



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Janne Koivisto

Sivuvirtojen hyödyntäminen jogurtin valmistuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

4.4.2018

Tekijä Otsikko	Janne Koivisto Sivuvirtojen hyödyntäminen jogurtin valmistuksessa
Sivumäärä Aika	66 sivua + 4 liitettä 4.4.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat	Lehtori Carola Fortelius Tuotekehityspäällikkö Päivi Kankkunen Tuotekehityspäällikkö Maarit Paanajärvi
Insinööritöiden tavoitteena oli tutkia meijerin tuotannosta syntyviä sivuvirtoja ja kokeilla, voisiko niitä hyödyntää jogurtin valmistuksessa. Sivuvirtojen hyödyntämisen tavoitteena on vähentää meijeristä syntyvää hävikkiä ja kustannuksia. Työn teoriaosuudessa tutustutaan jogurtin valmistamiseen, kalvosuodattamiseen ja työn kokeellisessa osuudessa hyödynnettäviin sivuvirtoihin. Työssä tutkittavat sivuvirrat olivat nanosuodatusretentaatti (NF-retentaatti) ja hapanta hera. Työn kokeellisessa osuudessa tehtiin kolme erilaista pilottikokekokoluokan koesarjaa, joissa valmistettiin jogurtia hyödyntämällä NF-retentaattia ja hapanta heraa. Pilottikokeiden koesarjojen tavoitteena oli selvittää, voisiko NF-retentaattia tai hapanta heraa käyttämällä valmistaa jogurtia, joka vastaisi aistittavilta ja rakenteelliselta ominaisuuksiltaan tavallista maustamatonta jogurtia. Pilottikokeiden koesarjojen 1 ja 2 jogurttien valmistamiseen käytettiin NF-retentaattia ja koesarjan 3 jogurttien valmistamiseen käytettiin hapanta heraa. Koesarjasta 2 löydettiin potentiaalinen jogurttiresepti, jonka valmistamiseen käytettiin NF-retentaattia ja laktaasientsyymiä. Reseptistä tehtiin tuotantomittakaavan koeajo, jossa selvitettiin toimitisiko se suuremmissa mittakaavassa. Koeajossa NF-retentaattia sisältävän jogurtin tavoitteena oli päästä mahdollisimman lähelle tuotannossa valmistettavaa maustamatonta jogurtia. Koeajon aistinvaraisessa arvioinnissa vertailujogurtti arvioitiin makeammaksi kuin koeajojogurtti ja ero oli tilastollisesti merkitsevä. Jogurttien välinen makeusero yllätti, koska koeajojogurtin olisi teoriassa pitänyt olla makeampaa verrattuna vertailujogurttiin. Ennen koeajoa koesarjassa 2 todettiin myös, että saman reseptin ja vertailujogurtin makeuksien välillä ei ollut merkitsevää eroa. Teoriassa hydrolysoitu laktoosi on noin 65 % puhtaan sakkaroosin makeudesta ja koeajojogurtin teoreettinen makeus laskettiin noin 1,5 kertaa suuremmaksi vertailujogurttiin verrattuna. Muilta ominaisuuksiltaan koeajojogurtti oli hyvin verrattavissa vertailujogurtin kanssa, mikä tarkoitti sitä, että koeajo oli onnistunut. Pilottikokeiden koesarjassa 3 hapanta heraa hyödyntämällä valmistettuja reseptejä 2 ja 3 voidaan tulevaisuudessa tutkia tarkemmin samanlaisella tuotannon koeajolla, kuten NF-retentaattiakin. Työn tulosten perusteella onnistuttiin löytämään toimivia jogurttireseptejä hyödyntämällä meijeristä syntyviä sivuvirtoja.	
Avainsanat	Meijeriteollisuus, jogurtti, sivuvirrat, NF-retentaatti, hapanta hera

Author Title	Janne Koivisto Utilizing side streams in yoghurt production
Number of Pages Date	66 pages + 4 appendices 4th of April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Biotechnology and Food Engineering
Instructors	Carola Fortelius, Principal Lecturer Päivi Kankkunen, New Product Manager Maarit Paanajärvi, New Product Manager
The aim of the thesis was to study the side streams of dairy production and to try utilizing them in yoghurt production. The purpose of utilizing the side streams is to reduce the losses and costs of the dairy plant. In the theoretical part of the thesis the aim was to study the production of yoghurt, membrane filtration and the side streams to be used in the experimental part of the thesis. The side streams studied in this thesis were nanofiltration retentate (NF-retentate) and acid whey. In the experimental part of the thesis, three different pilot scale test series were made in which yoghurt was prepared by using NF-retentate and acid whey. The goal of the pilot scale test series was to find whether the use of NF-retentate or acid whey would produce yoghurt that would correspond with the sensory and structural characteristics of ordinary unflavoured yoghurt. The yoghurts of Test Series 1 and Test Series 2 were prepared using NF-retentate and acid whey was used to prepare the yoghurts in Test Series 3. In Test Series 2, a potential yoghurt recipe was discovered using NF-retentate and lactase enzyme. The recipe was tested in a production scale trial run to see if it would work on a larger scale. In the trial run, the aim was to get the trial yoghurt containing NF-retentate as close as possible to unflavoured yoghurt produced in production. In the sensory evaluation of the trial run, the reference yoghurt was found to be sweeter than the trial yoghurt and the difference was statistically significant. The difference in the sweetness between the yoghurts was surprising, because in theory the trial yoghurt should have been sweeter compared to the reference yoghurt. Before the trial run the same yoghurt recipe, that was prepared in Test Series 2 had no significant difference in the sweetness compared with the reference yoghurt. In theory hydrolysed lactose is about 65 % of pure sucrose and the theoretical sweetness of the trial yoghurt was calculated to be about 1,5 times more than of the reference yoghurt. Overall the trial run yoghurt was successful, and it was comparable with the unflavoured reference yoghurt. In Test Series 3, yoghurt recipes 2 and 3 were similar with the reference yoghurt and could be studied and examined in more detail by running a similar style trial run as with the NF-retentate. On the basis of this thesis, successful yoghurt recipes were found by utilizing the side streams from the dairy plant.	
Keywords	Dairy, yoghurt, side streams, NF-retentate, acid whey

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Jogurtti	2
2.1	Jogurtissa käytettävien raaka-aineiden ominaisuudet	2
2.2	Tankissa kypsyvän jogurtin valmistusprosessi	3
2.2.1	Jogurttimaidon homogenointi	4
2.2.2	Jogurttimaidon pastörinti	4
2.2.3	Hapatteen lisäys	5
2.2.4	Kypsytytys	5
2.2.5	Jogurtin maustaminen ja varastointi	6
2.3	Jogurtin laadun arviointi	7
2.3.1	Aistinvarainen arviointi	7
2.3.2	Mikrobiologinen laadunvalvonta	7
2.3.3	Fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien määrittäminen	8
3	Kalvosuodattaminen	8
3.1	Kalvosuodattaminen meijeriteollisuudessa	8
3.2	Kalvosuodatustekniikat	10
3.2.1	Ultrasuodatus	12
3.2.2	Nanosuodatus	13
4	Sivuvirtojen hyödyntäminen	14
4.1	Sivuvirtojen hyödyntäminen meijeriteollisuudessa	14
4.2	Laktoosittoman maitojuoman suodatusprosessi	14
4.2.1	Ultrasuodatuspermeaatti	16
4.2.2	Nanosuodatusretentaatti	17
4.3	Hapan hera	18
5	Materiaalit ja menetelmät	20
5.1	Pilottikokeiden esivalmistelut	20

5.1.1	Jogurttimassan sekoittaminen	20
5.1.2	Happaman heran vaikutus maidon pH-arvoon	22
5.1.3	NF-retentaatin esikäsittely	23
5.2	Pilottikokeiden koeasetelma	24
5.2.1	Koesarjojen raaka-aineet ja reseptiikka	25
5.2.2	Koesarjojen valmistus	29
5.3	Tuotannon koeajo	32
5.4	Analyysimenetelmät	33
5.4.1	Aistinvarainen arviointi	33
5.4.2	Arviointitulosten tilastollinen analyysi	35
5.4.3	Koostumus	35
5.4.4	pH-arvo	37
5.4.5	Viskositeetti	38
6	Tulokset ja tulosten tarkastelu	39
6.1	Aistinvarainen arviointi ja tilastollinen merkitsevyys	39
6.1.1	Koesarja 1 (NF-retentaatin testaaminen jogurtissa)	39
6.1.2	Koesarja 2 (NF-retentaatin testaaminen jogurtissa)	42
6.1.3	Koesarja 3 (Happaman heran testaaminen jogurtissa)	44
6.1.4	Koeajo	46
6.2	Koostumus	48
6.3	pH-arvo ja säilyvyys	50
6.4	Viskositeetti	54
6.5	Ominaisuuksien välinen tilastollinen riippuvuus	59
7	Yhteenveto	Error! Bookmark not defined.
	Lähteet	62

Liitteet

Liite 1. NF-retentaatin koostumusanalyysi (Eurofins)

Liite 2. Jogurtin rakenne- ja flaviominaisuuksien kuvailu

Liite 3. Aistinvaraisen arvioinnin lomake

Liite 4. Koesarjojen 1–3 valmistuksen aikana mitatut pH-arvot

Lyhenteet

CIP	Cleaning in place -pesumenetelmä, jossa pesulioksia ja huuhtevettä kierrätetään tankkien, putkistojen ja prosessilaitteiden läpi ilman niiden avaamista pesun aikana.
Da	Dalton eli atomimassojen ilmoittamiseen käytettävä yksikkö.
FPD	Freezing Point Depression eli maidon jäätymispisteen vääristymä.
FTIR	Fourier Transform Infrared eli infrapunaspektriin perustuva analyysimenetelmä.
Hera5	Koesarjassa 3 valmistettu jogurtti, joka sisälsi 5 % hapanta heraa.
Hera10	Koesarjassa 3 valmistettu jogurtti, joka sisälsi 10 % hapanta heraa.
Hera15	Koesarjassa 3 valmistettu jogurtti, joka sisälsi 15 % hapanta heraa.
NFR25	Koesarjassa 1 valmistettu jogurtti, joka sisälsi 25 % NF-retentaattia.
NFR12,5	Koesarjassa 1 valmistettu jogurtti, joka sisälsi 12,5 % NF-retentaattia.
NFR12,5P	Koesarjassa 1 valmistettu jogurtti, joka sisälsi 12,5 % NF-retentaattia ja lisättyä proteiinijauhetta.
NFR12,5L	Koesarjassa 2 valmistettu jogurtti, joka sisälsi 12,5 % NF-retentaattia ja laktaasientsyymiä.
NFR12,5S	Koesarjassa 2 valmistettu jogurtti, joka sisälsi 12,5 % NF-retentaattia ja pektiiniä (sakeuttamisaine).
NFR12,5P2	Koesarjassa 2 valmistettu jogurtti, joka sisälsi 12,5 % NF-retentaattia ja kahta eri proteiinijauhetta.
SNF	Solid Non Fats ja sillä ilmoitetaan rasvattomien komponenttien pitoisuus.

1 Johdanto

Meijeriteollisuudessa hävikin ja kustannusten vähentäminen on suuressa roolissa, joko vanhojen tuotantotapojen jatkuvassa kehittämisessä tai uusien tuotteiden ja tuotantotapojen suunnittelemisessa. Nykyään kuluttajat ovat suuremmassa äänessä siitä, mitä tuotteita meijereiltä halutaan saada markkinoille. Kuluttajien ostopäätöksiin vaikuttaa yhä enemmän tuotteiden tuotannon ja raaka-aineiden hankinnan ekologisuus sekä eettisyys. [1.]

Meijeriteollisuudessa sivuvirtojen hyödyntämisen tavoitteena on juurikin vähentää meijereistä syntyvää hävikiä ja kustannuksia. Sivuvirtoja hyödyntämällä voisi olla mahdollista tuoda uusia tuotteita markkinoille tai tuoda lisäarvoa jo meijereissä valmistettaviin tuotteisiin. Merkittäviä sivuvirtoja meijeriteollisuudessa ovat laktoosittomien maitojuomien suodattamisesta syntyvä nanosuodatusretentaatti ja hapanmaitovalmisteiden ja tuorejuustojen valmistuksen aikana muodustuva hapan hera. [2.] Esimerkiksi kreikkalaisen jogurtin valmistuksessa hapanta heraa muodostuu noin kolminkertainen määrä yhtä valmistuvaa jogurttikiloa kohden [3].

Tällä hetkellä nanosuodatusretentaatin ja happaman heran hyödyntäminen on vähäistä, koska ne ajatellaan vähemmän arvokkaina raaka-ainevirtoina. Molemmista on kuitenkin mahdollista saada konsentroitua tai kiteytettyä suhteellisen korkeat määrät laktoosia. Laktoosilla voitaisiin esimerkiksi tuoda makeutta ja vähentää lisättävän sokerin määrää sekä nostaa kuiva-ainepitoisuutta erilaisten maitotuotteiden tai muiden elintarviketeollisuuden tuotteiden valmistuksen aikana. [4.]

Tämä insinöörityö tehtiin Arla Oy:n Sipoon meijerin tuotekehitysosastolle. Insinöörityön tavoitteena oli tutkia meijerin tuotannosta syntyviä sivuvirtoja ja kokeilla, voisiko niitä käyttää jogurtin valmistuksessa. Työn teoriaosuudessa tutustutaan yleisellä tasolla jogurtin valmistamiseen, kalvosuodattamiseen sekä meijeristä syntyviin ja kokeellisessa osuudessa käytettäviin sivuvirtoihin. Työn kokeellisen osuuden tavoitteena oli tutkia, voidaanko NF-retentaattia ja hapanta heraa käyttää jogurtin valmistusreseptissä ilman, että jogurtin aistinvaraiset ominaisuudet, pH-arvo tai viskositeetti muuttuisivat verrattuna meijerin tuotannossa valmistettavaan maustamattomaan jogurttiin.

2 Jogurtti

2.1 Jogurtissa käytettävien raaka-aineiden ominaisuudet

Hapanmaitotuotteita valmistaessa asetetaan maidolle tarkat laatuvaatimukset. Maidon tulee olla mahdollisimman tuoretta ja terveistä lehmistä peräisin. Maito ei saa sisältää hapatemikrobien kasvua estäviä aineita eikä mikrobeja. [5, s. 32.]

Yleisten vaatimusten lisäksi jogurttimaidolle on hyvin tyypillistä, että sen kuiva-ainepitoisuutta kohotetaan haihduttamalla vettä ja lisäämällä maitojauhetta tai maitoproteiinijauhetta. Proteiinipitoisuuden kasvattaminen kiinteyttää jogurtin rakennetta [6, s. 244]. Yhdessä jogurttimaidon korkeat kuiva-aine-, proteiini- ja rasvapitoisuudet parantavat jogurtin rakenteen kiinteyttä ja viskositeettia. Muuttamalla niiden määriä voidaan myös vaikuttaa jogurtin aistittaviin ominaisuuksiin. Jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuuden ollessa noin 15–18 % saadaan jogurtin rakenteesta kiinteä ja jogurttimainen. Jogurttimaitoon voidaan tarvittaessa lisätä erilaisia kide- ja nestesokereita, makeutusaineta ja sakeuttamisaineita. [5, s. 37.]

Sakeuttamisaineita käytetään veden sitomiseen pastöroitavien jogurttien valmistuksessa. Veden sitominen auttaa vähentämään heran erottumista ja kasvattamaan jogurtin viskositeettia. [5, s. 37.] Sakeuttamisaineita käytettäessä tulee olla tarkkana, ettei niitä lisää liikaa tai väärän tyyppistä. Väärän tyyppinen sakeuttamisaine tai liian suuri määrä sitä voi tehdä jogurtin rakenteesta kovan ja kumisen. Yleisimmät sakeuttamisaineet jogurtin valmistuksessa ovat agar-agar, liivate, pektiini ja tärkkelys. [6, s. 245.]

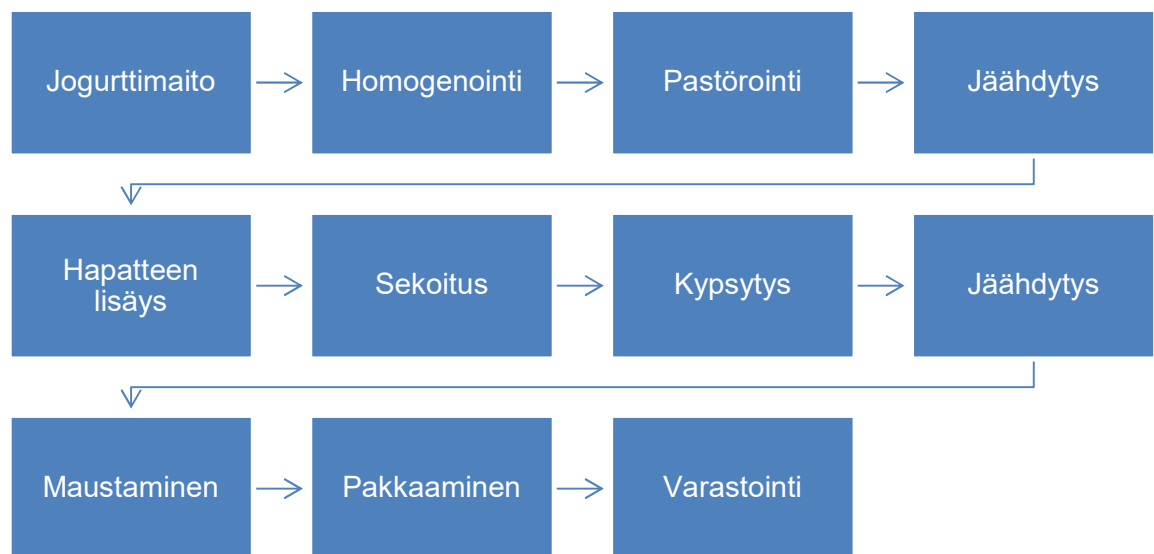
Jogurtin valmistuksessa hapatteena käytetään termofiilista hapatetta, jossa on kaksi maitohappobakteeria. Maitohappobakteerit *Streptococcus thermophilus* ja *Lactobacillus delbruekii ssp. bulgaricus* tuottavat toistensa kasvua estäviä yhdisteitä. Jogurttimaidon laktoosi on maitohappobakteerien fermentaatioiden lähtöaine sekä hapatuksen aikana jogurttimaidon laktoosipitoisuus pienenee. Maitohappobakteerit pilkkovat myös jogurttimaidon proteiineja. Proteiinien pilkkoutumisesta muodostuvat peptidit ja aminohapot osallistuvat maitohappotuotteille tyypillisen rakenteen ja maun muodostamiseen. [5, s. 37–38.]

Jogurtin valmistuksessa hapatteiden tarkoitus on muodostaa jogurttimaidon laktoosista ja muista tarjolla olevista sokereista maitohappoa [5, s. 31]. Jogurttihapatteet luovat yhdessä valmistettavan jogurtin perusominaisuudet, kuten aromin, maun, pH-arvon ja rakenteen. Hapatteita lisättäessä tulee varmistaa, että *Lactobacillus*-bakteereita on joko samassa suhteessa tai vähemmän kuin *Streptococcus*-bakteereita. Jos *Lactobacillus*:ta on enemmän, jogurtin mausta tulee liian hapan. [6, s. 238.]

Jogurttien makeuttamiseen ja maustamiseen käytetään marja- ja hedelmävalmisteita, jotka vaikuttavat jogurttien makuun ja rakenteeseen. Maku ja rakenteelliset ominaisuudet riippuvat marjan tai hedelmän mausta, makeudesta, rakenteen paksuudesta, marja- ja hedelmäpalojen koosta ja määrästä. Marja- ja hedelmävalmisteet antavat myös valmistettavalle jogurtille sen värin. Makeuttamisen lisäksi jogurttimaito voidaan maustaa erilaisilla aromeilla. Aromeita voidaan myös lisätä hapatuksen jälkeen valmiiseen jogurttimassaan. On myös havaittu, että valmiin jogurttimassan jäähdyttämisellä ja maltillisella sekoittamisella pystytään säätämään jogurtin rakennetta. [5, s. 37–38.]

2.2 Tankissa kypsyvän jogurtin valmistusprosessi

Yleisin ja tunnetuin tapa valmistaa jogurttia on tankissa, koska tankissa kypsyvän jogurtin valmistaminen on yksinkertaista. Hapatteen lisääminen, sekoittaminen sekä jogurtin kypsyttäminen ja jäähdyttäminen on mahdollista tehdä samassa tankissa. Jogurtin tekeminen aloitetaan valmistamalla jogurttimaito. Jogurttimaito valmistetaan lisäämällä tarpeelliset kuiva-aineet, sakeuttamisaineet ja sokerit. Jogurtin valmistuksessa jogurttimaito homogenoidaan ja pastöroidaan samalla tavalla kuin muidenkin hapanmaitovalmisteiden valmistuksessa. [5, s. 38–39.] Kuvassa 1 on esiteltynä jogurtin yleinen valmistusprosessi ja valmistuksen tärkeimmät vaiheet ovat kerrottuna tarkemmin osioissa 2.2.1–2.2.5 kuvan 1 jälkeen.



Kuva 1. Tankissa kypsyvän jogurtin valmistuksen vaiheet [5, s. 33].

2.2.1 Jogurttimaidon homogenointi

Homogenoinnin tarkoitus on estää jogurttimaidossa olevan rasvan nousemista maidon pinnalle. Homogenoinnilla rasva pilkkotaan ja sekoitetaan tasaisesti jogurttimaidon sekaan. [7.] Rasvan pilkkoutuessa rasvapalloset pienenevät, jolloin rasva sekoittuu jogurttimaidon nestefaasiin [8]. Jogurttimaito homogenoidaan 60–70 °C:ssa ja noin 200 baarin paineessa jogurtin fysikaalisten eli rakenteellisten ominaisuuksien optimoimiseksi [6, s. 246]. Ennen homogenointia jogurttimaidon raaka-aineden tulee olla sekoitettuna, ja jogurttimaidon on oltava tasaista homogenoinnin onnistumiseksi. Homogenoinnin seurauksena jogurtin lopullinen koostumus paranee ja saadaan rakenne, joka pidättää heraa. [9; 10, s. 31.]

2.2.2 Jogurttimaidon pastörinti

Homogenoinnin jälkeen jogurttimaito pastöroidaan 90–95 °C:ssa noin 5 min ajan [6, s. 246]. Pastöroinnin kestoa ja lämpötilaa muokkaamalla voidaan myös vaikuttaa jogurtin rakenteeseen, vedenpidätyskykyyn ja viskositeettiin [10, s. 31]. Pastöroinnin aikana noin 70–80 % heraproteiineista denaturoituu ja suurin muutos tapahtuu β -laktoglobuliinin

kohdalla. β -laktoglobuliini on heraproteiinin pääkomponentti, ja sen denaturoituminen vaikuttaa κ -kaseiinin kanssa jogurtin rakenteen pysyvyyteen. Pastöroinnin tarkoituksena on aktivoida jogurttimaito toimimaan hapateviljelmän kasvualustana, varmistamaan jogurtin juoksettumisen tasaisuus ja vähentää heran erottumista. [6, s. 246.] Pastörointi tuhoaa jogurttimaidosta bakteerit ja muut pieneliöt, jotka voisivat vaikuttaa hapateviljemien toimintaan. Bakteerien ja pieneliöiden poistaminen jogurttimaidosta parantaa valmiin jogurtin säilyvyyttä. [11, s. 195.] Pastöroinnin jälkeen jogurttimaidon annetaan jäähtyä kypsytyslämpötilaan eli noin 40–45 °C:seen [6, s. 248].

