4,61	6:00	19900
	*	Lingon jälkeen	19	5100	0,080	6,3	4,50		
7.9.2015	9:20	2S92	9	13900	0,450	1,0	4,68		
	9:47	Seulan jälkeen	9	8200	0,130	0,9	4,68	9:13	20100
	9:49	Lingon jälkeen	9	8000	0,015	0,9	4,68		
*	*	2S94	14	14200	0,300	1,1	4,71		
	*	Seulan jälkeen	14	12000	0,200	1,1	4,70	17:03	19900
	*	Lingon jälkeen	14	11800	0,010	0,8	4,78		

TULOKSET JUUSTOHERAA JA PESUVESIÄ

Päivämäärä	Klo	Näytteenottoaika	Lämpötila	Pinnankorkeus	Pölypitoisuus	Kuiva-aine	pH	Heraseulan ajo aloitettu	Syöttövirtaus lingolle
12.8.2015	18:45	2S94	31	13800	0,400	6,5	4,50		
	19:15	Seulan jälkeen	33	6700	0,200	3,9	4,56		
	19:17	Lingon jälkeen	33	6500	0,050	4,0	4,57		
13.8.2015	11:22	2S92 tai 2S94	43	8800	0,300	4,0	4,53		
	11:38	Seulan jälkeen	36	4200	0,250	4,1	4,53		
	11:40	Lingon jälkeen	36	4100	0,070	4,1	4,55		
14.8.2015	8:45	2S92 tai 2S94	35	13500	0,300	3,8	4,54		
	9:30	Seulan jälkeen	31	3400	0,300	3,8	4,55		
	9:32	Lingon jälkeen	31	3200	0,090	3,8	4,55		
17.8.2015	21:08	2S94	33	11700	0,350	5,5	4,55		
	21:30	Seulan jälkeen	36	5600	0,200	4,0	4,59	16:29	19900-20000
	21:32	Lingon jälkeen	36	5400	0,070	4,0	4,59		
18.8.2015	9:55	2S92	33	14400	0,400	4,1	4,56		
	10:20	Seulan jälkeen	33	7600	0,300	4,0	4,54	9:19	20000
	10:22	Lingon jälkeen	33	7400	0,050	4,1	4,57		
19.8.2015	9:35	2S92	32	14100	0,300	4,2	4,50		
	10:06	Seulan jälkeen	33	6000	0,300	4,0	4,53	9:16	19900-20000
	10:08	Lingon jälkeen	33	5800	0,080	4,1	4,54		
20.8.2015	8:40	2S94	41	11000	0,500	4,7	4,59		
	9:15	Seulan jälkeen	36	4000	0,350	4,4	4,56	7:05	20000-21000
	9:17	Lingon jälkeen	36	3000	0,060	4,7	4,55		
21.8.2015	9:53	2S94	29	11000	0,400	4,4	4,53		
	10:26	Seulan jälkeen	32	5700	0,300	3,7	4,56	7:52	20000-21000
	10:28	Lingon jälkeen	32	5500	0,070	3,7	4,56		
24.8.2015	8:13	2S92	28	14000	0,300	3,6	4,59		
	8:46	Seulan jälkeen	33	4800	0,200	4,0	4,59	8:12	20000
	8:48	Lingon jälkeen	33	4600	0,070	4,0	4,60		
25.8.2015	9:14	2S94	32	14400	0,400	4,4	4,52		
	10:32	Seulan jälkeen	35	4500	0,250	4,8	4,54	9:56	20000-20200
	10:34	Lingon jälkeen	35	4300	0,100	4,5	4,54		
3.9.2015	20:05	2S92	26	14500	0,600	3,0	4,55		
	20:49	Seulan jälkeen	26	6800	0,300	3,0	4,55	19:27	20000
	20:51	Lingon jälkeen	26	6600	0,080	3,0	4,56		
4.9.2015	*	2S92	27	11200	0,320	3,4	4,55		
	*	Seulan jälkeen	27	10100	0,250	3,3	4,55	6:00	18400
	*	Lingon jälkeen	32	12500	0,060	1,5	4,64		
*	9:37	2S94	35	14400	0,300	4,2	4,57		
	10:42	Seulan jälkeen	35	8200	0,200	4,2	4,58	9:35	20200
	10:44	Lingon jälkeen	35	8000	0,040	4,2	4,58		