2.2.3 Hapатteen lisäys

Ennen kypsyttämisen aloittamista jogurttimaitoon lisätään hapateviljelämä. Nykyään jogurttimaidon hapattamiseen käytetään valmiiksi pakastettuja hapateviljelmiä, jotka lisätään suoraan jogurttimaitoon. Jogurttimaidon ja hapateviljelmän kypsytyslämpötila on 43 °C ja kypsytysaika on noin 6 tuntia. Pakastetut hapateviljelmät helpottavat jogurtin valmistamista, säästävät tilojen tarpeessa ja vähentävät kontaminaation riskiä, koska hapatebakteereita ei tarvitse erikseen kasvattaa omassa kasvatushuoneessa. [6, s. 246–247; 250.] Tärkeää on, että hapateviljelämä lisätään jogurttimaitoon mahdollisimman nopeasti hapateviljelmässä olevien bakteerien jakautumisen välttämiseksi [12]. Laktoosittomien jogurttien valmistuksessa jäähtyneeseen jogurttimaitoon voidaan hapateviljelmän kanssa lisätä laktaasientsyymiä pilkkomaan laktoosia.

2.2.4 Kypsytyks

Kypsytyksen tavoitteena on saada hapateviljelmän bakteerit fermentoimaan laktoosia maitohapoksi, jolloin jogurttimaidon pH-arvo laskee noin 4,2–4,6. Jogurttimaidon pH:n laskiessa noin 5,2–5,3 ja maitohapon muodostumisen seurauksena alkaa kaseiinin rakenne muuttumaan epävakaaaksi. Kaseiinin rakenteen muuttumisen aikana siihen sitoutunut trikalsiumfosfaatti hajoaa fosforiksi ja kalsiumiksi. Jogurttimaidon happaneminen alkaa päättymään pH-arvon ollessa 4,6, jolloin kaseiini saavuttaa sen isoelektrisen pisteen. [11, s. 33; 206.] Isoelektrisessä pisteessä kaseiinin varaus muuttuu nollaksi ja se alkaa hidastamaan jogurttimaidon pH-arvon laskemista ja muutosta [10, s. 30].

Maitohapon muodostumisen ja kypsytyksen aikana pH-arvon laskemisen tekemät muutokset kaseiiniin antavat jogurttimaidosta valmistuvalle jogurtille sen koostumuksen, rakenteen ja happaman maun [11, s. 206]. Kypsytyksen aikana muodostuu myös asetaldehydiä, kun jogurttimaidon pH-arvo on alle 5,0. Asetaldehydiä muodostuu *bacillus*-bakteereista ja asetaldehydin pitoisuuden ollessa 23–41 ppm ja pH:n laskiessa noin 4,4–4,6 saavutetaan jogurtille optimaaliset aromi- ja makuprofiilit. [6, s. 238.]

Kypsytyksen jälkeen jogurtti jäähdytetään noin 15–22 °C:seen hapatuksen lopettamiseksi. [6, s. 250.] Jogurtin jäähdyttäminen nopeasti samalla sekoittaen tarpeeksi hitaasti pitää jogurttimassan homogeenisena. Hidas ja vähäinen sekoittaminen auttavat jogurttimassan rakenteen säilymisessä, jäähdytyslämmön jakautumisessa ja heran erottumisen hidastamisessa. [10, s. 32].

2.2.5 Jogurtin maustaminen ja varastointi

15–22-asteiseen lämpötilaan jäähdytetty jogurttimassa on valmis maustamista, pakkaamista ja varastointia varten [6, s. 250]. Jogurtin maustaminen marja- ja hedelmävalmisteilla vaikuttaa jogurtin makuun ja rakenteeseen. Maustamisessa tärkeää on, että tavoiteltu happamuus, makeus ja väri ovat tasapainossa. Näiden ominaisuuksien tulee säilyä koko myyntiajan. Makeuttavien ainesosien lisäksi jogurtti voidaan maustaa erilaisilla aromeilla. [5, s. 38.] Aromeilla voidaan muuttaa jogurtin makua ja tuoksua. Aromeilla on myös mahdollista korvata marja- ja hedelmävalmisteita jogurtin maustamisessa. Maustamisen jälkeen jogurtti pakataan ja varastoidaan. [13.]

Jogurtin säilyvyyteen voidaan suoraan vaikuttaa aseptisellä työskentelyhygienialla, suojaavalla pakkauksella, pakkauksen tiiveydellä ja katkeamattomalla kylmäketjulla. Hapanmaitotuotteiden laatua heikentävät myös proteolyttiset, lipolyttiset ja itiölliset mikrobit sekä bakteriofagit. Suuri määrä proteolyttisiä itiöitä tekevät jogurtista liian happaman makuisen. Bakteriofagit ovat viruksia, jotka tuhoavat bakteereita. [5, s. 39; 14, s. 555.]

2.3 Jogurtin laadun arviointi

Tärkeimmät tekijät arvioitaessa jogurtin laatua ovat aistinvaraiset, mikrobiologiset, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. Jogurtin laadulliset arvioinnit eri menetelmillä ovat hyvin tärkeitä vaiheita ennen jogurtin päästämistä myyntiin. [5, s. 39].

2.3.1 Aistinvarainen arviointi

Aistinvaraisessa arvionnissa arvioidaan jogurtin makua, rakennetta, tuoksua, ulkonäköä, ja väriä. Aistinvaraista laatua heikentävät tekijät liittyvät yleensä makuun. Tyypillisimmät makuvirheet ovat epätyypillinen maku, happamuus ja maun puutteellisuus. Jogurtissa käytetyt raaka-aineet voivat myös luoda jogurttiin eltaantuneita, hapokkaita, metallisia, pilaantuneita ja tunkkaisia makuja. Valmistuksen aikana huolimattomuus eri vaiheissa voi tuoda jogurttiin ylikypsää, karamellimaista tai hyvin hapanta makua. Jogurtin aistinvaraista laatua tulee arvioida pakkaamisen aikana, pakkamisen jälkeen ja ennen myyntiin vapauttamista. [11, s. 256.]

2.3.2 Mikrobiologinen laadunvalvonta

Mikrobiologisessa laadunvalvonnassa määritetään enterobakteerit, vieraat mikrobit, hiivat ja homeet. Hyödylliset mikrobit voidaan määrittää erikseen selektiivisesti kasvualustoilla ja tunnistaa mikroskopoimalla. [5, s. 39.] Mikrobiologisessa laadunvalvonnassa keskitytään pääosin koliformien, hiivojen ja homeiden löytämiseen ja jogurtin säilyvyyden tarkkailuun [11, s. 258]. Koliformit eli kolibakteerit tuhoutuvat jo pastöroinnin aikana. Kolibakteerien sisältämisen selvittäminen on tärkeä vaihe ennen jogurtin vapauttamista myyntiin, sillä kolibakteereita voi päätyä jogurttiin jälkikontaminaation takia. [15.]

Hyllyjän eli säilyvyyden tarkkailussa valmiita jogurtteja inkuboidaan 3 päivän ajan 30 °C:ssa ja 7 päivän ajan 20 °C:ssa mahdollisten hiiva- ja homekasvustojen löytämiseksi. Mahdolliset hiiva- ja homekasvustot näkyvät jogurtin pinnalla filmeinä, kosteina kasvustoina, sinivihreinä pilkkuina sekä tuoksuina. Jogurttien valmistuksen aikana tuotenäytteitä otetaan tuotannon alku-, keski- ja loppuvaiheissa mikrobiologisten virheiden kartoittamiseksi. [11, s. 258.]

2.3.3 Fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien määrittäminen

Fysikaalisista laadunvalvonnallisista määryksistä tärkein on rakenteenmittaus eli viskositeetin määrittäminen. [5, s. 39.] Viskositeetin määrittämisellä voidaan selvittää tarkemmin jogurtin rakenteen käyttäytymistä. Viskositeetti mitataan vääntömomentin ja nesteen virtausvastuksen eli viskositeettivastuksen voittamiseen perustuvalla rotaatioviskometrillä. Rotaatioviskometriin valitaan jogurtille sopiva kierrosnopeus, mittausaika ja spindeli. Rotaatioviskometri mittaa vaadittavan vääntömomentin suuruuden jogurtin viskositeettivastuksen ylittämiseksi ja antaa lukuarvon, josta saadaan selville jogurtin viskositeetti. [16.]

Kemialliset ominaisuudet laadunvalvonnassa ovat happamuudet pH ja °SH, rasva-, laktoosi- ja kuiva-ainepitoisuudet. Kemiallisia ominaisuuksia selvitetään ja mitataan niille suunniteltujen laitteiden avulla koko jogurtin valmistusprosessin aikana ja jälkeen. [5, s. 39]. Esimerkiksi kemiallisessa laadunvalvonnassa voidaan määrittää jogurtin homogenointiaste ja pastörintikäsittelyn riittävyys jogurtin valmistuksen aikana. [1.]

3 Kalvosuodattaminen

3.1 Kalvosuodattaminen meijeriteollisuudessa

Meijeriteollisuudessa maidon kalvosuodatusprosessit ovat erotteluvaiheita, joiden tavoitteena on erottaa maidosta erikokoisia komponentteja puoliläpäisevien kalvojen läpi. [17.] Maito on monipuolinen seos erilaisia komponentteja, kuten esimerkiksi laktoosia, mineraaleja, mikro-organismeja, proteiineja, rasvaa, suolaa ja vettä. Kaikilla maidon komponenteilla on niille ominaiset ravinteelliset ja funktionaaliset ominaisuudet. [18, s. 1.]

Meijeriteollisuudessa maidon kalvosuodattamista käytetään laajasti eri sovelluksissa, kuten esimerkiksi maidon säilyvyyden parantamisessa, demineralisoinnissa, maidon proteiinipitoisuuden vakioinnissa, heran prosessoinnissa, juustojen valmistuksessa, maitorasvan fraktioinnissa sekä bakteerien, laktoosin ja suolan vähentämisessä. [17.]

Kalvosuodatukset ovat hyvin yleisiä ja käytettyjä prosesseja meijeriteollisuudessa, koska niitä voidaan suorittaa ilman lämmön tai entsyymien lisäämistä. Kalvosuodatuksilla maidosta voidaan fraktioida, konsentroida ja puhdistaa eri komponentteja. Kalvosuodatusten avulla maidossa olevia komponentteja pystytään hyödyntämään täydellisesti, koska niitä ei häviä minnekään. Maidon komponenteista saadaan myös puhtaampia ja tasalaatuisempia sekä ne säilyvät paremmin ennallaan ilman entsyymien lisäämistä tai lämpötilan nostamista. [17; 18, s. 1.]

Meijeriteollisuudessa käytettävillä kalvosuodatuksilla on suuri rooli elintarviketeollisuudessa uusien tuotteiden ja sovelluksien löytämiseksi, koska kalvosuodatuksilla on mahdollista korvata perinteisimpiä ja yleisimpiä elintarvikkeiden käsittelytapoja. [18, s. 1–2.] Kalvosuodattamisella pystytään luomaan innovatiivisia uusien elintarvikkeiden valmistusmenetelmiä sekä parantamaan nykyisiä jo olemassa olevia elintarvikkeita [17]. Kalvosuodatusten avulla elintarvikkeita pystytään parantamaan hygienian, laadun, saannon ja tuotannon kannalta [19].

Meijeriteollisuuden kalvosuodattamisprosessit kattavat toiseksi suurimman osan koko elintarviketeollisuuden kalvosuodattamisprosesseista. Arviolta noin 40 % kalvosuodattamiseen liittyvistä elintarvikesovelluksista on peräisin meijeriteollisuudesta. Meijeriteollisuuden kalvosuodattimien kalvopinta-alat käsittävät kokonaisuudessaan yli 500 000 m²:n suuruisen alueen. Suurimpana ja käytetyimpänä osa-alueena on ultrasuodatus. Kalvosuodatuksia tehtäessä pitää aina pitää mielessä, että tavoitellun materiaalivirran saamisen seurauksena voi syntyä hankalasti käytettävä tai hävitettävä materiaalivirta. [20.]

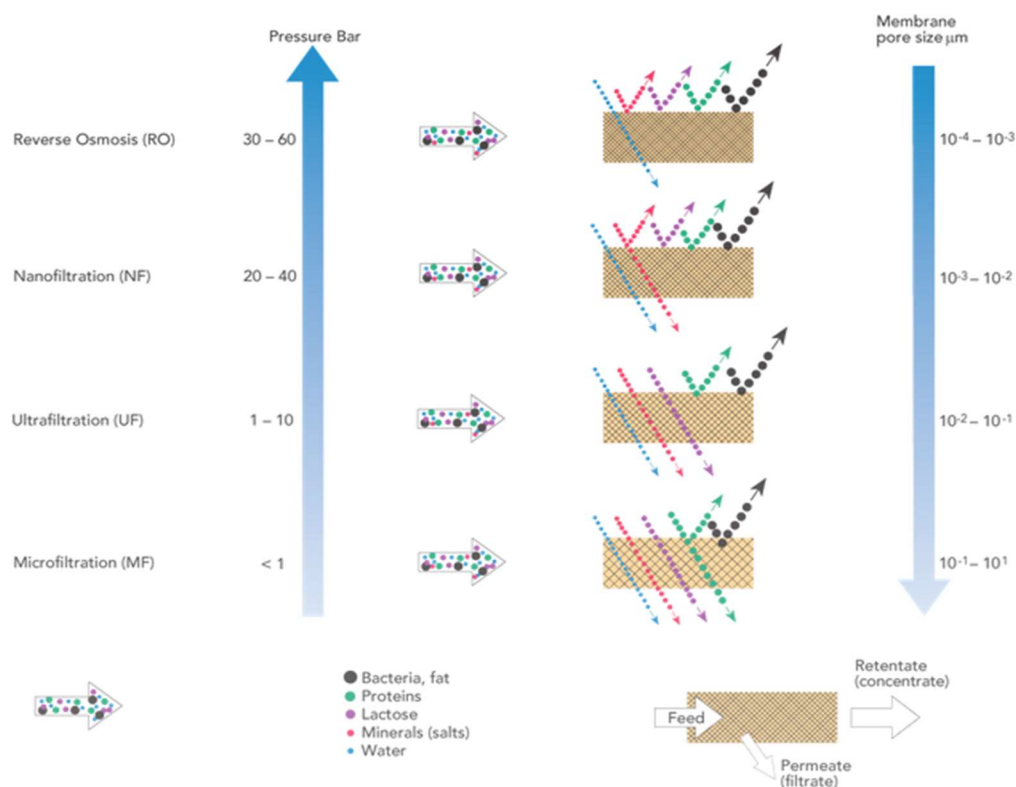
Esimerkiksi ultrasuodatetusta heraproteiinista sekä siitä konsentroitua ja hydrolysoitua proteiinijauheita (Whey Protein Concentrate ja Whey Protein Isolate) voidaan käyttää yleisesti elintarviketeollisuudessa useissa eri prosesseissa, jotka vaativat maidon proteiineilta erilaisia ominaisuuksia. WPI:tä käytetään esimerkiksi kastikkeissa, keitoissa, kuivamausteseoksissa, lastenruoissa, lihavalmisteluissa, makeis- ja leipomoteollisuudessa sekä urheiluravinteissa. [21, s. 130–133.]

3.2 Kalvosuodatustekniikat

Meijeriteollisuudessa maidon kalvosuodattamiselle on neljä eri kokoluokkaa riippuen suodatuksen tavoitteesta ja suodatettavista komponenteista. Meijeriteollisuudessa yleisimmät kalvosuodatustekniikat (kuva 2) ovat mikrosuodatus (MF), ultrasuodatus (UF), nanosuodatus (NF) ja käänteisosmoosi (RO). [6, s. 123.] Meijeriteollisuudessa nämä tekniikat soveltuvat parhaiten bakteerien poistamiseen, konsentrointiin, maidon komponenttien erottelemiseen ja jätevesien käsittelyyn [22, s. 23–24]. Nano- ja ultrasuodatus ovat tämän insinööriyön kannalta tärkeimmät suodatusmenetelmät. Niiden käyttötarkoituksiin tutustutaan tarkemmin tässä osuudessa ja nanosuodatuksesta saatavaa retentaattia käytetään insinööriyön kokeellisessa osuudessa jogurtin valmistamiseksi.

Kuvassa 2 olevat kalvosuodatustekniikat luokitellaan pienimmän läpäisevän partikkelin tai molekyylipainon raja-arvon (Molecular weight cut-off), suodatuksessa käytettävän paineen ja suodatinkalvojen huokosten koon mukaan. [6, s. 123–124.] Kalvosuodatustekniikat perustuvat ristivirtaukseen, hydrostaattiseen paineseen sekä suodattimessa kulkevien virtausten ja suodatinkalvojen väliseen osmoottiseen paineeseen [11, s. 86].

Kalvosuodatuksissa ristivirtaus on välttämätöntä estämään kalvojen tukkeutumista. Suodatinkalvojen puhtaus on suoraan verrannollinen suodattimessa kulkevien virtausten kulkuun. [23.] Virtausten nopeudet ovat riippuvaisia suodattimessa vallitsevasta paineesta ja suodatuksen kokoluokasta. Esimerkiksi ultrasuodatuksessa virtausnopeudet ovat suuruudeltaan 100–1000 l/m²h (litraneliötuntia) 5 baarin paineessa ja nanosuodatuksessa virtausnopeudet ovat 10–100 l/m²h 30–40 baarin paineissa. [21, s. 48.] Kalvosuodatuksen optimoimiseksi suodatinkalvojen on oltava hydrofiilisiä, pidättäviä, sileitä, tiheähuokoisia ja sähkövarauksiltaan samankaltaisia kuin syöttövirtauksessa olevat kiintoaineet [24].



Kuva 2. Meijeriteollisuudessa käytettävät kalvosuodatustekniikat. Kalvosuodatustekniikat ovat järjestettynä vallitsevan paineen ja suodatinkalvojen huokosten koon mukaan käänteisosmoosista (RO) mikrosuodatukseseen (MF). Kuvan keskellä on myös havainnollistettu mitä maidon komponentteja eri suodatustekniikoilla voidaan erottaa ja suodattaa. [6, s. 125].

Kalvosuodattimessa kulkeva syöttövirtaus pakotetaan hydrostaattisen paineen avulla kulkeutumaan suodatinkalvon läpi. Syöttövirtaus eli lopuksi muodostuva retentaatti kulkee suodattimessa vaakatasossa kalvoon nähden ja permeaattivirtaus kulkeutuu kohtisuoraan kalvoa ja sen läpi. Permeaattivirtaus eli suodos lapäisee suodatinkalvon ja retentaatti jää suodatinkalvon pinnalle. [11, s. 86.]

Permeaattivirta on arvokas materiaalivirta ja esimerkiksi laktoosittoman maitojuoman ultrasuodatuksen permeaatti sisältää paljon laktoosia, hieman proteiinia, mineraaleja ja vesiliukoisia komponentteja. [25.] Retentaatti on se osa, joka kerätään talteen suodatuksen jälkeen eli siitä on suodatettu tietyt komponentit pois [6, s. 123].

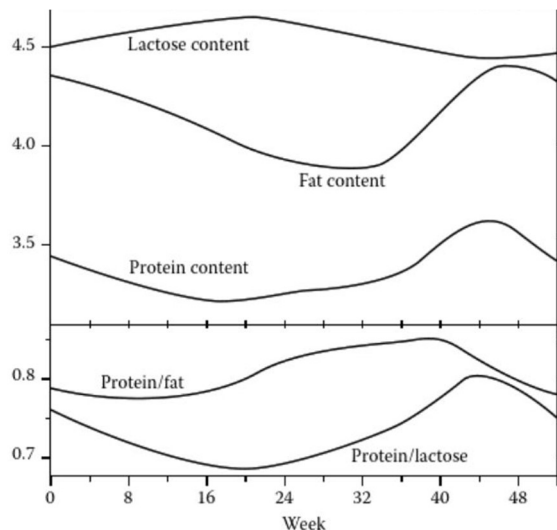
Kalvosuodatuksset ovat suotuisia menetelmiä maidon käsittelyyn, koska niissä ei ole korkeaa lämpötilaa vaativaa haihdutusvaihetta. Kalvosuodatuksset suoritetaan pääsääntöisesti noin 10 °C:n lämpötilassa [26, s. 469]. Maidon haihduttaminen ja lämpökäsittely aiheuttavat proteiinien denaturoitumista, jolloin menetetään proteiinien toiminnallisia ja ravinteellisia ominaisuuksia. [27, s. 402.]

Yleisesti kalvosuodattamisessa pyritään jatkuvatoimiseen suodattamisprosessiin. Jatkuvatoiminen kalvosuodatus mahdollistaa suodattimessa kulkevien virtausten komponenttien erottumisen paremmin. [28, s. 315.] Kalvosuodatusprosesseja on myös mahdollista yhdistää keskenään, jolloin voidaan vaikuttaa suoraan siihen milloin tietyt komponentit erotetaan toisistaan. [11, s. 86–87.]

3.2.1 Ultrasuodatus

Ultrasuodatus on menetelmä, jolla voidaan erottaa 1000–200 000 Da:n suuruisia makromolekyylejä liuoksista ja liuenneista liuottimista [29, s. 262]. Ultrasuodatuksessa käytetään 1–10 baarin painetta ja suodatinkalvojen huokoskoko asettuu 3–300 nanometrin välille [30, s. 341]. Esimerkiksi laktoosittoman maitojuoman ultrasuodatuksessa proteiinia sisältämätön tyyppi ja suurin osa veteen liukenevista komponenteista, kuten laktoosi, suolat ja jotkin vitamiinit, läpäisevät kalvon permeaattivirtana. Maidon rasva, proteiinit ja veteen liukenemattomat suolat jäävät kalvon pinnalle retentaatiksi. [31, s. 801–802.]

Meijeriteollisuudessa ultrasuodatukselle on useita käyttökohteita. Ultrasuodatusta käytetään esimerkiksi tuorejuustojen valmistuksessa, maidon proteiinien vakioinnissa, heraproteiinin konsentroinnissa, maidon laktoosin vähentämisessä ja kalsiumin erottamiseen. Ultrasuodatuksella voidaan vakioda ja kasvattaa maidon proteiinipitoisuutta ilman, että maitoon tarvitsisi lisätä esimerkiksi proteiinijauhetta. Meijeriteollisuudessa maidon vakiointi on tärkeässä roolissa, koska lehmän maidon ravintoaineiden koostumus vaihtelee eri vuodenaikoina. [32.] Kuvassa 3 on havainnollistettu lehmän maidon koostumuksen vaihtelut vuodessa viikkojen 0–52 aikana. Kuvaan 3 on piirretty lehmän maidon laktoosin, proteiinin ja rasvan määrien vaihtelut vuoden aikana. [30, s. 105.]



Kuva 3. Lehmän maidon laktoosin, proteiinin ja rasvan koostumuksen vaihtelu vuoden aikana (viikot 0–52). Kuvassa pystyaksellia on määrät grammoina ja vaaka-akselilla on viikot vuoden aikana. [16, s. 105.]

Tuorejuustojen valmistuksessa ultrasuodatetussa maidossa säilyy proteiinit, mikä parantaa juustomassan saantia. Ultrasuodatus nopeuttaa juustojen tuotantoa, koska juoksettumiseen vaadittava aika pienenee, juustomassaa ei tarvitse leikata ja heraa ei tarvitse erottaa. Juustomassaan lisättävän suolan, hapatteen, juoksuttimen ja kalsiumin määriä voidaan myös vähentää. [27, s. 403–404.]

3.2.2 Nanosuodatus

Nanosuodatus on käänteisosmoosin kaltainen suodatusprosessi. Käänteisosmoosiin verrattuna nanosuodatuksessa suodatinkalvo sisältää huokosia ja ne päästävät veden lisäksi lävitseen pääasiassa vain yksiarvoisia ioneita. [21, s. 29]. Nanosuodatuksella voidaan erottaa 200–1000 Da:n suuruisia molekyylejä [29, s. 262]. Nanosuodatuksessa käytettävä paine on 20–40 baaria, koska pienempien molekyylien suoduksesta johtuva osmoottinen paine laskee suodatinkalvolla. [21, s. 29].

Meijeriteollisuudessa nanosuodatuksella voidaan korvata haihduttamista ja muita mineraalien poistamista vaativia prosesseja. Pääasiassa nanosuodatusta käytetään mineraalien poistamiseen herasta, maidosta ja ultrasuodatuksesta saatavasta permeaatista sekä laktoosittoman maitojuoman valmistamiseen. [32].

Nanosuodatuksella voidaan myös konsentroida laktoosia ja proteiinia, ottaa talteen entsyymejä ja peptidejä β -laktoglobuliinin hydrolysaateista, sekä puhdistaa CIP-kiertopesuista tulevia epäpuhtauksia. Nanosuodatuksen on havaittu parantavan konsentroitavien aineiden ominaisuuksia, kuten esimerkiksi konsentroitaessa laktoosia saadaan enemmän kiteytynyttä laktoosia. [32; 33, s. 44.]

4 Sivuvirtojen hyödyntäminen

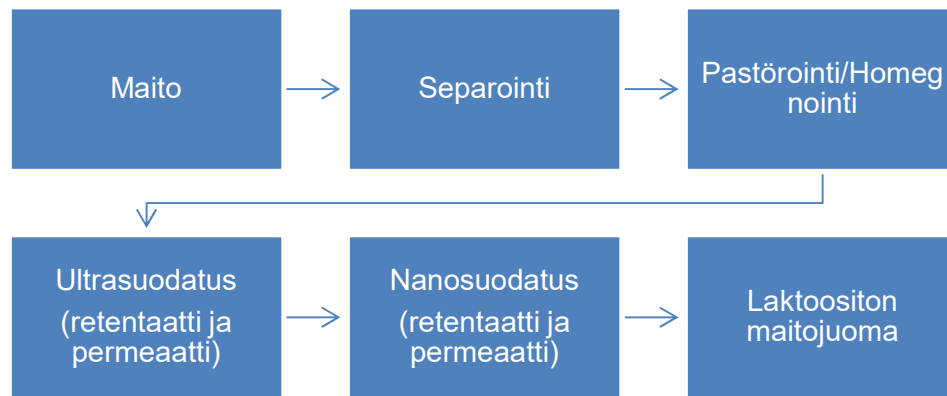
4.1 Sivuvirtojen hyödyntäminen meijeriteollisuudessa

Sivuvirtoina voidaan pitää tuotteen valmistusprosessin aikana syntyviä sivutuotteita, joita on vielä mahdollista käyttää uudelleen. Meijeriteollisuudessa sivuvirtojen hyödyntämisen tavoitteena on vähentää meijerien hävikkiä ja tuotannon kustannuksia. Sivuvirtoja hyödyntämällä voisi olla mahdollista korvata jo käytössä olevia raaka-aineita ja tuoda myös lisäarvoa valmistettaviin tuotteisiin tai tuotteiden valmistusprosesseihin. [2.]

Huomattavat sivuvirrat meijeriteollisuudessa ovat hapan hera ja nanosuodatusretentaatti. Hapanta heraa syntyy kreikkalaisen jogurtin, rahkojen ja tuorejuustojen valmistuksesta. Nanosuodatusretentaattia muodostuu laktoosittomien maitojuomien suodattamisesta. Nanosuodatusretentaatille ja happamalle heralle yritetään etsiä yhä enemmän käyttökohteita, koska tällä hetkellä niiden hyödyntäminen on vähäistä. Esimerkiksi nanosuodatuksesta saatava nanosuodatusretentaatti sisältää suhteellisen paljon laktoosia sekä maidon kivennäisaineita, joita pystyttäisiin vielä käyttämään uudelleen. [2.]

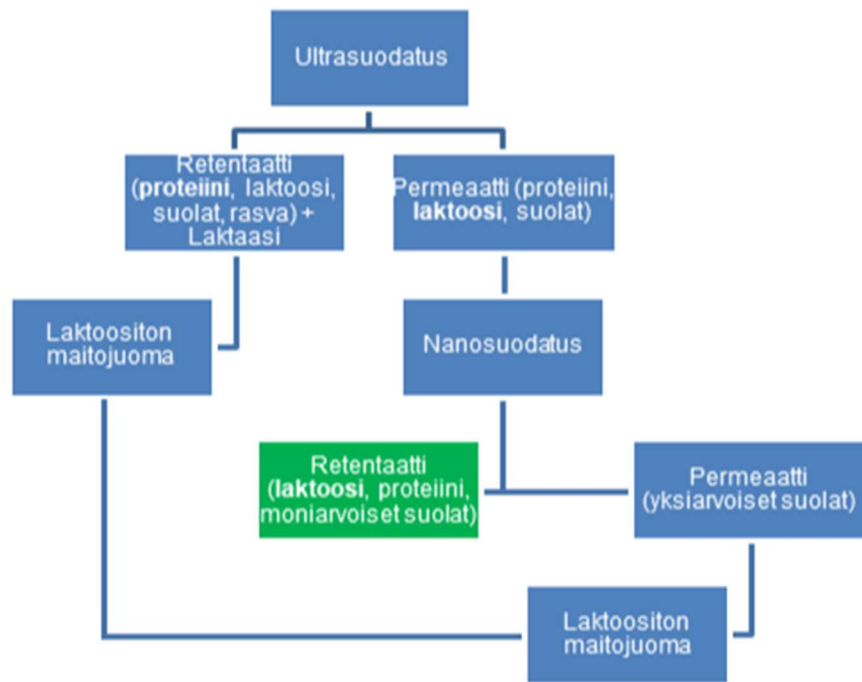
4.2 Laktoosittoman maitojuoman suodatusprosessi

Laktoosittoman maitojuoman valmistuksessa (kuva 4) pastöroitu ja homogenoitu maito ensin ultrasuodatetaan, ja sitten nanosuodatetaan. Nano- ja ultrasuodatuksilla pyritään erottamaan maidosta laktoosi mahdollisimman tarkasti, samalla säilyttäen muut komponentit. Laktoosin erottamisen tavoitteena on poistaa laktoosia sen verran, että maitojuoman makeus vastaa tuoremaidon makeutta. [34, s. 21.]



Kuva 4. Laktoosittoman maitojuoman pelkistetty valmistusprosessi [34, s. 26].

Kuvassa 5 on havainnollistettu laktoosittoman maitojuoman ultrasuodattaminen ja nanosuodattaminen sekä niistä saatavien permeaattien ja retentaattien sisältämät komponentit. Ultrasuodatuksen konsentraatin eli retentaatin mukana laktoosittoman maitojuoman hydrolysointitankkiin suodattuu pääosin proteiinia, rasvaa, hieman laktoosia ja mikro-organismeja. Ultrasuodatuksen permeaatti kulkeutuu nanosuodattukseen sisältäen laktoosia, hieman proteiinia ja kivennäisaineita. Nanosuodatuksen permeaatti suodattuu myös laktoosittoman maitojuoman hydrolysointitankkiin sisältäen hyvin pienet määrät laktoosi-, proteiini- ja rasvajäämiä sekä osan maidon suoloja. Ennen laktoosittoman maitojuoman hydrolysointia hydrolysointitankkiin lisätään laktaasientsyymiä jäljellä olevien laktoosijäämien pilkkomiseksi. [34, s. 21.]



Kuva 5. Laktoosittoman maitojuoman suodatuksista saatavien permeaattien ja retentaattien sisältämät komponentit [34, s. 26]. Kuvassa nanosuodatuksen retentaatti on erivärinen, koska tämän insinööriyön kokeellisessa osuudessa valmistetaan jogurttia käyttämällä kevytmaitojuoman nanosuodattamisesta saatua retentaattia.

Nanosuodatuksen retentaattiosa (NF-retentaatti) jää ylimääräiseksi materiaalivirraksi laktoosittoman maitojuoman suodatusprosessissa [34, s. 26]. NF-retentaatti sisältää korkean määrän laktoosia (noin 93 % kaikista kuiva-aineista), hieman proteiinijäämiä ja mineraaleja. NF-retentaatin mineraalit koostuvat kaksiarvoisista kalsium- ja magnesiumsuoloista. NF-retentaatissa olevia komponentteja on mahdollista kerätä talteen, konsentroida, kuivata ja hyödyntää raaka-aineina muissa prosesseissa. [4.]

4.2.1 Ultrasuodatuspermeaatti

Herasta ja maidosta saadut ultrasuodatetut permeaatit ovat koostumuksiltaan hyvin samankaltaisia. Kummatkin sisältävät noin 5 % kuiva-aineita, jotka koostuvat laktoosista, mineraaleista, proteiineista ja pienistä maidon vesiliukoisista komponenteista. [35, s. 60.]

Ultrasuodatuspermeaatille löytyy käyttökohteita jälkiprosessointien jälkeen elintarvikkeina, eläinten rehuna ja teollisuuden polttoaineina. Nestemäistä ja kuivattua

permeaattia voidaan käyttää suoraan tai fermentoituna. Kuivatusta ja konsentroidusta peremaatista voidaan kiteyttää laktoosia demineralisoinnin jälkeen. [35, s. 61.]

Permeaatin laktoosilla on rajallisia käyttömahdollisuuksia, mutta laktaasientsyymin avulla laktoosi voidaan pilkkoa glukoosiksi ja galaktoosiksi [27, s. 404]. Fermentoimalla laktoosia pystytään valmistamaan alkoholi- ja maitohappotuotteita sekä antibiootteja. Fermentoitua laktoosia käytetään muun muassa metaanin tuottamiseen, teollisuuden polttoaineena ja biokaasuna. [35, s. 61.]

Nostamalla lämpötilaa ja pH:ta ultrasuodatuksen aikana voidaan valmistaa maitojuomaa, jossa on korkea kalsiumpitoisuus [27, s. 404]. Ultrasuodatuspermeaatilla on mahdollista laskea ja vakioda maidon proteiinipitoisuutta. Siitä voidaan tehdä esimerkiksi maitojauhetta ja käyttää sitä sellaisten tuotteiden valmistuksessa, joissa proteiinipitoisuuden korkea määrä ei ole päätavoitteena. [32.]

4.2.2 Nanosuodatusretentaatti

Laktoosittoman maitojuoman ultrasuodatuspermeaatti sisältää laktoosia, proteiinia ja vesiliukoisia komponentteja, joita voidaan ottaa talteen ja konsentroida edelleen nanosuodatuksella. Nanosuodattamalla ultrasuodatetun laktoosittoman maitojuoman permeaattia syntyy sivutuotteena nanosuodatusretentaattia eli NF-retentaattia (Nanofiltrationretentate). [34, s. 26.]

NF-retentaattia voidaan hyödyntää kuiva-ainepitoisuuden kasvattamisessa valmistettaessa hapanmaitotuotteita, sen sisältämien proteiinifraktioiden ja laktoosin ansiosta. NF-retentaatin laktoosi voidaan myös konsentroida laktoosijauheeksi ja käyttää sellaisenaan. [36.]

Konsentroidulle ja hydrolysoidulle NF-retentaatille voisi löytyä käyttökohde maitopohjaisena raaka-aineena. Retentaattia kuumennettaisiin kiehumispisteeseen, jolloin siinä oleva laktoosi alkaisi karamellisoitua ja muuttua väriltään ruskeaksi. Jäähdyneenä retentaattia voisi mahdollisesti käyttää makeutusaineena esimerkiksi alkoholijuomissa, jogurteissa, maitopohjaisissa juomissa ja makeisissa. [4.] Normaalisti

jälkikäsittelyjen jälkeen meijeriteollisuudesta syntyvää nanosuodatusretentaattia käytetään biopolttoaineena ja eläinten rehuna [34, s. 22].

Tällä hetkellä nanosuodatksesta saatavan retentaatin käyttö ja hyödyntäminen meijeriteollisuudessa on vähäistä, mutta tulevaisuudessa sivuvirtojen ja sivutuotteiden hyödyntäminen tulee olemaan suuremmassa roolissa. [2.]

4.3 Hapan hera

Hapan hera on sivutuote hapatettujen maitotuotteiden valmistusprosesseista. Hapatetut maitotuotteet, joista hapanta heraa syntyy huomattavia määriä, ovat kreikkalaiset jogurtit, tuorejuustot ja rahkat. Esimerkiksi kreikkalaisen jogurtin valmistuksessa jokaista jogurttikiloa kohden syntyy 2–3 kg hapanta heraa. Kreikkalaisen jogurtin valmistuksessa hapanta heraa syntyy nestemäisenä sivutuotteena, kun jogurttia separoidaan ja siivilöidään. [3.] Yleisesti hapanta heraa muodostuu aina, kun tuotteen valmistus sisältää maidon, kerman tai heran hapatetun hydyttämisen, hapon ja juoksuttimen tai hapon ja lämmityksen yhdistelmän [37].

Hapan hera on kellertävän värinen neste ja se sisältää kuiva-ainepitoisuutensa nähden paljon laktoosia, galaktoosia, kalsiumfosfaattia ja maitohappoa [3]. Hapan hera koostuu vedestä (yli 93 %), laktoosista (4,2–4,9 %), proteiinista (0,55–0,75 %), tuhkasta (0,8 %) ja rasvasta (0,04 %) [37]. Hapan hera nimensä mukaisesti on hyvin hapanta, ja sen pH-arvo asettuu välille 3,6–4,5 [38]. Happamuutensa johdosta hapanta heraa ei voida suurissa määrin päästää ympäristöön, koska se aiheuttaa hajuhaittoja lämpötilan noustessa, vesistöjen happipitoisuuden laskua ja rehevöitymistä [3].

Hapan hera luokitellaan vähemmän arvokkaaksi raaka-aineeksi, koska sen proteiinipitoisuus asettuu välille 0,55–0,75 % ja se on suolaisemman makuista verratuna makeaan heraan. Makea hera on kovien juustojen valmistuksen aikana syntyvä nesteosa, joka on kuivattuna ja konsentroituna arvokas raaka-aine elintarviketeollisuudessa. [3.] Korkean maitohappopitoisuuden takia hapanta heraa on vaikeaa kuivata, koska maitohappo aiheuttaa heran paakkuuntumista kuivatessa [6, s. 355].

Hyödyntämällä nanosuodatusta maitohapon poistamisessa happaman heran makuprofiilia, ravintoarvoja, kuivaamista ja käsiteltävyyttä voidaan parantaa. Nanosuodatus auttaa myös happaman heran sisältämän suolan vähentämisessä. Nanosuodatuksella kuivatetun happaman heran laktoosin kuiva-ainepitoisuus voidaan nostaa jopa 80 %:iin, mikä vastaa jo makean heran laktoosin kuiva-ainepitoisuutta. Normaalisti kuivatun happaman heran laktoosin kuiva-ainepitoisuus on noin 55–65 %. Laktoosin määrä suurenee, koska nanosuodatuksella vähennetään suolan, galaktoosin ja maitohapon määriä. Nanosuodatettua hapanta heraa on mahdollista käyttää makeutusaineena sen suuren laktoosipitoisuuden vuoksi. [3.]

5 Materiaalit ja menetelmät

5.1 Pilottikokeiden esivalmistelut

Pilottikokeiden esivalmistelujen tavoitteena oli tutkia pilottikokeita varten sekoittamisen vaikutusta jogurttimassan rakenteeseen ja happaman heran vaikutusta maidon pH-arvoon sekä hydrolysoida pilottikokeissa käytettävä NF-retentaatti. NF-retentaatin hydrolysointi lisää NF-retentaatista saatavaa makeutta pilkkomalla sen sisältämän laktoosin galaktoosiksi ja glukoosiksi. Pilottikokeiden esivalmisteluiden aikana tehtiin tärkeitä havaintoja ja johtopäätöksiä sekä onnistuttiin löytämään sopivia keinoja koesarjoissa valmistettaville jogurteille.

5.1.1 Jogurttimassan sekoittaminen

Ennen pilottikokeiden koesarjojen jogurttien valmistamista etsittiin jogurttien sekoittamiseen käytettävälle Kitchen Aid -yleiskoneelle sopivat sekoitusparametrit (aika, määrä, sekoitusteho ja sekoitinpää) sekoittamalla tuotantoprosessin kypsytystankista haettua valmista jogurttimassaa. Sekoittamisen tarkoituksena oli kokeilla, miten erilaiset sekoitusparametrit vaikuttavat valmiin jogurtin rakenteeseen. Sekoittamisella pyrittiin myös simuloimaan kypsytystankin putkiston ja pakkauskoneen kautta kulkevan jogurtin rakenteen muutosta. Sekoitettujen jogurttien rakenteellisia ominaisuuksia verrattiin tuotannossa pakattavaan maustamattomaan jogurttiin.

Jogurttimassojen sekoittamisen testaaminen tehtiin taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Jogurttimassojen sekoittamiseen käytetyt sekoitusparametrit Kitchen Aid - yleiskoneella.

Testi # ja massa (g)	Sekoitusaika (s)	Sekoitusteho (1-10)	Sekoitinpää
1. 2001	60	5	lehtisekoitin
2. 2002	30	5	lehtisekoitin
3. 2005	30	5	koukkusekoitin
4. 2001	45	5	koukkusekoitin
5. 2010	55	5	koukkusekoitin
6. 2004	70	5	koukkusekoitin
7. 2000	40	3	lehtisekoitin
8. 2000	140	1,5	lehtisekoitin
9. 2011	60	3	lehtisekoitin
10. 2082	70	3	lehtisekoitin
11. 2025	80	3	lehtisekoitin

Sekoitusten perusteella pilottikokeissa päädyttiin käyttämään testissä 9 käytettyä sekoitusparametriä, koska sillä sekoitettaviin jogurtteihin saatiin aikaiseksi riittävän kiinteä rakenne ilman ilmakuplia ja se oli lähes verrattavissa tuotannossa pakattavaan jogurttiin.

5.1.2 Happaman heran vaikutus maidon pH-arvoon

Pilottikokeiden koesarjassa 3 valmistettavia jogurtteja varten tiedettiin, että liian suuri pitoisuus hapanta heraa suhteessa maitoon sakkaisi proteiinit pastöroinnin aikana. Happaman heran ja maidon sekoituksia (heramaito) kokeiltiin koesarjaa 3 varten taulukon 2 mukaisesti. Heramaidot pastöroitiin 95 °C:ssa 8 minuutin ajan.

Taulukko 2. Kevytmaidon ja heran määrät (% ja g) heramaitojen valmistamiseksi.

Resepti	Kevytmaito (%)	Hapan hera (%)	Kevytmaito (g)	Hapan hera (g)
Heramaito 5 %	95	5	475	25
Heramaito 10 %	90	10	450	50
Heramaito 15 %	85	15	425	75
Heramaito 20 %	80	20	400	100

Pastöroinnin jälkeen havaittiin heramaitojen 15 % ja 20 % sakkautuminen, ja ne olivat paakkuisia. Näille heramaidoille (15 % ja 20 %) tehtiin uusintakoe, jossa heramaitojen joukkoon lisättiin 0,1 % fosfaattijauhetta. Fosfaattijauheella voidaan säätää maitotuotteiden pH-arvoja [39]. Taulukosta 3 voidaan havaita, että uusintakokeen heramaitojen pH-arvot olivat korkeammat verrattuna ensimmäiseen kokeeseen. Uusintakokeen korkeammat pH-arvot ja heramaitohin lisätty fosfaattijauhe estivät proteiinien sakkautumisen, eikä heramaidoissa ollut havaittavissa paakkuja. Uusintakokeen perusteella fosfaattijauhetta lisättiin pilottikokeiden koesarjan 3 reseptihin 0,1 %.

Taulukko 3. Heramaitokokeissa mitatut pH-arvot 15 % ja 20 % heramaidoille ennen pastörointia ja sen jälkeen.

Resepti	pH-arvo ennen pastörointia	pH-arvo pastöroinnin jälkeen
Heramaito 15 %	6,38	6,25
Heramaito 20 %	6,20	6,10
Heramaito 15 % (uusintakoe)	6,44	6,27
Heramaito 20 % (uusintakoe)	6,26	6,12

5.1.3 NF-retentaatin esikäsittely

Pilottikokeiden koesarjoissa 1 ja 2 valmistettavien jogurttien raaka-aineena käytettävä NF-retentaatti esikäsiteltiin koesarjoja 1 ja 2 varten. NF-retentaatti hydrolysoitiin lisäämällä siihen 0,4 % laktaasientsyymiä. Hydrolysoinnissa NF-retentaatin sisältämä laktoosi pilkotaan sen yksiarvoisiksi sokereiksi eli galaktoosiksi ja glukoosiksi. Laktoosin pilkkominen lisää laktoosin makeutta, ja teoriassa hydrolysoitu laktoosi on noin 65 % sakkaroosin makeudesta. Hydrolysoinnin lopettamiseksi NF-retentaatti kuumennettiin noin 90 °C:seen laktaasin entsyymitoiminnan inaktivoimiseksi. Inaktivoimisella varmistettiin se, ettei hydrolysoitu NF-retentaatti alkaisi hydrolysoimaan pilottikokeissa valmistettavia jogurttimaitoja niiden homogenointilämpötilaan (65 °C) lämmitettäessä.

NF-retentaatista selvitettiin sen koostumuksen (liite 1) lisäksi myös Brix-arvo. Brix-arvo mitattiin Atagon Pocket Refractometer PAL-1 -refraktometrillä (kuva 6). PAL-1 antaa Brix-arvoja väliltä 0,0–53,0 % [40]. Refraktometreillä mitataan liuenneiden tai liukoisten kiintoaineiden pitoisuutta. Refraktometrit antavat Brix-arvoksi sakkaroosin pitoisuuden määrän prosentteina mitattavan liuoksen massasta. [41.] NF-retentaatin Brix-arvoksi mitattiin 15,4 %, joten NF-retentaatti sisälsi 15,4 g sokeria 100 g kohden.



Kuva 6. NF-retentaatin Brix-arvon mittaamiseen käytetty Atagon Pocket Refractometer PAL-1. Kuvassa nähdään NF-retentaatille mitattu Brix-arvo (15,4 %).

5.2 Pilottikokeiden koeasetelma

Pilottikokeissa tehtiin kolme erilaista pilottimittakaavaan koesarjaa. Kaikissa koesarjoissa valmistettiin 4 erilaista jogurttireseptiä. Jogurttireseptien tarkoituksena oli selvittää, että voisiko sivuvirtoja hyödyntämällä valmistaa jogurttia, joka vastaisi aistinvaraisilta ominaisuuksiltaan, pH-arvoltaan ja viskositeetiltaan tavallista tuotannossa pakattavaa maustamatonta jogurttia. Koesarjojen valmistamisen tavoitteena oli myös löytää mahdollinen jogurttiresepti, jota voisi testata suuremman kokoluokan tuotantomittakaavan koeajossa.

Koesarjassa 1 tutkittiin miten NF-retentaatin käyttö kahdella eri annostuksella vaikuttaa jogurtin rakenteeseen ja makuun reseptien proteiinipitoisuuksien vaihdellessa. Jogurttien proteiinipitoisuudet vaihtelivat NF-retentaatin määrän mukaan. Proteiinipitoisuuksien muuttamisella yritettiin kompensoida mahdollisia rakenteen muutoksia jogurteissa.

Koesarjassa 2 NF-retentaatin määrä vakioitiin ja kokeiltiin, voisiko jogurttien rakenteen löystymistä estää vakioimalla proteiinipitoisuutta ja lisäämällä sakeuttamisainetta. Koesarjassa 2 yhdessä reseptissä kokeiltiin myös sitä, että voisiko reseptissä olevan sokerin korvata hydrolysoimailla reseptin laktoosin laktaasientsyymillä.

Koesarjassa 3 tutkittiin miten jogurttimaidossa olevan maidon osittainen korvaaminen happamalla heralla vaikuttaa jogurtin rakenteeseen ja makuun. Jogurttien valmistamiseen käytettiin kahta eri proteiinijauhetta. Proteiinijauheet erosivat toisistaan siten, että toisessa proteiinin ja laktoosin suhde oli noin 50/50, ja toisessa proteiinia oli huomattavasti enemmän verrattuna sen sisältämään laktoosiin. Joten proteiinijauheilla pystyttiin vakioimaan valmistettavien jogurttien proteiinipitoisuutta samalla silmällä pitäen jogurttien laktoosin ja sokeripitoisuuden määrää. Proteiinijauheilla pystyttiin myös vaikuttamaan jogurttien lopulliseen makuun, rakenteeseen ja suutuntumaan.

5.2.1 Koesarjojen raaka-aineet ja reseptiikka

Pilottikokeiden koesarjojen 1–3 jogurttien valmistamiseksi käytettiin seuraavia raaka-aineita (taulukko 4). Liitteessä 1 on myös Eurofinsin mittaama koostumusanalyysi koesarjoissa 1 ja 2 käytetystä NF-retentaatista.

Taulukko 4. Pilottikokeissa koesarjojen 1–3 valmistamiseen käytetyt raaka-aineet.

Raaka-aine	Raaka-aineen kuvaus tai tarkoitus.
Kuohukerma	Kuohukerma, joka sisältää 35 % rasvaa.
Maito	Pastöroitu D-vitamiinia sisältävä rasvaton maito.
Proteiinijauhe 1	Proteiinijauhe, joka sisältää 47 % proteiinia, 40 % laktoosia ja 2,4 % rasvaa.
Proteiinijauhe 2	Proteiinijauhe, joka sisältää 76 % proteiinia, 9,1 % laktoosia ja 3,8% rasvaa.
Sokeri	Tavallinen pöytäsookeri.
NF-retentaatti	Kerättiin ESL-maitujuoman suodattamisesta ja hydrolysoitiin laktaasientsyymillä koesarjoja 1 ja 2 varten.
Aromi	Jogurttien makeuttaminen.
Hapate	Pakastettu jogurttihapate jogurttien hapattamiseen.
Laktaasientsyymi	Laktoosin hydrolysointiin käytettävä entsyymi.
Pektiini	Jogurtin rakenteen muokkaminen.
Hapan hera	Kerättiin rahkan separoinnin aikana ja käytettiin samana päivänä koesarjassa 3 jogurttien valmistamiseen.
Fosfaattijauhe	Jogurttien pH-arvojen muutosten säätely koesarjassa 3.

Pilottikokeiden koesarjojen 1–3 valmistamiseen käytetyt reseptit ovat seuraavissa taulukoissa (taulukot 5, 7 ja 9). Taulukoissa 6, 8 ja 10 on koesarjoissa valmistettujen reseptien laskennalliset proteiini- ja sokeripitoisuudet. Koesarjoissa 1–3 reseptien 2–4 proteiini- ja sokeripitoisuuksilla pyrittiin vastaamaan tai pääsemään mahdollisimman lähelle reseptin 1 proteiini- ja sokeripitoisuuksia. Koesarja 1 kuitenkin poikkesi hieman tästä, koska koesarjassa 1 tutkittiin millaisia jogurtteja eri määrillä NF-retentaattia voidaan valmistaa. Joten koesarjassa 1 ei keskitytty niin tarkasti proteiini- ja sokeripitoisuuksien tarkkoihin määriin. Reseptiä 1 käytettiin kaikissa koesarjoissa koesarjojen kesken vertailureseptinä. Taulukossa 5 on esiteltynä koesarjan 1 jogurttien valmistamiseen käytetyt reseptit.

Taulukko 5. Koesarjan 1 jogurttien valmistamiseen käytetty reseptiikka. Taulukossa käytettyjen raaka-aineiden määrä on ilmoitettu prosentteina.

Raaka-aine	Resepti 1	Resepti 2	Resepti 3	Resepti 4
Kuohukerma	6,1	6,1	6,1	6,1
Rasvaton maito	90,21	66,285	78,71	77,785
Proteiinijauhe 1	1,65	2,575	1,65	2,757
Sokeri	2	0	1	1
NF-retentaatti	0	25	12,5	12,5
Aromi	0,02	0,02	0,02	0,02
Hapate	0,02	0,02	0,02	0,02
Yhteensä	100 %	100 %	100 %	100 %

Koesarjan 1 laskennalliset proteiini- ja sokeripitoisuudet ovat taulukossa 6. Arvot laskettiin taulukon 5 reseptien ainesosien perusteella.

Taulukko 6. Koesarjan 1 jogurttien laskennalliset proteiini- ja sokeripitoisuudet.

	Resepti 1	Resepti 2	Resepti 3	Resepti 4
Sokeripitoisuus	7,3	8,0	7,5	7,8
Proteiinipitoisuus	4,1	3,7	3,7	4,1

Taulukossa 7 on esiteltynä pilottikokeiden koesarjan 2 valmistamiseen käytetyt reseptit.

Taulukko 7. Koesarjan 2 jogurttien valmistamiseen käytetty reseptiikka. Taulukossa käytettyjen raaka-aineiden määrä on ilmoitettu prosentteina.

Raaka-aine	Resepti 1	Resepti 2	Resepti 3	Resepti 4
Kuohukerma	6,1	6,1	6,1	6,1
Rasvaton maito	90,23	78,58	78,83	78,18
Proteiinijauhe 1	1,65	2,8	1,3	1,1
Proteiinijauhe 2	0	0	0	1,1
Sokeri	2	0	1	1
NF-retentaatti	0	12,5	12,5	12,5
Aromi	0,02	0,02	0,02	0,02
Pektiini	0	0	0,25	0
Hapate	0,02	0,02	0,02	0,02
Yhteensä	100 %	100 %	100 %	100 %
Laktaasientsyymi	0	0,12	0	0

Koesarjan 2 laskennalliset proteiini- ja sokeripitoisuudet ovat taulukossa 8. Arvot laskettiin taulukon 7 reseptien ainesosien perusteella.

Taulukko 8. Koesarjan 2 jogurttien laskennalliset proteiini- ja sokeripitoisuudet.

	Resepti 1	Resepti 2	Resepti 3	Resepti 4
Sokeripitoisuus	7,3	6,9	7,3	7,3
Proteiinipitoisuus	4,1	4,2	3,5	4,2

Taulukossa 9 on esiteltynä pilottikokeiden koesarjan 3 valmistamiseen käytetyt reseptit.

Taulukko 9. Koesarjan 1 jogurttien valmistamiseen käytetty reseptiikka. Taulukossa käytettyjen raaka-aineiden määrä on ilmoitettu prosentteina.

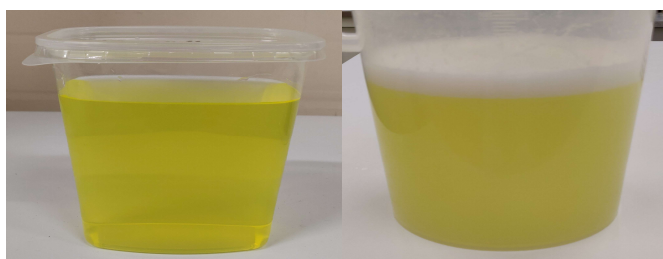
Raaka-aine	Resepti 1	Resepti 2	Resepti 3	Resepti 4
Kuohukerma	6,1	6,1	6,1	6,1
Rasvaton maito	90,23	84,78	79,53	74,28
Proteiinijauhe 1	1,65	1,65	1,65	1,65
Proteiinijauhe 2	0	0,35	0,6	0,85
Sokeri	2	2	2	2
Hapan hera	0	5	10	15
Aromi	0,02	0,02	0,02	0,02
Fosfaattijauhe	0	0,1	0,1	0,1
Hapate	0,02	0,02	0,02	0,02
Yhteensä	100 %	100 %	100 %	100 %

Koesarjan 2 laskennalliset proteiini- ja sokeripitoisuudet ovat taulukossa 10. Arvot laskettiin taulukon 9 reseptien ainesosien perusteella.

Taulukko 10. Koesarjan 3 jogurttien laskennalliset proteiini- ja sokeripitoisuudet.

	Resepti 1	Resepti 2	Resepti 3	Resepti 4
Sokeripitoisuus	7,3	7,2	7,2	7,2
Proteiinipitoisuus	4,1	4,1	4,1	4,1

Kuvissa 7 on pilottikokeissa käytetyt ja tutkitut raaka-aineet NF-retentaatti ja hapan hera.



Kuva 7. Vasemmalla koesarjojen 1 ja 2 valmistamiseen käytetty NF-retentaatti. Oikealla koesarjan 3 valmistamiseen käytetty hapan hera.

5.2.2 Koesarjojen valmistus

Pilottikokeiden koesarjat valmistettiin ja pakattiin Arlan tuotekehitysosaston pilottikoehuoneessa. Koesarjojen 1–3 jogurttimaitojen valmistamiseksi resepteissä olevat raaka-aineet punnittiin ja sekoitettiin metallisissa kuumennusta kestävässä astioissa. Resepteissä käytetty aromi laimennettiin steriloituun veteen suhteessa 1/100 pipetoinnin helpottamiseksi. Hapate ja laktaasientsyymi lisättiin jogurttimaitoihin vasta pastöroinnin jälkeen.

Jogurttimaitoja esilämmitettiin 65 °C:n vesihauteessa 30 minuuttia ennen homogenointia. Esilämmityksellä nostettiin jogurttimaitojen lämpötilaa lähemmäksi homogenoinnissa käytettävää lämpötilaa. Jogurttimaitojen raaka-aineet sekoittuvat myös paremmin korkeammassa lämpötilassa. Homogenointi tehtiin kaksivaiheisesti 200 baarin ja 20 baarin paineissa. Kaksivaiheisessa homogenoinnissa ensimmäinen vaihe (200 bar) pienentää jogurttimaidossa olevat rasvapallot ja toinen vaihe (20 bar) irroittaa toisiinsa kiinnittyneet rasvapallot [10]. Jogurttimaidot homogenointiin noin 80 °C:ssa, ja homogenointiin käytetty laitteisto on kuvassa 8.



Kuva 8. Koesarjojen jogurttimaitojen homogenointiin käytetty laitteisto.

Homogenoinnin aikana jogurttimaidoista otettiin näytteet koostumusmittauksia varten. Koostumukset mitattiin jogurttimaidoista otetuista näytteistä sekä jogurttimaitojen valmistamiseen käytetystä kermasta ja rasvattomasta maidosta. Koesarjassa 3 jogurttimaitojen pH-arvoja seurattiin samoista näytteistä.

Homogenoidut jogurttimaidot punnittiin pastöroinnin jälkeen lisättävää hapatetta ja laktaasientsyymiä varten. Jogurttimaitoja pastöroitiin vesihauteessa 95 °C:ssa 5 minuuttia. Pastöroinnin jälkeen jogurttimaitojen annettiin jäähtyä vesihauteessa niiden kypsyyslämpötilaan eli 43 °C:seen. Kuvassa 9 on esiteltynä jogurttimaitojen ja niistä valmistuneiden jogurttien kuumentamiseen, kypsyttämiseen ja jäähdyttämiseen käytetty vesihaudelaiteisto. Vesihaudelaiteistolla pystyttiin säätämään tarvittavat lämpötilat valmistuksen eri vaiheissa.



Kuva 9. Vasemmalla koesarjojen jogurttimaitojen lämmittämiseen, pastöroimiseen, kypsyttämiseen ja jäähdyttämiseen käytetty vesihaudelaiteisto. Oikealla jogurttimaitojen hapattamiseen käytetty pakkashapate raemuodossa.

Kypsyttämisen aloittamiseksi pastöroituihin jogurttimaitoihin lisättiin hapatetta. Hapate (kuva 9) laimennettiin rasvattomaan maitoon suhteessa 1/10. Hapatetta pipetoitiin reseptien mukaisesti 0,02 % suhteutettuna jogurttimaitojen massaun (koesarjassa 2 tässä vaiheessa myös lisättiin reseptiin 2 lisättävä laktaasientsyymi). Jogurttimaitoja kypsytettiin 43 °C:ssa, kunnes valmiin jogurtin pH oli 4,55 tai alle. Koesarjassa 1 jogurteja kypsytettiin 6 h 45 min ja pH-arvoa seurattiin koko kypsyttämisen ajan kypsyttämisen päättämiseksi. Koesarjoissa 2 ja 3 kypsyttäminen pidettiin tasan 6:ssa tunnissa ja pH-arvot mitattiin vasta jäähtymisen jälkeen. Kypsyttämisen jälkeen vesihaudelaiteisto jäähdytti valmiit jogurtit 20 °C:seen. Valmistuneista ja jäähtyneistä jogurteista mitattiin pH-arvot.

Valmiit ja jäähtyneet jogurtit sekoitettiin Kitchen Aid -yleiskoneella 60 sekunnin ajan teholla 3 (kuva 10). Sekoittamisen jälkeen jogurtteja pakattiin jokaisesta reseptistä 20 näytettä 100 g muovipikareihin ja noin 8 näytettä 200 g muovipikareihin.

100 g:n muovipikareihin pakatut jogurtit olivat aistinvaraisia arviointeja varten ja 200 g:n muovipikareihin pakatut jogurtit olivat pH- ja viskositeettimittauksia sekä säilyvyydenseurantaa varten. Kaikkiin 100 g:n ja 200 g:n muovipikareihin saumattiin alumiinifoliokannet pilottikoehuoneen saumauskoneella (kuva 10). Pakatut ja kansitetut jogurttipurkit säilytettiin jääkaapissa 8 °C:ssa.



Kuva 10. Kuvassa vasemmalla on jogurttipurkkien kansien saumaaja ja oikealla on jogurttien sekoittamiseen käytetty Kitchen Aid -yleiskone.

5.3 Tuotannon koeajo

Pilottikokeiden koesarjojen perusteella päätettiin, että Arlan tuotannossa tehdään koeajo koesarjan 2 reseptin 2 jogurtista. Reseptin 2 jogurtti sisälsi 12,5 % NF-retentaattia, ja siihen lisättiin laktaasientsyymiä laktoosin pilkkomiseksi. Koesarjan 2 aistinvaraisessa arvioinnissa resepti 2 todettiin samankaltaiseksi koesarjan vertailureseptin kanssa (resepti 1).

Tuotannon koeajon tavoitteena oli tutkia toimisiko koesarjassa 2 valmistettu resepti 2 tuotantomittakaavassa. Koeajossa valmistettiin 2 maustamatonta jogurttia (NF-retentaatti ja vertailujogurtti) sekä 2 hillotettua versioita samoista jogurteista. Koeajossa pääpaino oli kuitenkin maustamattomissa jogurteissa, koska niistä oli helpoin löytää ja maistaa mahdolliset eroavaisuudet jogurttien välillä. Koeajon jogurtit suunniteltiin ja valmistettiin Arlan jogurttiprosessin sekä tuotekehitysosaston puolesta. Jogurtit pakattiin tuotannossa 1 kg:n jogurttipurkkeihin. Taulukossa 11 on koeajossa NF-retentaattia sisältävän maustamattoman jogurtin valmistamiseen käytetty resepti.

Taulukko 11. Koeajossa valmistetun maustamattoman NF-retentaattijogurtin resepti.

Raaka-aine	Määrä %
Kuohukerma	5,4990
Rasvaton maito	79,1810
NF-retentaatti	12,5000
Proteiinijauhe	2,8000
Aromi	0,0200
Yhteensä	100,00
+ Hapate	0,0200
+ Laktaasientsyymi	0,1000

5.4 Analyysimenetelmät

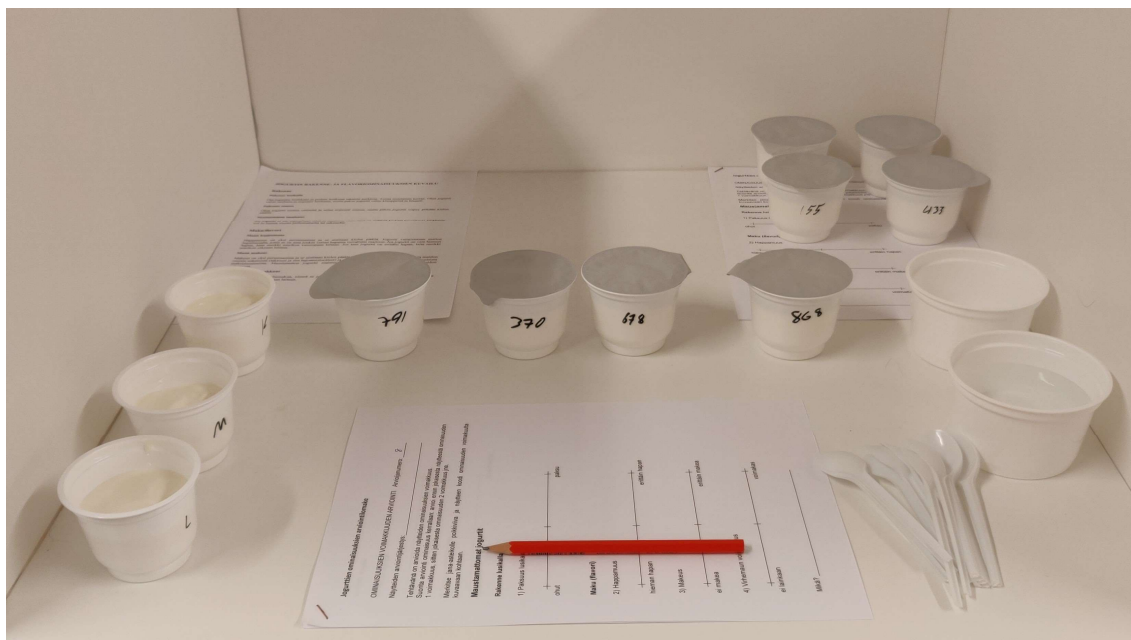
Koesarjoissa 1–3 valmistettuja jogurtteja analysoitiin kuvailevan menetelmän aistinvaraisella arvioinnilla, koostumusmittauksilla sekä pH-arvojen ja viskositeettien seuraamisella jogurttien happamuuksien ja rakenteiden muutosten tutkimiseksi. Jogurttien aistinvarainen arviointitilaisuus pidettiin aina viikon kuluttua jogurttien pakkaamisesta. Jogurteille tehtyt pH- ja viskositeettimittaukset tehtiin 1:n ja 3:n viikon kuluttua jogurttien pakkaamisesta. Jogurttien säilyvyyksiä seurattiin myös pH- ja viskositeettimittausten yhteydessä. Tuotannon koeajossa valmistettuja jogurtteja seurattiin myös samanlaisella aistinvaraisella arvioinnilla sekä koeajossa valmistettujen jogurttien pH-arvoja ja viskositeetteja seurattiin neljän viikon ajan jogurttien valmistamisesta.

5.4.1 Aistinvarainen arviointi

Aistinvaraisen arvioinnin tarkoituksena oli arvioida koesarjoissa 1–3 ja koeajossa valmistettujen jogurttien eri ominaisuuksien voimakkuuksia. Aistinvaraisessa arvioinnissa koesarjoissa ja koeajossa valmistettuja jogurtteja verrattiin koesarjoissa sekä koeajossa valmistettuihin vertailujogurteihin (resepti 1 ja maustamaton jogurtti). Aistinvaraisia arviointeja varten koulutettiin 8 arvioijan arviointiraati ja arviointimenetelmänä käytettiin kuvailevaa analyysiä.

Arvioinneissa käytettiin jogurteille jo valmiiksi luotua arviointisanastoa ja arviointilomaketta. Jogurttien arvioitavat ominaisuudet olivat paksuus lusikalla, happamuus, makeus, virhemaun voimakkuus, paksuus suussa sekä tasaisuus ja sileys suussa. Arviointilomakkeessa arviointiasteikko oli 10 cm:n pituinen jana-asteikko, jonka kummatkin päät on sanallisesti ankkuroitu eri ääripäiden mukaan. Arviointien ominaisuuksien tunnistamista, näytteiden arviointitekniikkaa ja arviointiasteikon käyttöä harjoiteltiin esimerkinäytteiden avulla. Esimerkinäytteet olivat maustamattomia Arlan tuotannossa pakattavia jogurtteja. Virhemauke ei ollut esimerkinäytettä. Virhemaku pyydettiin kuvailemaan sanallisesti arviointilomakkeeseen, jos sellaista havaittiin. Arviointitilaisuuksissa käytetty arviointisanasto ja -lomake ovat liitteinä 2 ja 3.

Koesarjojen 1–3 ja koeajon arviointitilaisuuudet järjestettiin Arlan aistinvaraisiin arviointeihin suunnitellussa huoneessa viikon kuluttua jogurttien pakkaamisesta. Jokaisen arviointikerran yhteydessä ennen varsinaisten näytteiden arviointia, arvioitavat ominaisuudet ja arviointiasteikko kalibroitiin esimerkinäytteiden avulla. Varsinaisessa arvioinnissa näytteet esitettiin arvioijille satunnaistetussa järjestyksessä ja näytteiden arviointi suoritettiin omissa arviointikopeissa (kuva 11). Arvioitavat näytteet oli koodattu kolminumeroisilla satunnaisluvuilla ja niitä oli säilytetty jääkaapissa 8 °C:ssa ennen arviointia. Arvioinnit toistettiin ja toistoissa jogurttinäytteillä oli uudet kolminumeroiset satunnaisluvut ja ne arvioitiin jälleen satunnaistetussa järjestyksessä. Koeajon aistinvaraisessa arvioinnissa koejärjestelyt pidettiin muuten täysin samanlaisena, mutta arvioitavia näytteitä oli vain kaksi per toisto.



Kuva 11. Arviointitilaisuuksien koejärjestely. Kuvassa vasemmalla on arviointiskaalan referenssipisteiden määrittämiseen käytetyt jogurttinäytteet. Vasemalla ylhäällä on paperilla liitteessä 3 esitetyt arvioitavat ominaisuudet. Keskellä on arviointilomake (liite 2) ja ensimmäisen arvioinnin näytteet satunnaisessa järjestyksessä. Oikealla on sylky- ja vesikupit. Oikealla ylhäällä on arviointitilaisuudessa tehtävän toiston näytesarja myös satunnaisessa järjestyksessä uuden arviointilomakkeen (liite 2) kanssa.

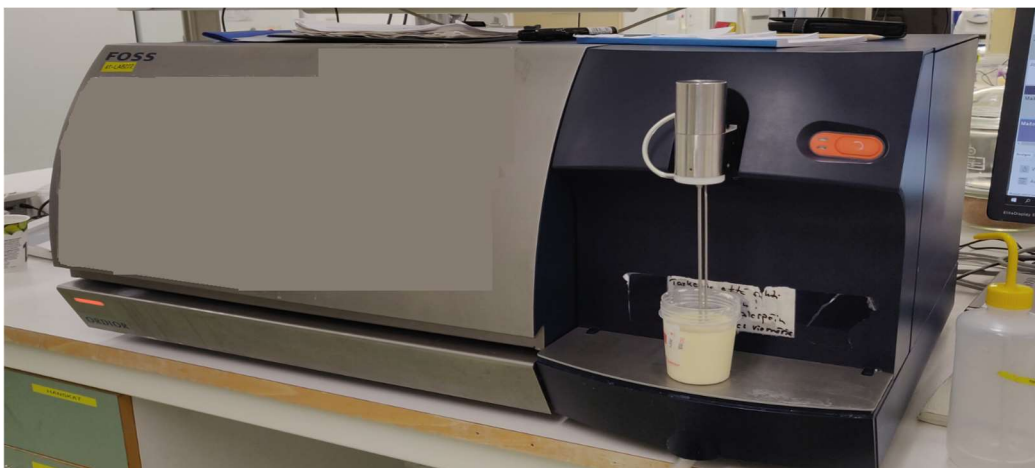
5.4.2 Arviointitulosten tilastollinen analyysi

Koesarjojen 1–3 ja koeajon kuvailevan analyysin arviointitulokset testattiin kolmisuuntaisella varianssianalyysillä, jossa faktoreina olivat arvioijat, näytteet ja toistoarviointit. Arviointien keskiarvojen erojen merkitsevyyttä testattiin Tukeyn parivertailutestillä. Koesarjojen ja koeajon jogurttien ominaisuuksien voimakkuusarviointien, pH-arvojen ja viskositeettimittausten välistä tilastollista riippuvuutta testattiin Pearson -korrelaatiotestillä. Analyysieihin käytettiin XLSTAT 2018 -tilasto-ohjelmaa. Arvioinneista piirettiin myös arviointeja havainnollistavat kuvaajat Excel-laskentataulukko-ohjelmalla.

5.4.3 Koostumus

Koesarjojen 1–3 valmistuksen aikana jogurttimaidosta otettiin homogenoinnin yhteydessä näytteitä koostumusmittauksia varten. Koostumukset selvitettiin maitotuotteiden MilcoScan™ FT2 -koostumusanalysointilaitteella.

MilcoScan™ FT2 (kuva 12) on suunniteltu raakamaidossa olevien poikkeavuuksien selvittämiseen sekä yleisesti maitotuotteiden koostumusten määrittämiseen laboratorio-olosuhteissa ja tuotantotiloissa. FT2 perustuu FTIR (Fourier Transform Infrared) -analyysimenetelmään. [42.] FTIR -analyysimenetelmässä hyödynnetään infrapunaspektriä, jonka avulla voidaan selvittää tuntemattomia yhdisteitä, näytteiden koostumuksia ja seoksissa olevien aineiden suhteita [43].



Kuva 12. Koesarjojen koostumusten määrittämiseen käytetty maitotuotteiden MilcoScan™ FT2 -koostumusanalysointilaitte.

Koostumusanalysointilaitte ilmoittaa myös analysoidun näytteen FPD:n (Freezing Point Depression) ja SNF:n (Solid Non Fats) suuruudet. FPD kertoo maidossa olevan veden vääristymän. Koska maito sisältää useita eri komponentteja, niin sen jäätymispiste alempi kuin pelkän veden. SNF ilmoittaa kerman sisältämien rasvattomien komponenttien pitoisuuden. [44.]

5.4.4 pH-arvo

Koesarjojen 1–3 pH-arvoja mitattiin jogurttien valmistuksen aikana, valmistumisen jälkeen sekä 1:n ja 3:n viikon kuluttua jogurttien pakkaamisesta. Kuvassa 13 on pH-arvojen mittauksiin käytetty Radiometer MeterLAB PHM210 Standard -pH-mittari. PHM210 -pH-mittari on mikroprosessorilla varustettu mittalaite ja sillä voidaan mitata tarkasti eri aineiden tai liuosten pH- ja mV-arvoja sekä lämpötilaa [45]. Koesarjojen 1–3 jogurttien pH-mittausten yhteydessä tarkasteliin myös jogurttien säilyvyyttä. Koeajossa valmistettujen jogurttien pH-arvojen muutoksia seurattiin vastaavasti neljän viikon ajan jogurttien valmistamisesta.

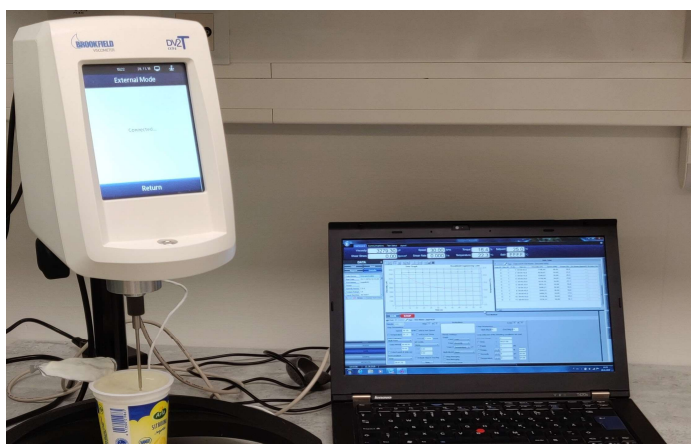


Kuva 13. Koesarjojen pH-arvojen mittauksiin käytetty Radiometer MeterLAB PHM210 Standard -pH-mittari.

5.4.5 Viskositeetti

Koesarjoista 1–3 valmistuneista jogurteista mitattiin viskositeetit 1:n ja 3:n viikon kuluttua niiden pakkaamisesta. Koeajossa valmistettujen jogurttien viskositeetteja seurattiin neljän viikon ajan jogurttien valmistamisesta. Koesarjojen ja -ajon jogurttien viskositeetit mitattiin Brookfield DV2T EXTRA -viskometrillä sekä viskometrin tietokoneelle asennetulla ohjelmalla (RheocalT). Viskometri piirtää tietokoneelle viskositeetin muutoksen suhteutettuna aikaan tai lämpötilaan. Jogurttien viskositeettien mittaamiseen tarkoitetussa ohjelmassa käytettiin LV-4 -spindeliä ja sen pyörimisnopeutena 30 rpm. LV-luokan spindelit ovat tarkoitettu suhteellisen matalan viskositeetin omaavien aineiden viskositeettien mittaamiseen [46]. Mittausohjelman kesto oli 90 sekuntia. Kuvassa 14 on jogurttien viskositeettien mittaamiseen käytetty Brookfield DV2T EXTRA -viskometri.

Ennen viskositeettien mittaamista jogurtteja ravistettiin kahdesti jogurttien rakenteen juoksettamiseksi. Ravistamisella varmistettiin se, ettei viskometrin spindeli alkaisi pyörimään tyhjää mittauksen aloituksessa, tai jos mittauksessa oleva jogurtti sisältäisi nestettä jogurttimassan kanssa, niin neste jakautuisi massan kanssa tasaisemmin. Viskositeetit mitattiin näytteistä yksi näyte kerrallaan ja näyte otettiin aina suoraan jääkaapista 8 °C:sta mittausta varten. Viskositeetit mitattiin 2 näytteelle per resepti ja jogurttien viskositeetteja kuvaavat keskiarvot piirettiin laskentataulukko-ohjelma Excelillä.



Kuva 14. Koesarjojen ja -ajon jogurttien viskositeettien mittaamiseen käytetty Brookfield DV2T EXTRA -viskometri.

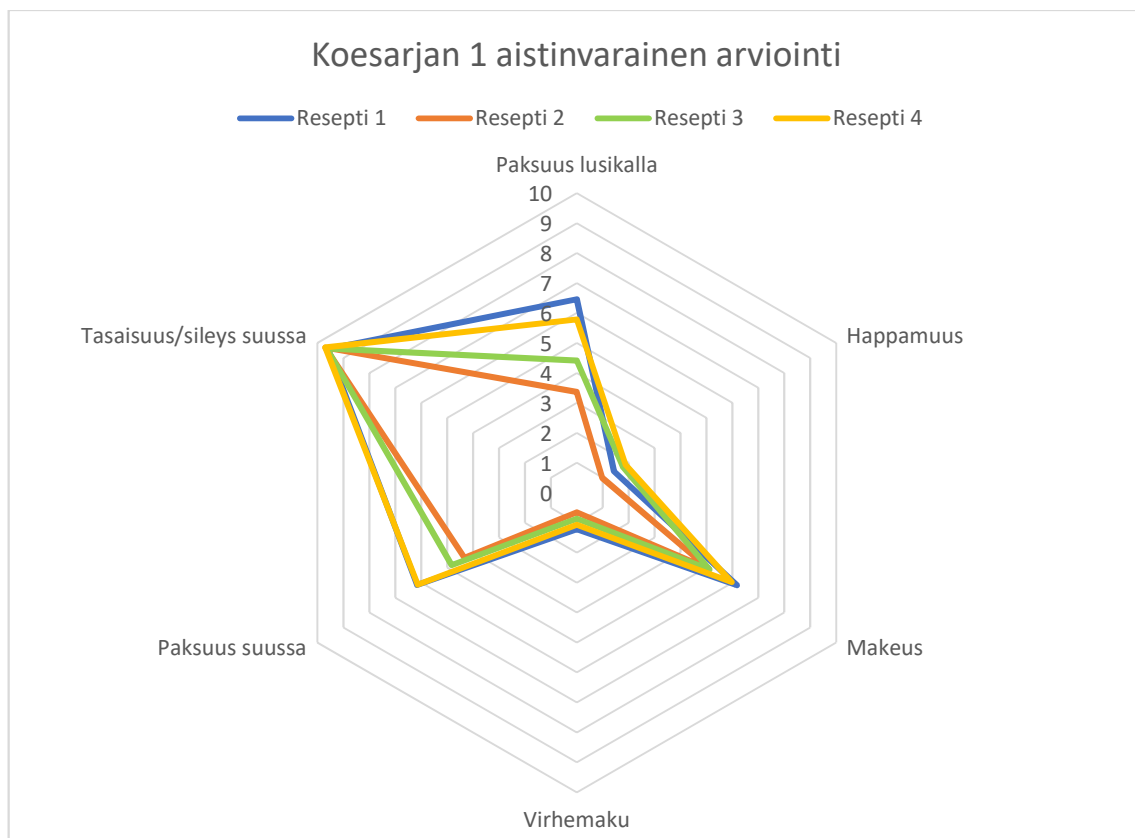
6 Tulokset ja tulosten tarkastelu

6.1 Aistinvarainen arviointi ja tilastollinen merkitsevyys

Koesarjojen ja koeajon aistinvaraisista arvioinneista kirjatut tulokset ovat esitetty osioissa 6.1.1-6.1.4. Varianssianalyysin ja Tukeyn parivertailujen tulokset ovat osioiden taulukoissa 12-15.

6.1.1 Koesarjan 1 (NF-retentaatin testaaminen jogurtissa)

Koesarjasta 1 erotettiin selvästi 2 samankaltaista jogurttia ja niistä 2 täysin poikkeavaa jogurttia. Koesarjan 1 aistinvarainen arviointi on havainnollistettuna kuvassa 15. Jogurttien välillä ei ollut merkitsevää eroa arvioitaessa suutuntuman tasaisuutta. Vertailureseptistä ja reseptistä 4 valmistuneet jogurtit olivat todella lähellä toisiaan, eikä niiden välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Kuvasta 15 nähdään, että näiden jogurttien rakenteiden paksuudet lusikalla arvioituna olivat samaa luokkaa. Kuvasta nähdään, että reseptillä 4 päästiin lähelle vertailureseptiä, vaikka rasvattoman maidon ja sokerin korvaamiseen käytettiin nestemmäistä NF-retentaattia, proteiinipitoisuuden pysyessä samana.



Kuva 15. Koesarjan 1 aistinvaraisen arvioinnin profiilit. Kuvassa resepti 1 = vertailuresepti, resepti 2 = NFR25, resepti 3 = NFR12,5, resepti 4 = NFR12,5P.

Reseptit 2 ja 3 erosivat merkitsevästi paksuuksiensa puolesta vertailureseptistä ja reseptistä 4. Reseptit 2 ja 3 olivat huomattavasti löysempiä ja ohuempia rakenteiltaan, koska näiden reseptien proteiinipitoisuudet 100 g kohden olivat pienempiä verrattuna vertailureseptin ja reseptin 4 proteiinipitoisuuksiin. Resepti 2 oli vähiten hapan koesarjan jogurteista, ja sille oli myös mitattu korkein pH-arvo. Virhemaun arvioinnissa oli paljon hajontaa arvioijien välillä, eikä jogurteissa juurikaan havaittu virhemakua.

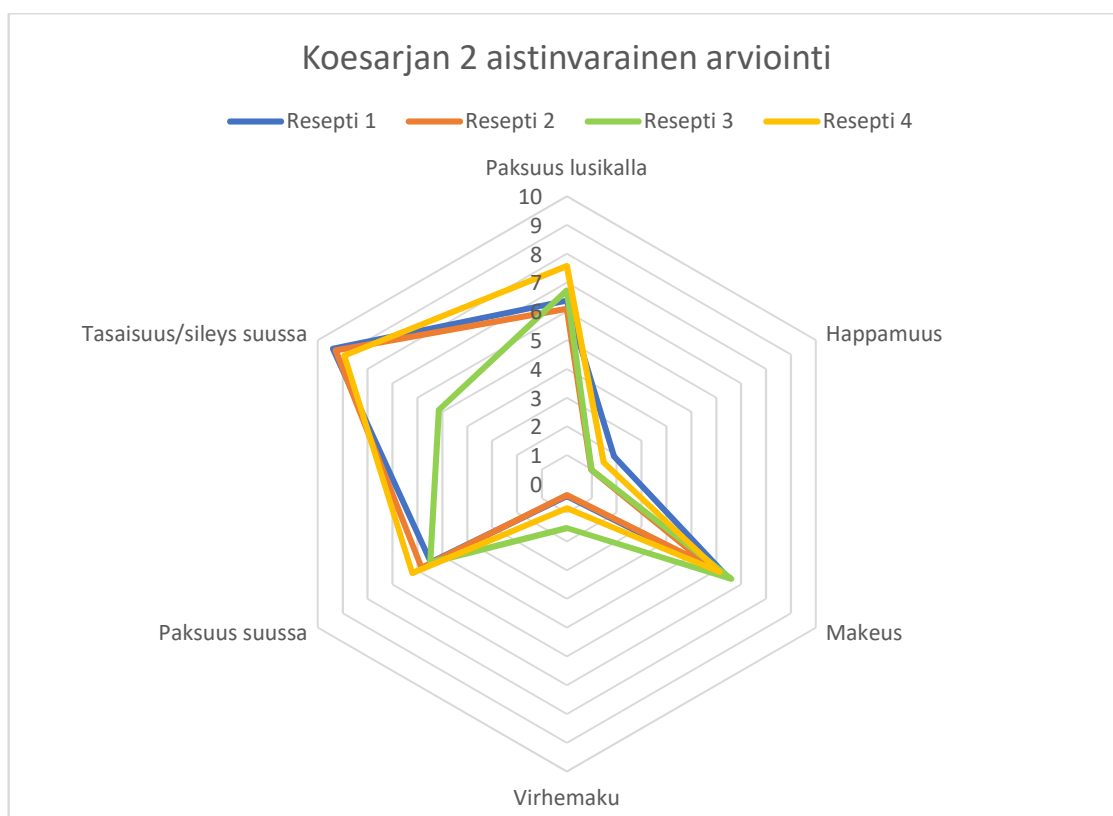
Taulukosta 12 nähdään koesarjalle 1 tehdystä varianssianalyysistä ja sille tehdystä Tukeyn parivertailutestistä jogurttien väliset tilastolliset merkisevyyserot. Taulukossa 12 on numeroarvot ja kirjainluokat merkitsevyyksien eron havainnollistamiseksi koesarjan 1 näytteiden välillä.

Taulukko 12. Koesarjan 1 näytteiden aistinvaraisten arviointien keskiarvot. Keskiarvot, joiden jälkeen on kirjattu sama kirjain, eivät eroa merkitsevästi Tukeyn testin mukaan ($p < 0,05$). Taulukossa vertailu = resepti 1, NFR25 = resepti 2, NFR12,5 = resepti 3 ja NFR12,5P = resepti 4.

Näyte	Paksuus lusikalla	Paksuus suussa	Happamuus	Makeus	Tasaisuus/sileys	Virhemaku
Vertailu	6,5 A	6,2 A	1,4 A, B	6,2 A	9,6 A	1,2 A
NFR25	3,4 C	4,3 B	1,0 B	5,1 B	9,7 A	0,7 B
NFR12,5	4,5 B	4,9 B	1,8 A	5,6 A, B	9,6 A	0,9 A, B
NFR12,5P	5,8 A	6,1 A	1,9 A	6,0 A	9,7 A	1,1 A, B

6.1.2 Koesarja 2 (NF-retentaatin testaaminen jogurtissa)

Koesarjan 2 aistinvaraisessa arvioinnissa erotettiin kaksi samanlaista jogurttia (vertailuresepti ja resepti 2), yksi näitä suhteellisen lähellä oleva jogurtti (resepti 4) sekä yksi kaikista merkitsevästi poikkeava jogurtti (resepti 3). Ainoa merkitsevä ero vertailureseptin ja reseptin 2 välillä oli happamuudessa. Koesarjasta 2 kaikki näytteet arvioitiin hyvin miedosti happamiksi ja jogurttien väliset erot happamuuksissa olivat pieniä. Reseptin 4 jogurtti oli muilta ominaisuuksiltaan lähellä vertailureseptiä ja reseptiä 2, mutta se oli huomattavasti paksumpaa rakenteensa puolesta. Resepti 4 erosi paksuutensa puolesta merkitsevästi kaikista jogurteista. Reseptin 4 paksuus on selitettävissä sillä, että siinä oli suurin proteiinipitoisuus koesarjan 2 jogurttien kesken. Reseptin 4 jogurtin valmistuksessa käytettiin kahta erilaista proteiinijauhetta proteiinipitoisuuden kasvattamiseen ja rakenteen paksuntamiseen. Kuvassa 16 on koesarjan 2 aistinvaraista arviointia havainnollistava kuvaaja. Virhemaun arvioinnissa oli paljon hajontaa arvioijien välillä, eikä jogurteissa juurikaan havaittu virhemakua.



Kuva 16. Koesarjan 2 aistinvaraisen arvioinnin profiilit. Kuvassa resepti 1 = vertailuresepti, resepti 2 = NFR12,5L, resepti 3 = NFR12,5S, resepti 4 = NFR12,5P2

Reseptin 3 jogurtti oli rakenteensa ja suutuntuman takia hyvin erilainen. Jogurtissa oli havaittavissa pieniä rakeita, paakkuja ja se erosi tasaisuudeltaan merkitsevästi muista resepteistä. Jogurtin valmistamiseen oli käytetty pektiiniä rakenteen paksuntamiseksi. Voi olla hyvin mahdollista, ettei pektiini ollut kunnolla sekoittunut jogurtin kuiva-aineseoksessa, ja se saattoi aiheuttaa jogurtin paakkuuntumisen sen valmistuttua.

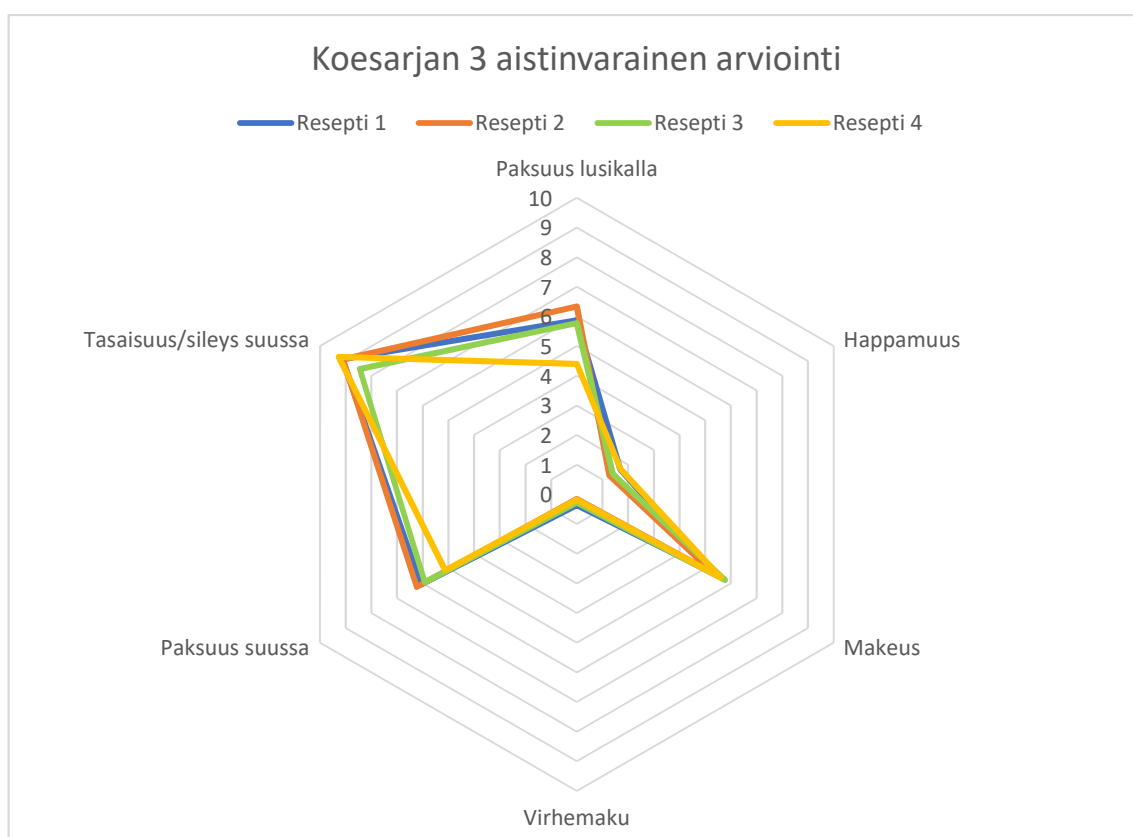
Taulukossa 13 on numeroarvot ja kirjainluokat merkitsevyyserojen havainnollistamiseksi koesarjan 2 näytteiden välillä.

Taulukko 13. Koesarjan 2 näytteiden aistinvaraisten arviointien keskiarvot. Keskiarvot, joiden jälkeen on kirjattu sama kirjain, eivät eroa merkitsevästi Tukeyn testin mukaan ($p < 0,05$). Taulukossa vertailu = resepti 1, NFR12,5L = resepti 2, 12,5S = resepti 3 ja NFR12,5P2 = resepti 4.

Näyte	Paksuus lusikalla	Paksuus suussa	Happamuus	Makeus	Tasaisuus/sileys	Virhemaku
Vertailu	6,1 B	5,5 B	1,9 A	6,4 A	9,4 A	0,4 B
NFR12,5L	6,1 B	5,8 A, B	1,0 B	5,7 A	9,3 A	0,4 B
NFR12,5S	6,7 B	5,5 B	1,0 B	6,6 A	5,1 B	1,5 A
NFR12,5P2	7,6 A	6,2 A	1,5 A, B	6,1 A	8,9 A	0,9 A, B

6.1.3 Koesarja 3 (Happaman heran testaaminen jogurtissa)

Aistinvaraisen arvioinnin perusteella koesarjassa 3 vertailuresepti 1 sekä reseptit 2 ja 3 olivat hyvin samankaltaisia. Nämä reseptit erosivat toisistaan merkitsevästi vain paksuudeltaan. Koesarjan 3 jogurttien resepteissä proteiinipitoisuutta nostettiin sen mukaan, mitä enemmän jogurtissa oli käytetty hapanta heraa rakenteen paksuuden säilyttämiseksi. Eniten hapanta heraa (15 %) sisältänyt resepti 4 arvioitiin kaikista näytteistä ohuimmaksi suussa sekä lusikalla sekoitettaessa. Resepti 4 poikkesi merkitsevästi ($p < 0,05$) vertailureseptistä sekä resepteistä 2 ja 3. Koesarjan 3 aistinvarainen arviointi on havainnollistettuna kuvassa 17. Virhemaun arvioinnissa oli paljon hajontaa arvioijien välillä, eikä jogurteissa juurikaan havaittu virhemakua.



Kuva 17. Koesarjan 3 aistinvaraisen arvioinnin profiilit. Kuvassa resepti 1 = vertailuresepti, resepti 2 = Hera5, resepti 3 = Hera10, resepti 4 = Hera15.

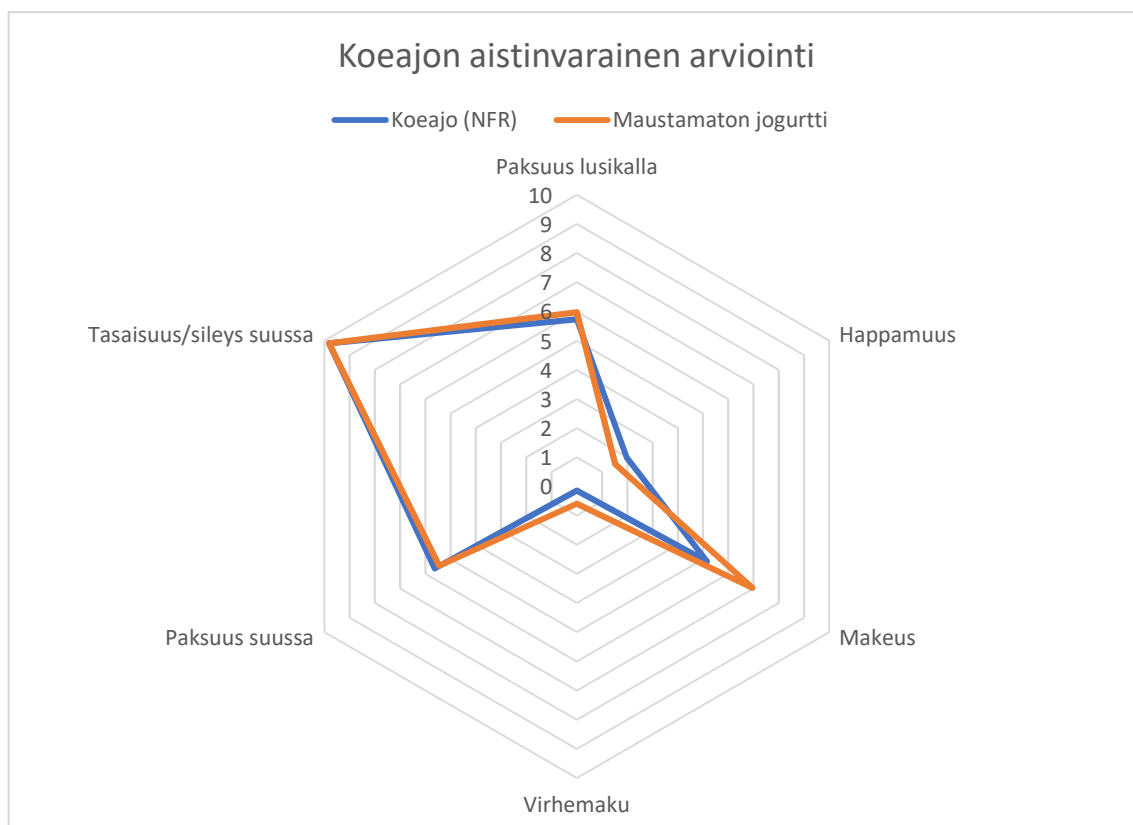
Taulukossa 14 on numeroarvot ja kirjainluokat merkitsevyyserojen havainnollistamiseksi koesarjan 2 näytteiden välillä.

Taulukko 14. Koesarjan 3 näytteiden aistinvaraisten arviointien keskiarvot. Keskiarvot, joiden jälkeen on kirjattu sama kirjain, eivät eroa merkitsevästi Tukeyn testin mukaan ($p < 0,05$). Taulukossa vertailu = resepti 1, Hera5 = resepti 2, Hera10 = resepti 3 ja Hera15 = resepti 4.

Näyte	Paksuus lusikalla	Paksuus suussa	Happamuus	Makeus	Tasaisuus/sileys	Virhemaku
Vertailu	5,9 A	6,1 A, B	1,7 A	5,2 A	9,1 A	0,4 A
Hera5	6,3 A	6,2 A	1,3 A	5,3 A	9,1 A	0,2 A
Hera10	5,8 A	5,9 B	1,4 A	5,8 A	8,5 A	0,3 A
Hera15	4,4 B	5,1 C	1,7 A	5,6 A	9,3 A	0,2 A

6.1.4 Koeajo

Koeajon aistinvaraisen arvioinnin kuvaajasta nähdään, että ainoa ero jogurttien välillä oli makeus. Vertailujogurtina toimiva maustamaton jogurtti koettiin makeammaksi kuin NF-retentaattia sisältävä jogurtti. Teoriassa koeajossa valmistetun jogurttimassan hydrolysoituneen laktoosin laskennallinen makeus sakkaroosina on 4,5 ja vertailujogurtin makeus on vastaavasti 2,85. Joten jostain syystä hydrolysoitu laktoosi ei makeuttanut koeajettua jogurttia niin paljon kuin olisi teoriassa pitänyt. Makeuseroon on voinut vaikuttaa myös koeajossa käytetyn NF-retentaatin erä ja sen koostumus. Kuvassa 18 on havainnollistettu koeajon aistinvarainen arviointi. Virhemaun arvioinnissa oli paljon hajontaa arvioijien välillä, eikä jogurteissa juurikaan havaittu virhemakua.



Kuva 18. Koeajon aistinvaraisen arvioinnin profiilit. Kuvassa sininen viiva on koeajossa valmistettu NF-retentaattia sisältävä jogurtti ja oranssi viiva on vertailuna toimiva maustamaton jogurtti.

Taulukossa 15 on numeroarvot ja kirjainluokat merkitsevyyserojen havainnollistamiseksi koesarjan 2 näytteiden välillä.

Taulukko 15. Koeajon näytteiden aistinvaraisten arviointien keskiarvot. Keskiarvot, joiden jälkeen on kirjattu sama kirjain, eivät eroa merkitsevästi Tukeyn testin mukaan ($p < 0,05$). Taulukossa vertailu = vertailujogurtina käytetty maustamaton jogurtti ja NFR = koeajossa valmistettu NF-retentaattia sisältävä jogurtti.

Näyte	Paksuus lusikalla	Paksuus suussa	Happamuus	Makeus	Tasaisuus/sileys	Virhemaku
Vertailu	6,0 A	5,5 A	1,5 A	7,0 A	9,8 A	0,6 A
NFR	5,7 A	5,6 A	2,0 A	5,2 B	9,8 A	0,1 A

6.2 Koostumus

Taulukossa 16 on koesarjan 1 jogurttimaitojen näytteistä mitatut koostumusanalyysit MilcoScan™ FT2:lla.

Taulukko 16. Koesarjan 1 jogurttimaitojen, kerman ja rasvattoman maidon MilcoScan™ FT2 -koostumusanalyysit.

Näyte	Rasva %	Proteiini %	Kuiva-aine %	Laktoosi %	FPD %	SNF %
Resepti 1	2,2	4,3	14,5	-	-	-
Resepti 2	3,1	4,0	15,8	-	-	-
Resepti 3	2,7	4,0	14,9	-	-	-
Resepti 4	2,7	4,4	15,6	-	-	-
Maito	0,1	3,7	9,4	4,8	0,5	-
Kerma	37,1	2,2	42,8	-	-	6,1

Taulukossa 17 on koesarjan 2 jogurttimaitojen näytteistä mitatut koostumusanalyysit.

Taulukko 17. Koesarjan 2 jogurttimaitojen, kerman ja rasvattoman maidon ja MilcoScan™ FT2 -koostumusanalyysit.

Näyte	Rasva %	Proteiini %	Kuiva-aine %	Laktoosi %	FPD %	SNF %
Resepti 1	2,0	4,4	14,3	-	-	-
Resepti 2	2,6	4,6	14,8	-	-	-
Resepti 3	3,0	3,9	15,1	-	-	-
Resepti 4	2,5	4,6	15,1	-	-	-
Maito	0,1	3,9	9,5	4,8	0,5	-
Kerma	34,9	2,2	41,1	-	-	6,3

Koostumusmittauksista saaduista tuloksista huomattiin, että MilcoScan™:n antamat tulokset koesarjojen 1 ja 2 jogurttimaitojen proteiini- ja rasvapitoisuuksista näyttävät liian suurilta ja niissä on huomattavaa vaihtelua näytteiden kesken. MilcoScan™ ei nähtävästi pysty tarkkaan tulkitsemaan jogurttimaitojen koostumusta NF-retentaatin läsnäollessa. Eli kun mittaus tehdään jogurttimaidolle kalibroidulla ohjelmalla, mittaus antaa virheellisen tuloksen proteiinin, rasvan ja mahdollisesti kuiva-aineiden pitoisuuksista.

Taulukossa 18 on koesarjan 3 jogurttimaitojen näytteistä mitatut koostumusanalyysit.

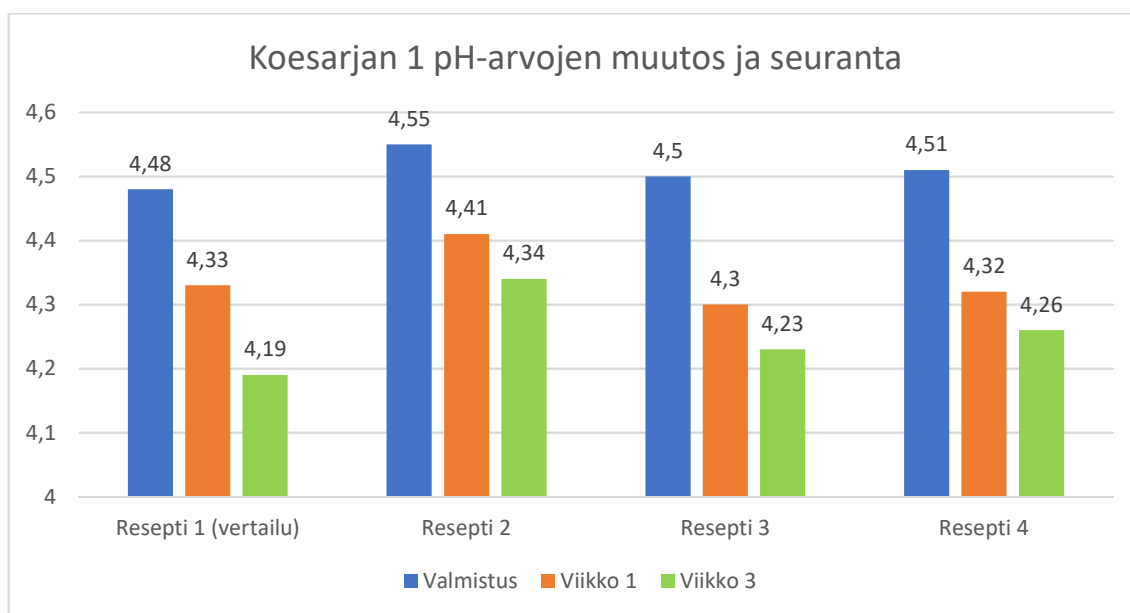
Taulukko 18. Koesarjan 3 jogurttimaitojen, kerman ja rasvattoman maidon MilcoScan™ FT2 -koostumusanalyysit.

Näyte	Rasva %	Proteiini %	Kuiva-aine %	Laktoosi %	FPD %	SNF %
Resepti 1	2,2	4,4	14,6	-	-	-
Resepti 2	2,0	4,5	14,6	-	-	-
Resepti 3	2,1	4,6	14,7	-	-	-
Resepti 4	2,2	4,6	14,7	-	-	-
Maito	0,1	3,8	9,5	4,8	0,5	-
Kerma	34,4	2,3	40,6	-	-	6,3

Koesarjan 3 koostumusmittauksista voidaan havaita proteiini- ja rasvapitoisuuksienn tasaisuus ja kaikkien reseptien kesken. Hapan hera ei selvästi häirinnyt mittauksia verrattuna NF-retentaattiin koesarjoissa 1 ja 2. Reseptien 2-4 rasvapitoisuudet ovat hyvin lähellä niiden laskennallisia arvoja. Proteiinipitoisuudet ovat hieman koholla, mutta eivät yli 0,5 % resepteille lasketuista arvoista (taulukko 10). Voidaan todeta, että reseptit 2-4 pääsivät hyvin lähelle niille tavoiteltuja laskennallisia proteiini- ja rasvapitoisuuksia.

6.3 pH-arvo ja säilyvyys

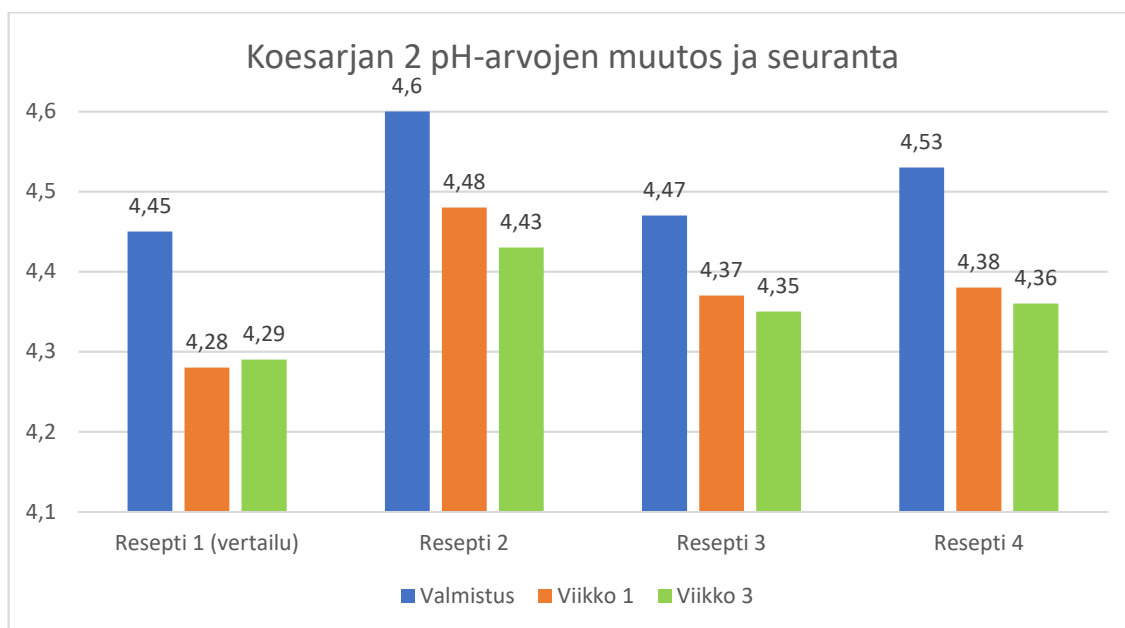
Liitteessä 4 on koesarjojen 1–3 valmistuksen aikana mitatut pH-arvot pylväsdiagrammeina. Kuvassa 19 on koesarjan 1 jogurteista mitattujen pH-arvojen muutokset 3 viikon aikana valmistuksesta. Koesarjan 1 jogurttien pH-arvot olivat laskeneet pakkauspäivästä 0,21–0,29 yksikköä.



Kuva 19. Koesarjan 1 jogurteista mitatut pH-arvot säilyyden seurannan aikana. Jogurteista mitatut pH-arvot ovat kuvassa vasemmalta oikealle järjestyksessä resepti 1 (vertailu), resepti 2, resepti 3 ja resepti 4. Kuvassa reseptien kohdalla vasen pylväs on valmistuspäivänä mitattu pH-arvo, keskimääräinen pylväs on seurantaviikon 1 aikana mitattu pH arvo ja oikea pylväs on seurantaviikon 3 aikana mitattu pH-arvo.

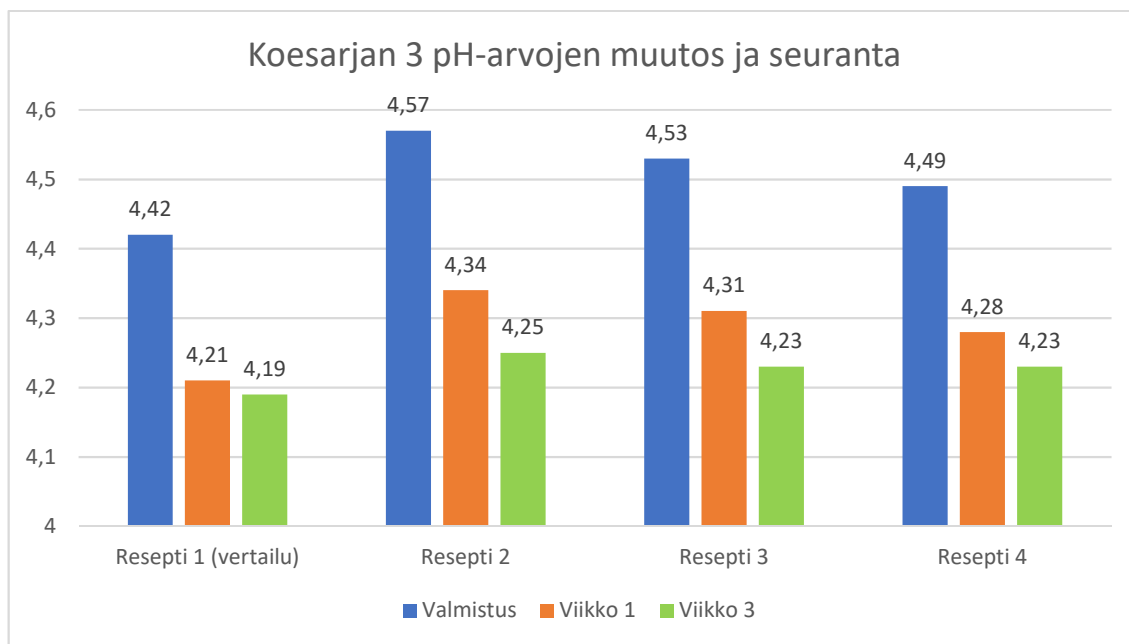
Koesarjan 1 jogurteista vain vertailuresepti säilyi pilaantumatta kolmen viikon aikana. Reseptien 3 ja 4 joukossa oli muutama homeinen näyte. Resepti 3 oli epäonnistunut, koska se ei ollut täysin homogeeninen, sillä jogurtit olivat jakautuneet kahteen erilaiseen kerrokseen. Alempi kerros oli heraa ja ylempi kerros kiinteämpää jogurttimassaa. Reseptin 3 jogurttien jakautuminen johtuu reseptin alhaisesta proteiinipitoisuudesta, koska resepti 4 oli muuten samanlainen kuin resepti 3, mutta siihen oli lisätty enemmän proteiinijauhetta proteiinipitoisuuden nostamiseksi. Reseptissä 2 pilaantumista oli havaittavissa jo noin 2 viikon kuluttua pakkaamisesta. Lopuksi reseptin 2 kaikki näytteet sisälsivät home- tai hiivakasvustoja. Jogurttien pilaantumisen todennäköisin syy on näytteiden kontaminoituminen pakkaamisen tai valmistamisen aikana.

Koesarjan 2 pH-arvojen muutokset ovat esiteltynä kuvassa 20. pH-arvojen muutos oli korkeimmillaan 0,17 koesarjan 2 kesken. Koesarjasta 2 löytyi vain 1 pilaantunut näyte kolmen viikon seurannan aikana. Koesarjan 2 jogurttien parempaan säilymiseen on voinut vaikuttaa aikaisempi kokemus koesarjan 1 valmistamisesta ja tarkempi huomio aseptisempiin työskentelytapoihin. Koesarjan 2 jogurtit olivat myös vähemmän happamampia kuin koesarjan 1 ja pH-arvojen muutos 3 viikon aikana oli vähäisempää.



Kuva 20. Koesarjan 2 jogurteista mitatut pH-arvot säilyyden seurannan aikana. Jogurteista mitatut pH-arvot ovat kuvassa vasemmalta oikealle järjestyksessä resepti 1 (vertailu), resepti 2, resepti 3 ja resepti 4. Kuvassa reseptien kohdalla vasen pylväs on valmistuspäivänä mitattu pH-arvo, keskimmäinen pylväs on seurantaviikon 1 aikana mitattu pH arvo ja oikea pylväs on seurantaviikon 3 aikana mitattu pH-arvo.

Kuvassa 21 on koesarjan 3 pH-arvojen muutos kolmen viikon aikana. Jogurttien pH-arvot olivat laskeneet 0,23–0,32 yksikköä sekä pH-arvot olivat tasaisia reseptien kesken. Koesarjassa 3 ei ollut pilaantuneita näytteitä kolmen viikon seurannan aikana. Hyvin pientä heran eroittumista oli havaittavissa muutamassa näytteessä vertailureseptiä tarkastellessa.



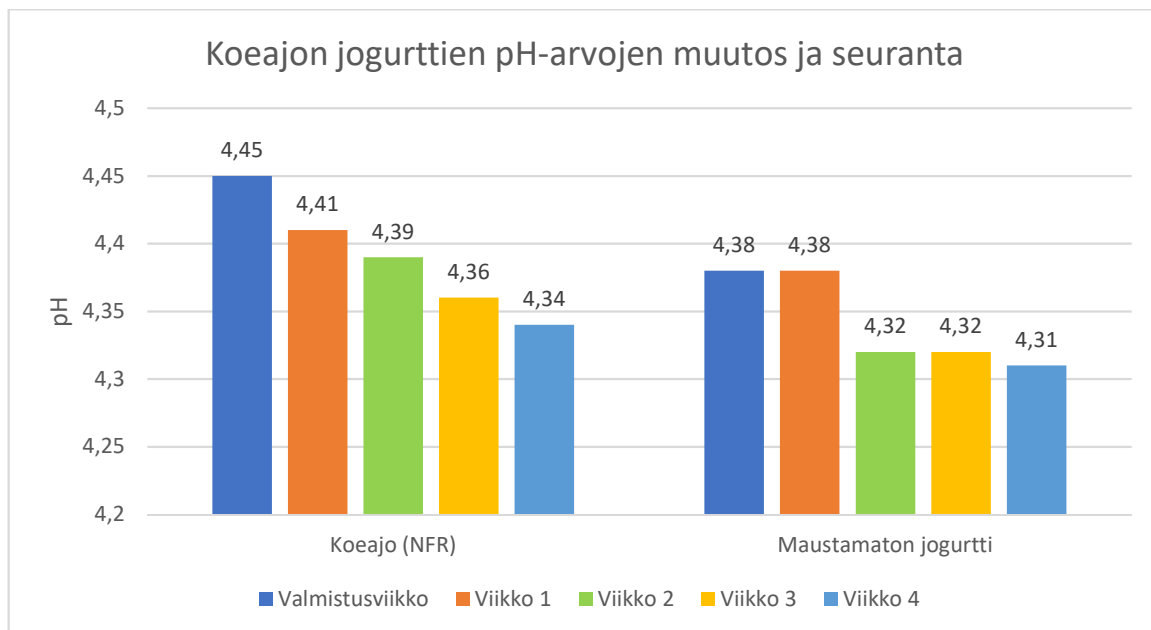
Kuva 21. Koesarjan 3 jogurteista mitatut pH-arvot säilyyden seurannan aikana. Jogurteista mitatut pH-arvot ovat kuvassa vasemmalta oikealle järjestyksessä resepti 1 (vertailu), resepti 2, resepti 3 ja resepti 4. Kuvassa reseptien kohdalla vasen pylväs on valmistuspäivänä mitattu pH-arvo, keskimääräinen pylväs on seurantaviikon 1 aikana mitattu pH arvo ja oikea pylväs on seurantaviikon 3 aikana mitattu pH-arvo.

Taulukossa 19 on koesarjan 3 valmistuksen aikana mitatut pH-arvot ja lämpötilat rasvattomalle maidolle ja happamalle heralle. Liitteestä 4 nähdään happan heran vaikutus koesarjassa valmistettujen jogurttimaitojen pH-arvoihin.

Taulukko 19. Rasvattomalle maidolle ja happamalle heralle mitatu pH-arvot.

Näyte	pH	Lämpötila (°C)
Rasvaton maito	6,76	13,2
Hapan hera	4,48	26,4

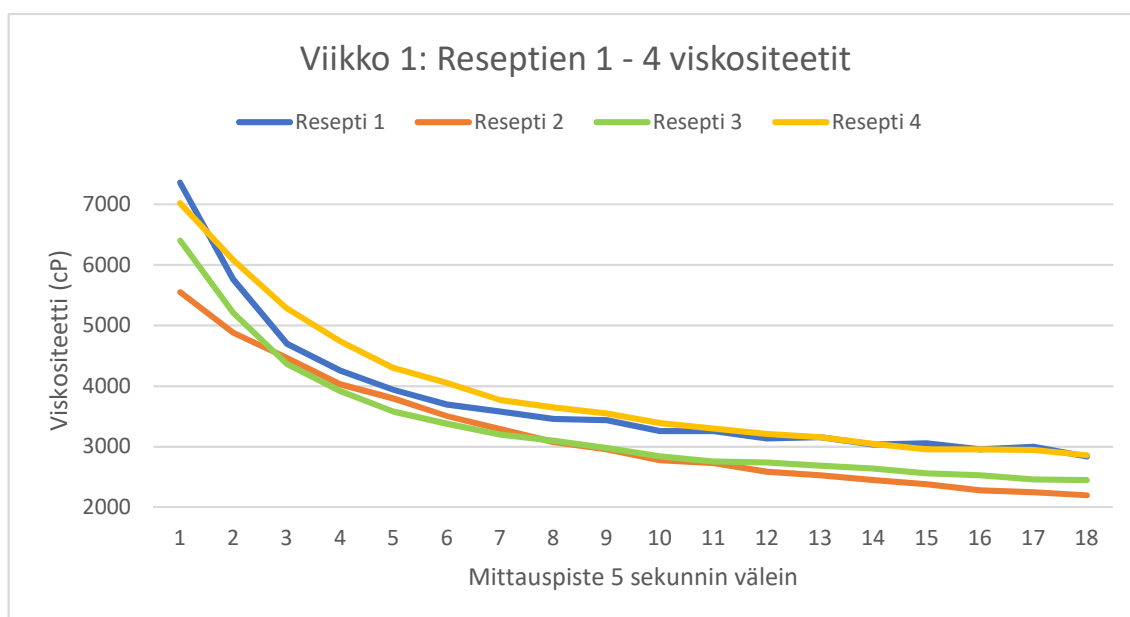
Kuvassa 22 on havainnollistettu tuotannon koeajossa valmistettujen jogurttien pH-arvojen muutokset neljän viikon seurannan aikana. Kuvasta nähdään koeajetun jogurtin ja vertailujogurtin (maustamaton jogurtti) pH-arvojen samankaltainen laskeminen neljän viikon aikana. Viikoilla 3 ja 4 nähdään kummankin jogurtin pH-arvojen tasaantuminen, eli ne eivät laske 0,01–0,02 yksikköä enempää. Molemmat jogurtit olivat selvästi onnistuneita valmistuksen aikana, eikä jogurttien pH-arvot laske paljon seurannan aikana.



Kuva 22. Koeajossa valmistetuista NF-retentaattia sisältävästä jogurtista ja maustamattomasta vertailujogurtista mitatut pH-arvot neljän viikon seurannan aikana. Kuvassa vasemmalla on koeajetun jogurtin pH-arvojen muutos ja oikealla on maustamattoman vertailujogurtin pH-arvojen muutos. Pylväät ovat vasemmalta oikealle aikajärjestyksessä mittauskerran mukaan (valmistusviikko, viikko 1, viikko 2, viikko 3 ja viikko 4).

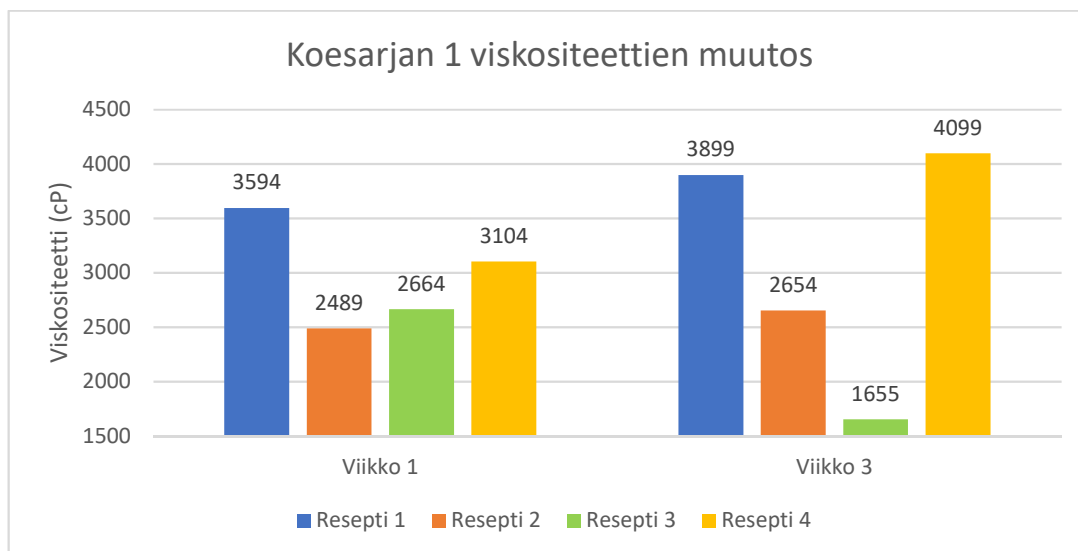
6.4 Viskositeetti

Kuvassa 23 on havainnollistava esimerkki koesarjan 1 reseptien viskositeettien (cP) muutoksista ajan funktiona (90 s). Kuvasta nähdään, mittauksen alkupuolella tapahtuu niin sanottu shear thinning -efekti. Siinä viskositeetti pienenee alussa jyrkästi ja sitten sen lasku on tasaisempaa, koska jogurtti on ei-newtoniaalinen neste eli sen rakenne muuttuu, kun siihen koskee tai sitä sekoittaa, ja lopuksi rakenne tasoittuu viskositeetin vakiintuessa tietylle tasolle. Alussa viskositeetin putoamiseen vaikuttaa myös jogurttien ravistaminen ennen mittaamista, koska on lähes mahdotonta ravistaa jogurttipurkkia täysin samalla voimalla usealla eri mittauskerralla.



Kuva 23. Koesarjan 1 jogurteista mitattujen viskositeettien muutos 90 sekunnin aikana. Kuvassa resepti 1 = vertailujogurtti, resepti 2 = 25%NFR, resepti 3 = 12,5%NFR ja resepti 4 = 12,5%NFR-P.

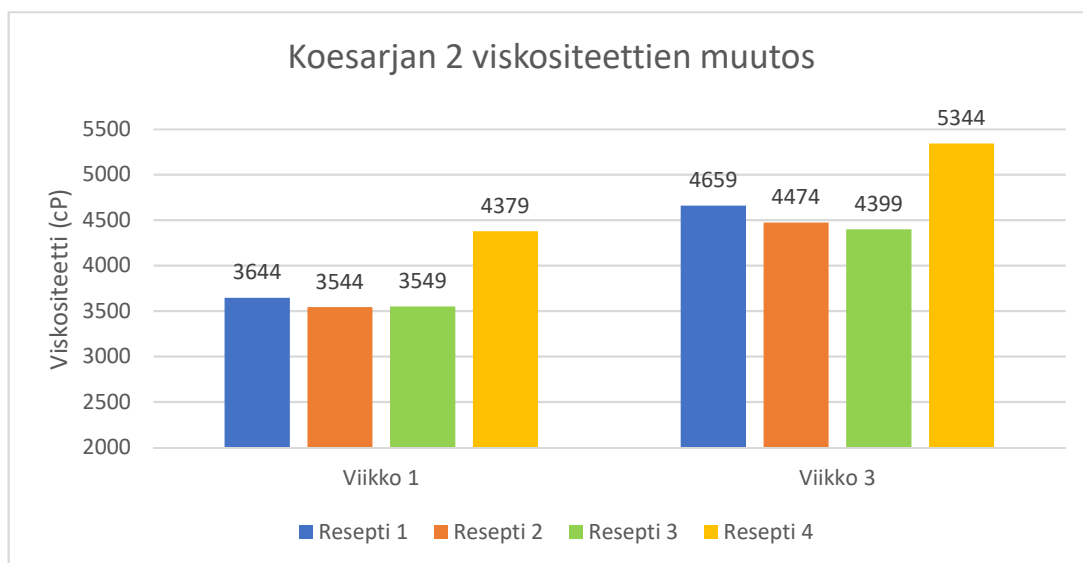
Kuvassa 24 on koesarjasta 1 mitatut jogurttien viskositeetit mittausviikoilta 1 ja 3. Pylväsdiagrammin pylväät kuvaavat jogurteista mitattujen viskositeettien keskiarvoja mittauksen viimeisten 45 sekunnin aikana.



Kuva 24. Koesarjan 1 viskositeettien muutos 3 viikon aikana. Kuvassa on reseptien 1–4 viskositeetit vasemmalta oikealle mittausviikkoa kohden. Kuvassa resepti 1 = vertailuresepti, resepti 2 = 25%NFR, resepti 3 = 12,5%NFR, resepti 4 = 12,5%NFR-P.

Viikon 1 mittauksista voidaan havaita reseptien 2–4 viskositeettien kasvaminen jogurttien proteiinipitoisuuden ja käytetyn NF-retentaatin määrän mukaan. Viikon 3 mittauksista nähdään, että reseptillä 4 oli suurempi viskositeetti verrattuna vertailureseptiin. Reseptin 4 valmistamiseen oli käytetty enemmän proteiinijauhetta sen proteiinipitoisuuden nostamiseen ja rakenteen paksuntamiseen. Jogurttien yleinen paksuuntuminen ja siitä johtuva viskositeetin kasvaminen johtuu jogurttien proteiinien välisistä vuorovaikutuksista ja jogurtti jatkaa tekeytymistään jääkaapissa/varastolosuhteissa. Reseptissä 3 tapahtunut faasierotus näkyy selvänä viskositeetin laskemisena. Tämän takia jogurttien ravistaminen muutaman kerran ennen viskositeettien mittaamista oli tärkeää, koska mittaamista kokeiltiin myös reseptille 3 ilman ravistamista ja tulos oli yli 2 kertaa suurempi.

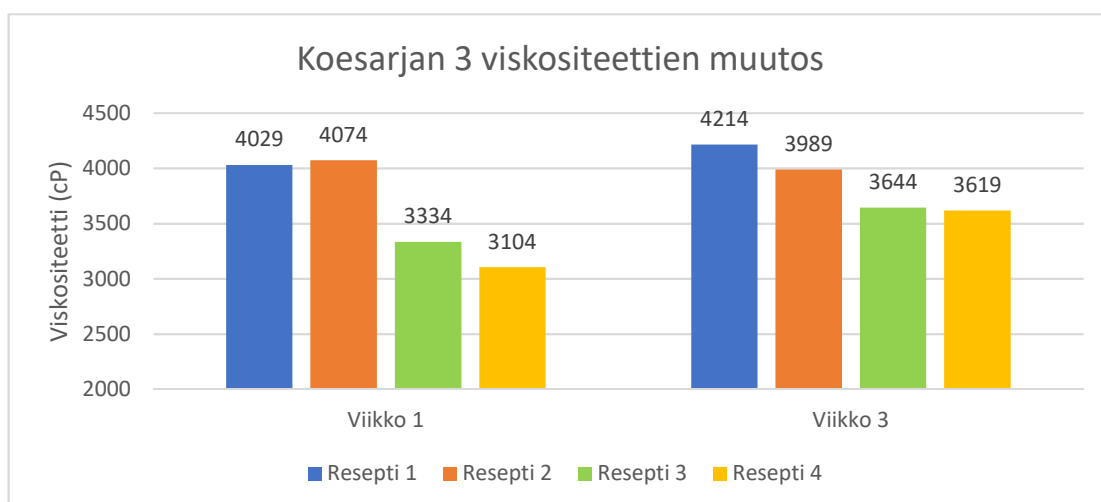
Koesarjan 2 viskositeettien muutokset mittausviikkojen 1 ja 3 aikana ovat pylväsdiagrammeina kuvassa 25.



Kuva 25. Koesarjan 2 viskositeettien muutos 3 viikon aikana. Kuvassa on reseptien 1–4 viskositeetit vasemmalta oikealle mittausviikkoa kohden. Kuvassa resepti 1 = vertailuresepti, resepti 2 = 12%NFR-L, resepti 3 = 12,5%NFR-S, resepti 4 = 12,5%NFR-P2.

Ensimmäisen viikon mittauksista on havaittavissa samoja huomioita kuin koesarjan 2 aistinvaraisessa arvioinnissa. Resepti 4 oli aistittaviltaan ominaisuuksiltaan paksuin, ja sille mitattiin myös suurin viskositeetti. Vertailuresepti sekä reseptit 2 ja 3 olivat viskositeetiltään lähellä toisiaan, mutta reseptin 3 jogurttien rakenne oli rakeinen niiden sisältämän pektiinin takia. Kolmannella viikolla koesarjan 2 jogurttien viskositeetit pysyivät samankaltaisina ja kaikkien jogurttien viskositeetti olivat nousseet lähes saman verran. Viskositeettien kasvaminen oli havaittavissa jogurttien paksuuntumisena kaikkien reseptien kohdalla.

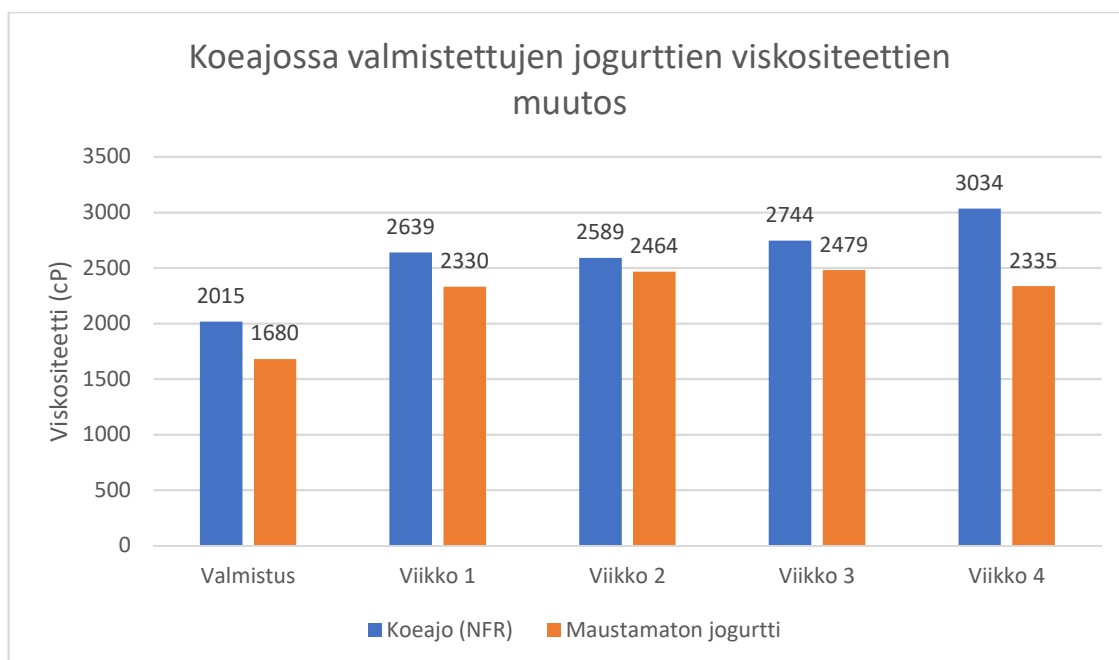
Koesarjan 3 viskositeettien muutoksia mittausviikoilta 1 ja 3 havainnollistavat pylväsdiagrammit ovat kuvassa 26.



Kuva 26. Koesarjan 3 viskositeettien muutos 3 viikon aikana. Kuvassa on reseptien 1–4 viskositeetit vasemmalta oikealle mittausviikkoa kohden. Kuvassa resepti 1 = vertailuresepti, resepti 2 = Hera5%, resepti 3 = Hera10%, resepti 4 = Hera15%.

Viikolla 1 mitattujen viskositeettien pylväistä näkee, että vertailuresepti ja resepti 2 olivat lähellä toisiaan. Reseptit 3 ja 4 olivat vähemmän viskooseja verrattuna vertailureseptiin ja reseptiin 2. Koesarjan 2 aistinvaraisessa arvioinnissa reseptille 4 todettu rakenteellinen ohuus mitattiin myös alhaisimpana viskositeettinä. Viikon 3 mittauksissa kaikkien reseptien, paitsi reseptin 2 viskositeetit olivat hieman nousseet. Viskositeettien nousu ei ollut niin suurta verrattuna koesarjoihin 1 ja 2, koska koesarjassa 3 kaikkien reseptien 2-4 proteiinipitoisuudet vakioitiin tarkemmin lisäävän happaman heran mukaan. Kaikista resepteistä valmistuneiden jogurttien viskositeetit olivat myös viikolla 3 järjestyksessä sen mukaan, kuinka paljon jogurttien valmistuksessa oli käytetty hapanta heraa.

Kuvassa 27 on havainnollistettu pylväsdiagrammeilla tuotannon koeajossa valmistettujen jogurttien viskositeettien muutoksia 4 viikon seurannan aikana. Kuvasta nähdään, että NF-retentaattia sisältävän jogurtin viskositeetti oli hieman suurempi kuin vertailujogurtin. Ero on sen verran pieni, etteivät jogurtit eronneet paksuuksiltaan merkittävästi niiden aistinvaraisessa arvioinnissa. Viikolla 4 viskositeettien ero oli huomattavissa siten, että NF-retentaattia sisältävä jogurtti vaikutti paksummalta ja se valui purkista hitaammin kuin maustamaton jogurtti. Mielenkiintoista on se, että pilottikokeiden koesarjassa 2 viskositeettien seurannan aikana viskositeetit olivat toisinpäin. Eli vertailujogurtti oli paksumpi kuin NF-retentaattia sisältävä jogurtti. On tosin huomioitava, että koeajo oli kokoluokaltaan, sekoitus- ja valmistusmenetelmiltään erilainen kuin pilottikokeet. Näillä tekijöillä on iso vaikutus valmistuvan jogurtin rakenteeseen.



Kuva 27. Koeajossa valmistetuista NF-retentaattia sisältävästä jogurtista ja maustamattomasta vertailujogurtista mitatut viskositeetit neljän viikon seurannan aikana. Kuvassa vasen pylväs on NF-retentaattia sisältävä jogurtti ja oikea pylväs on maustamaton vertailujogurtti.

6.5 Ominaisuuksien välinen tilastollinen riippuvuus

Kuvassa 28 on esitetty koesarjojen 1–3 ja tuotannon koeajon jogurttien aistinvaraisten arviointien, pH-arvojen ja viskositeettien keskiarvojen väliset korrelaatiokertoimet. Mitä kauempana korrelaatiokerroin on nollasta, sitä voimakkaammasta riippuvuudesta on kyse. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet on lihavoitu ($p < 0,05$). Taulukosta 20 nähdään, että jogurttien pH-arvot korreloivat negatiivisesti happamuuden kanssa eli mitä matalampi pH-arvo, sitä happamammaksi jogurtti on arvioitu. Negatiivinen arvo ja korrelointi ovat loogisia, koska hapatuksen aikana muodostuva maitohappo laskee jogurtin pH-arvoa ja happamuutta. Viskositeetti 1 korreloi merkitsevästi vain paksuuden suussa kanssa eli vaikuttaa siltä, että suuren shear thinning alueen viskositeetti ei kuvaa aistinvaraista paksuutta yhtä hyvin kuin viskositeetti 2. Viskositeetti 2 kuvaa stabiilimman alueen viskositeettia. Viskositeetti 2 korreloi merkitsevästi aistinvaraisesti arvioitujen paksuuksien (lusikalla ja suussa) kanssa. Arvioinnit paksuuksista (lusikalla ja suussa) korreloivat vahvasti keskenään, mikä oli odotettavissa.

Taulukko 20. Koesarjojen 1-3 ja tuotantokoeajon jogurttien aistinvaraisten arviointien, pH-arvojen ja viskositeettien keskiarvojen väliset Pearsonin korrelaatiokertoimet. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet on lihavoitu ($p < 0,05$). Taulukossa viskositeetti 1 = viskositeettimittausten mittausohjelman ensimmäiset 45 sekuntia ja viskositeetti 2 = mittausohjelman viimeiset 45 sekuntia.

Muuttujat	Paksuus lusikalla	Happamuus	Makeus	Paksuus suussa	Viskositeetti 1	Viskositeetti 2
Paksuus lusikalla	1	-	-	-	-	-
Happamuus	-0,002	1	-	-	-	-
Makeus	0,58	-0,09	1	-	-	-
Paksuus suussa	0,82	0,12	0,24	1	-	-
Viskositeetti 1	0,48	-0,21	-0,09	0,66	1	-
Viskositeetti 2	0,73	-0,15	0,14	0,72	0,90	1
pH	0,06	-0,55	0,09	-0,12	-0,28	-0,23

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli valmistaa jogurttia hyödyntämällä NF-retentaattia ja hapanta heraa. NF-retentaatti ja hapana hera ovat huomattavia sivuvirtoja meijerin tuotannossa. Niitä hyödyntämällä voitaisiin vähentää meijeristä syntyvää hävikkiä ja kustannuksia. Työssä selvitettiin, miten NF-retentaatti ja hapana hera vaikuttavat jogurtin aistittaviin ja rakenteellisiin ominaisuuksiin sekä voisiko niitä käyttää tavallisen maustamattoman jogurtin kehittämiseen ja valmistamiseen. Insinööriyössä tehtyjen pilottikokeiden koesarjojen avulla onnistuttiin löytämään potentiaalinen jogurttiresepti sivuvirtojen hyödyntämiseksi. Jogurttiresepti oli koesarjassa 2 valmistettu resepti 2. Koesarjan 2 reseptistä 2 valmistunut jogurtti oli täysin verrattavissa koesarjassa valmistettuun vertailujogurttiin, joka ei sisältänyt NF-retentaattia. Reseptissä (luku 5.2.1) jogurtin valmistamiseen käytettiin 12,5 % NF-retentaattia ja 0,12 % laktaasientsyymiä. Reseptistä valmistunut jogurtti oli laktoositon eikä siihen lisätty sokeria, vaan jogurtin makeus tuli valmiiksi hydrolysoidusta NF-retentaatista sekä reseptin raaka-aineista hydrolysoidusta laktoosista. Teoriassa hydrolysoitu laktoosi on noin 65 % puhtaan sakkaroosin makeudesta ja jogurtin teoreettinen makeus laskettiin 1,5 kertaa suuremmaksi kuin koesarjassa valmistettavan vertailujogurtin.

Koska koesarjan 2 resepti 2 oli hyvin lähellä vertailujogurttia eli tavoitetta, testattiin toimiiko sama resepti myös tuotantomittakaavassa. Tuotantomittakaavan koeajojogurtti arvioitiin aistinvaraisesti hyvin samanlaiseksi kuin vertailujogurtti. Ainoa ero jogurttien välillä oli makeudessa ja makeusero oli tilastollisesti merkitsevä. Koeajojogurtti oli vähemmän makeampi kuin vertailujogurtti, vaikka teoriassa koeajojogurtin loksennallisen makeuden perusteella sen olisi pitänyt olla vertailujogurttia makeampaa. Myös koesarjassa 2 tehdyn aistinvaraisen arvioinnin perusteella samasta reseptistä (resepti 2) valmistunut jogurtti ei eronnut merkitsevästi vertailujogurtista makeutta arvioitaessa. Tässä tapauksessa hydrolysoitu laktoosi ei siis makeuttanut jogurttia niin paljon kuin kirjallisuus antoi ymmärtää. Makeusero voi johtua vertailujogurtin valmistamiseen käytetyn sakkaroosin määrästä ja hydrolysoidun NF-retentaatin sisältämän laktoosin eräkohtaisesta vaihtelusta. Muuten koejogurtti oli täysin verrattavissa maustamattomaan jogurttiin, mikä tarkoitti sitä, että koeajo oli onnistunut.

Jatkossa voisi kokeilla uutta samanlaista koeajoa, jossa NF-retentaatin määrää pidettäisiin samana ja jogurttireseptiin lisättäisiin hieman sokeria tuomaan makeutta. Reseptissä käytettäisiin myös vähemmän laktoosia ja enemmän proteiinia sisältävää proteiinijauhetta jogurtin proteiinipitoisuuden ja rakenteen ylläpitämiseen.

Työssä tehtyjen pilottikokeiden ansiosta saatiin tutkittua, miten NF-retentaatti ja hapan hera sivuvirrat käyttäytyivät jogurtissa ja millaisia jogurtteja niitä käyttämällä voidaan valmistaa. Työssä opittiin myös valmistamaan jogurttia sekä kehittämään aseptisia työskentelymenetelmiä jogurttien säilyvyyden varmistamiseksi. Työssä ei keskitytty jogurttien valmistamisesta koituviin kustannuksiin sekä niiden säästämiseen, vaan työssä haluttiin selvittää hyödynnettävien sivuvirtojen mahdollinen potentiaali jogurttien valmistamisessa.

Pilottikokeiden koesarjassa 3 kokeiltu hapan hera osoittautui onnistuneeksi raaka-ainevalinnaksi jogurttien valmistamisessa. Koesarjasta valmistuneet reseptit 2 ja 3 olivat hyvin lähellä koesarjan vertailujogurttia, ja ne arvioitiin hyviksi makeudeltaan ja rakenteeltaan. Tulevaisuudessa happaman heran käyttäminen jogurtin valmistamisessa voisi kokeilla koeajamalla sitä tuotannossa samalla tavalla, kuten NF-retentaattiakin.

Lähteet

- 1 Meijeriteollisuus. Verkkoaineisto. Ammattinetti. <
<http://www.ammattinetti.fi/ammattialat/detail/25/3a997a1a0a65344600592b3c73ef40be>>. Luettu 30.1.2019.
- 2 Elovainio, Minna; Kankkunen, Päivi & Paanajärvi, Maarit. Tuotekehityspäällikkö. Arla Oy. Sipoo. Palaveri. 11.10.2018.
- 3 Acid whey: Is the waste product an untapped goldmine? Verkkoaineisto. <
<https://cen.acs.org/articles/95/i6/Acid-whey-waste-product-untapped.html>>. 13.2.2017. Luettu 17.10.2018.
- 4 Craack, Michael. 2018. Process & Product Design. Caramelization of lactose side-streams. Yrityksen sisäinen dokumentti. Arla Foods amba & Arla Oy.
- 5 Saarela, Anna-Maria; Hyvönen, Paula; Määttä, Sinikka & von Wright, Atte. 2010. Elintarvikeprosessit. 3. uudistettu painos. Kuopio. Suomen Graafiset Palvelut Oy Ltd.
- 6 Bylund, Gösta. 1995. Dairy processing handbook. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB.
- 7 Homogenointi. Verkkoaineisto. Milk Works. <
<http://www.milkworks.fi/oppimateriaali/kasittely-meijerissa/homogenointi/Sivut/default.aspx>>. Luettu 13.11.2018.
- 8 Usein kysytyt kysymykset. Homogenointi. Verkkoaineisto. Arla Oy. <
<https://www.arla.fi/yritys/yhteystiedot/usein-kysytyt-kysymykset1/>>. Luettu 13.11.2018.
- 9 Yoghurt Production. Verkkoaineisto. Milk Facts. <
<http://www.milk-facts.info/Milk%20Processing/Yogurt%20Production.htm>>. Luettu 13.11.2018.
- 10 Helminen, Pirjo. 2014. Jogurtin laadun hallinta. Maisterin tutkielma. Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos. HELDA-teitokanta. <
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/44859/Maisterin_tutkielma_Pirjo_Helminen_Helda.pdf>. s. 30 – 33.
- 11 Chandan, C. Ramesh. 2006. Manufacturing Yoghurt and Fermented Milks. Oxford: Blackwell Publishing Ltd. Britt, E. Erickson. 2017.
- 12 Soininen, Sari. 2018. DVS-hapatteiden annostelu. Yrityksen sisäinen dokumentti. Arla Oy.

- 13 Ala-Mettälä, Helena. Tuntematon aromimaailma antaa maku- ja tuoksuelämyksiä. 2014. Verkkoaineisto. Yle Uutiset. <<https://yle.fi/uutiset/3-7194654>>. 3.5.2014. Luettu 15.11.2018.
- 14 Tamime, A.Y. & Robinson, R.K. 2000. Yoghurt Science and technology. Second Edition. Woodhead Publishing Limited. Abington Hall.
- 15 Escherichia coli. 2016. Verkkoaineisto. Evira. <<https://www.evira.fi/elintarvikkeet/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikevaarat/ruokamyrkytykset/ruokamyrkytyksia-aiheuttavia-bakteereja/escherichia-coli/>>. 14.4.2016. Luettu 19.11.2018.
- 16 Viskositeetin määrittäminen Brookfield-viskosimetrillä. Verkkoaineisto. Laboratorioanalyysit. Opetushallitus. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/elintarvikeanalyysit_viskositeetti_brookfield.html>. Luettu 19.11.2018.
- 17 Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review. 2013. Verkkoaineisto. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4093403/>>. 26.9.2013. Luettu 8.10.2018.
- 18 Chenchiah, Marella; K, Muthukumarappan; L.E. Metzger. 2013. Application on Membrane Separation Technology for Developing Novel Dairy Food Ingredients. Food Processing & Technology. Volume 4, Issue 9. s. 1-5.
- 19 Concentrated fermented dairy products with membrane filtration. 2017. Verkkoaineisto. Tetra Pak Filtration solutions. Luettu 10.11.2018.
- 20 An overview of membrane applications in the dairy industry. 2007. Verkkoaineisto. New Food Magazine. Issue 2. <<https://www.newfoodmagazine.com/article/1378/an-overview-of-membrane-applications-in-the-dairy-industry/>>. 23.5.2007. Luettu 12.11.2018.
- 21 APV Systems. 2000. Membrane filtration and related molecular separation technologies. Denmark.
- 22 Quiming, Chen; Liming, Zhao; Lei, Yao; Waheed, Ahmad; Yun, Li & Zhen, Qin. 2018. The Application of Membrane Separation Technology in the Dairy Industry. State Key Laboratory of Bioreactor Engineering. s. 23 – 24.
- 23 Pennanen, Mauro. 2005. Kalvoerotustekniikka. Insco-seminaari. Yrityksen sisäinen dokumentti. Arla Oy.

- 24 Nyström, Marianne. 2005. Kalvotekniikan perusteet. Inco-seminaari. Yrityksen sisäinen dokumentti. Arla Oy.
- 25 Permeate – everything you need to know about milk standardization. 2012. Verkkoaineisto. Dairy Australia.
<<http://www.nutritionaustralia.org/national/resource/permeate-%E2%80%93-everything-you-need-know-about-milk-standardisation>>. Luettu 8.10.2018.
- 26 Meyer, Patricia; Petermeier, Johannes; Hartinger, Martin & Kulozik Ulrich. 2017. Concentration of Skim Milk by a Cascade Comprised of Ultrafiltration and Nanofiltration: Investigation of the Nanofiltration of Skim Milk Ultrafiltration Permeate. Food Bioprocess Technol. Issue 10. s. 469.
- 27 Dhineshkumar V & Ramasamy D. 2017. Review on membrane technology applications in food and dairy processing. Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering. Volume 3, Issue 5. s. 399–404
- 28 Smithers, Geoffrey W. & Augustin, Mary Ann. 2013. Advances in Dairy Ingredients. First Edition. Institute of Food Technologists. John Wiley & Sons, Inc.
- 29 Fox, F. Patrick; McSweeney, L.H. Paul; Cogan, M. Timothy & Guinee, P. Timothy. 2004. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Volume 1. General Aspects. London. Elsevier Ltd.
- 30 Walstra, Pieter; Wouters, Jan T. M. & Geurts. 2005. Dairy Science and Technology. Second edition. Chapman and Hall/CRC.
- 31 El-Gazzar, Fathy E & Marth, H. Elmer. 1991. Ultrafiltration and Reverse Osmosis in Dairy Technology: A Review. Journal of Food Protection. Volume 54, No. 10. s. 801–802.
- 32 Membrane Filtration in the Dairy Industry. Verkkoaineisto. GEA Process Engineering.
<https://www.gea.com/en/binaries/Membrane%20Filtration%20in%20the%20Dairy%20Industry_tcm11-18227.pdf>. Luettu 11.10.2018.
- 33 Mucchetti, Germano; Zardi, Giorgio; Orlandini, Fiorenzo & Gostoli, Carlo. 2000. The pre-concentration of milk by nanofiltration in the production of Quarg-type fresh cheeses. Le Lait, INRA Editions. s. 44.
- 34 Wiberg, Karin. 2015. Quality by Design based Optimization of the Hyrdolysis Process in Lactose-Free Milk Production. Master Thesis. Linköpings Universitet. s. 21–26.

- 35 Britz, Trevor J. & Robinson, Richard K. 2008. Advanced Dairy Science and Technology. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- 36 Value-added lactose free dairy processing. 2017. Verkkoaineisto. Tetra Pak Filtration Solutions. Luettu 5.10.2018.
- 37 Chemical characterization and application of acid whey in fermented milk. 2013. Verkkoaineisto. Journal of Food Science and Technology. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4375228/>>. 30.12.2013. Luettu 7.11.2018.
- 38 Acid whey pH and Nutrient Content. 2016. Verkkoaineisto. Cornell University Cooperative Extension. <<http://nmssp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet96.pdf>>. Luettu 5.11.2018
- 39 BUDAL UHT (Sodium Phosphates). Verkkoaineisto. Budenheim. Tuotekortti. <<https://www.ingredientsnetwork.com/budal-uht-sodium-phosphates-prod124859.html>>. Luettu 4.1.2019.
- 40 Pocket Refractometer PAL-1. Verkkoaineisto. ATAGO. Tuotekortti. <https://www.atago.net/en/pdf/tanpin-catalog/pal_en.pdf>. Luettu 14.11.2018.
- 41 Brix. 2018. Verkkoaineisto. Bakerpedia. <<http://bakerpedia.com/processes/brix/>>. Luettu 19.11.2018.
- 42 MilkoScan™ FT2. 2018. Verkkoaineisto. FOSS. Tuotekortti. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwi11PaEjaTgAhUI6CwKHYCqDSYQFjABegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fwww.fossanalytics.com%2F%2Fmedia%2Ffiles%2Fdocuments%2Fbrochuresanddatasheets%2Fproducts%2Fmilkoscan-ft2%2Fmilkoscan-ft2-solution-brochure-gb.pdf&usg=AOvVaw08SfN6_L_Y3xTUFnrT189>. Luettu 29.1.2019.
- 43 FTIR-spektroskopia. Verkkoaineisto. AEL. <<https://www.ael.fi/koulutustarjonta/ftir-spektroskopia>>. Luettu 5.2.2019.
- 44 Detailed Descriptions: Milk Component Analysis and Test Capabilities. Verkkoaineisto. University of Kentucky. <http://www.rs.uky.edu/regulatory/milk/milk_lab/LabTestProcedures.php>. Luettu 29.1.2019.
- 45 PHM210 Standard pH Meter. Verkkoaineisto. Radiometer Analytical S.A. <<https://hyxo.fi/products/documents/4fdf1f1095466/PHM210Standard-pHmeterENG.pdf>>. Luettu 4.2.2019.

- 46 DV2T EXTRA Touch Screen Viscometer. Verkkoaineisto. AMETEK Brookfield. Tuotekortti.
<<https://www.brookfieldengineering.com/products/viscometers/laboratory-viscometers/dv2t-extra-touch-screen-viscometer>>. Luettu 4.2.2019.

Liite 1. NF-retentaatin koostumusanalyysi (Eurofins)

Ravintoaineet			Tulos (MU)	Oletettu pitoisuus
FL015	FL	Rasva, elintarvikkeet	Menetelmä : Sisäinen menetelmä LAB-M1813, Gravimetrisen	Gravimetrisen
(a)	Rasva		<0,2 g/100 g	0,1 %
FL033	FL	Kosteus (elintarvikkeet, rehut)	Menetelmä : NMKL 23:1991, mod. Gravimetrisen	
(a)	Kosteus		86,0 (± 6,0) g/100 g	
FL036	FL	Proteiini (Kjeldahl)	Menetelmä : NMKL 6:2003, mod. Kjeldahl (titraus)	
(a)	Proteiini (N x 6,25)		0,3 (± 0,02) g/100 g	0,2 - 0,3 %
FL037	FL	Tuhka (elintarvikkeet, rehut)	Menetelmä : NMKL 173:2005, mod. Gravimetrisen	
(a)	Tuhka		0,8 (± 0,1) g/100 g	0,7 - 0,8 g/100 g
FL052	FL	Hiilihydraatit (laskennallinen)	Laskennallinen	
	Hiilihydraatit (lask.)		12,9 g/100 g	
FL053	FL	Energiasisältö	Menetelmä : EU dir. 90/496/EY Laskennallinen	
	Energiasisältö, kcal		53 kcal/100 g	
	Energiasisältö, kJ		225 kJ/100 g	
LP00F	LW	Glukoosi	Menetelmä : AOAC 982.14, mod. HPAEC-PAD	
(a)	Glukoosi		<0.04 g/100 g	
LP00E	LW	Galaktoosi	Menetelmä : AOAC 982.14, mod. HPAEC-PAD	
(a)	Galaktoosi		<0.04 g/100 g	
LP00D	LW	Fruktoosi	Menetelmä : AOAC 982.14, mod. HPAEC-PAD	
(a)	Fruktoosi		<0.04 g/100 g	
LP00Q	LW	Sakkaroosi	Menetelmä : AOAC 982.14, mod. HPAEC-PAD	
(a)	Sakkaroosi		<0.04 g/100 g	
FL064	FL	Laktoosi (laktoosia sisältävät tuotteet)	LOQ 0.04 g/100 g Menetelmä : Sisäinen menetelmä, IC-PAD	IC-PAD
(a)	Laktoosi		11,95 (± 2,39) g/100 g	14 - 15 %
LP025	LW	Laktoosi, laktoositon (LOQ 0.01g/100g)	Menetelmä : AOAC 982.14, mod. IC-EC	
(a)	Laktoosi		12.8 (± 3,2) g/100 g	
LP00L	LW	Maltoosi	Menetelmä : AOAC 982.14, mod. HPAEC-PAD	
(a)	Maltoosi		<0.04 g/100 g	
LW0U5	LW	Sokerit yhteensä (analysoidut)	Laskennallinen	
	Sokerit yhteensä		12.8 g/100 g	
SL0AC	SL	Natrium (Na), elintarvikkeet	Menetelmä : EN ISO 17294-2:2016 / EN 13805:2014	ICP-MS
(a)	Natrium (Na)		490 (± 123) mg/kg	400 - 500 mg/kg
LW04E	LW	NaCl laskettuna natriumista	Laskennallinen	
	Natrium ruokasuolaksi (NaCl) laskettuna		0.12 g/100 g	
SL03C	SL	Kalsium (Ca), elintarvikkeet, >20 mg/kg	Menetelmä : EN ISO 17294-2:2016 / EN 13805:2014	ICP-MS
(a)	Kalsium (Ca)		920 (± 230) mg/kg	800 - 1000 mg/kg
Lausunto (ei kuulu akkreditoinnin piiriin)				
Ruokasuolapitoisuus (NaCl) on laskettu natriumista seuraavasti: suola NaCl = natrium x 2.5 (EU-asetus 1169/2011).				

Liite 2. Jogurtin rakenne- ja flavoriominaisuuksien kuvailu**JOGURTIN RAKENNE- JA FLAVORIOMINAISUUKSIEN KUVAILU****Rakenne****Paksuus lusikalla**

Ota jogurttia lusikkaan ja pudota lusikasta takaisin purkkiin. Toista muutaman kerran. Ohut jogurtti valuu nauhana ja nopeasti lusikasta, mutta paksu jogurtti valuu klimppeinä ja hitaasti.

Paksuus suussa

Ohut jogurtti tuntuu vetiseltä ja sulaa nopeasti suussa, mutta paksu jogurtti viipyy pitkään kielen päällä.

Suutuntuman tasaisuus

Jos jogurtti ei ole massaltaan sileä ja tasainen, vaan siinä on erillisiä kielellä havaittavia hiukkasia, voi se tuntua suussa jauhomaiselta tai rakeiselta.

Maku/flavori**Maun happamuus**

Happamuus on yksi perusmauista ja se aistitaan kielen päällä. Jogurtti valmistetaan maitoa hapattamalla, joten se on aina jonkin verran hapanta verrattuna maitoon. Jos jogurtti on vain hieman hapan, laita merkki asteikon vasempaan laitaan. Jos taas jogurtti on erittäin hapan, laita merkki asteikon oikeaan laitaan.

Maun makeus

Makeus on yksi perusmauista ja se aistitaan kielen päällä. Jogurtin makeus aiheutuu osittain maidon omista sokereista (laktoosi ja sen hajoamistuotteet) ja osittain lisätyistä sokereista tai keinotekoisista makeutusaineista. Maustamaton jogurtti maistuu yleensä hieman makealta johtuen maidon sokereista.

Virhemaun voimakkuus

Jos aistit jogurtissa virhemakua, nimeä se ja arvioi sen voimakkuus. Jollei virhemakua ole, laita merkki asteikon vasempaan laitaan.

Liite 3. Aistinvaraisen arvioinnin lomake**Jogurttien ominaisuuksien arviointilomake**

OMINAISUUKSIEN VOIMAKKUUDEN ARVIOINTI Arvioijanumero: _____

Näytteiden arviointijärjestys: _____

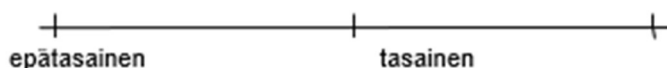
Tehtävänä on arvioida näytteiden ominaisuuksien voimakkuus.

Suorita arviointi ominaisuus kerrallaan: arvioi ensin jokaisesta näytteestä ominaisuuden 1 voimakkuus, sitten jokaisesta ominaisuuden 2 voimakkuus jne.

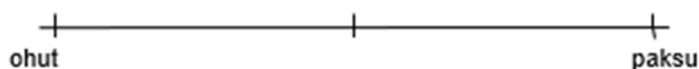
Merkitse jana-asteikolle poikkiviiva ja näytteen koodi ominaisuuden voimakkuutta kuvaavaan kohtaan.

Maustamattomat jogurtit**Ulkonäkö**

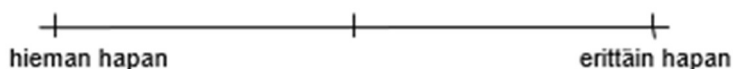
1) Massan tasaisuus (epätasaisessa rahkassa on mattaisuutta, hiutaleita, rakeita)

**Rakenne lusikalla**

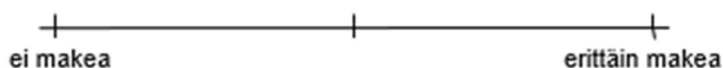
2) Paksuus lusikalla

**Maku (flavori)**

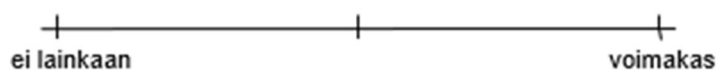
3) Happamuus



4) Makeus



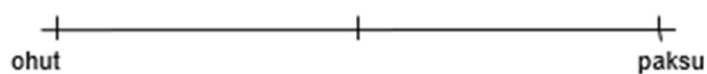
5) Virhemaun voimakkuus



Mikä? _____

Rakenne suussa

6) Paksuus suussa



7) Tasaisuus/sileys suussa



Liite 4. Koesarjojen 1 – 3 valmistuksen aikana mitatut pH-arvot

