



Jogurtin jäähdytyksen optimointi

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Insinööri (AMK), bio- ja elintarviketekniikka
syksy 2024
Tom Elovaara

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Valio Oy Riihimäen R2-tehdas. Tilaaja oli tunnistanut jäähdytysvaraston läpivirtauksen tuotantokapasiteettia rajoittavaksi tekijäksi. Työn tavoite oli selvittää millä keinoilla jogurtituotteita voitaisiin jäähdyttää alhaisempaan lämpötilaan ennen kuin ne siirretään jäähdytysvarastoon ja selvittää voidaanko tällä nopeuttaako tuotteiden läpivirtausta jäähdytysvarastosta. Oleellista oli, että tuotteiden laadulliset ominaisuudet säilyvät ennallaan.

Työ rajattiin yhteen, määrällisesti merkittävään jogurttimassaan. Tutkimuksessa muutettiin jogurtin kypsytysvaiheen jälkeen tehtävän jäähdytyksen lämpötilaa ja pyrittiin löytämään mahdollisimman alhainen jäähdytyslämpötila, jossa tuotteen rakenteelliset ominaisuudet eivät kärsi. Tutkimus suoritettiin pienenmittakaavan koeajolaitteistolla ja näitä tuloksia on tarkoitus hyödyntää myöhemmin tuotantomittakaavan koeajoa varten. Koesarjoissa tutkittiin sekä maustamattoman, että hillolla maustetun jogurtin rakenteellisiä muutoksia. Mittaustuloksia seurattiin 30 vuorokauden ajan, joka vastasi tuotteen säilyvyysaikaa. Mitattaviksi parametreiksi valittiin tuotteen pH, viskositeetti ja mahdollisen erottuvan heran määrän mittaaminen. Jäähdytysvaraston jäähdytysnopeutta seurattiin tuotteeseen sijoitetuilla lämpötilanmittausloggereiden avulla.

Teoreettisen viitekehyksen mukaan liian alhainen lämpötila kypsytyksen jälkeisessä jäähdytyksessä aiheuttaa synereesiä jogurttimassalle. Ilmiö saatiin kokeessa todennettua ja tämän pohjalta jäähdytyslämpötilalle löydettiin alaraja, jota kylmemmäksi jogurtia ei kannata jäähdyttää kypsytyksen jälkeen.

Kuitenkin lopullisen raja-arvon löytäminen edellyttää vielä tuotantomittakaavan laitteistolla koeajoja ja näytteiden rakenteen seuraamista. Tämän jälkeen olisi mahdollista arvioida tarkemmin, kuinka paljon tuotteiden läpivirtaus nopeutuisi jäähdytysvaraston kautta. Jäähdytysvaraston tehokkuuden kannalta olisi suositeltavaa tehdä lisämittauksia ja selvittää tarkemmin tuotteiden todellista jäähtymisaikaa, sillä kokeessa tehdyt mittaustulokset poikkesivat oletetusta jäähtymisnopeudesta huomattavasti.

This thesis was commissioned by Valio Oy Riihimäki R2 factory. Since the commissioner identified its cooling storage capacity most challenging in the yogurt manufacturing process, the aim of the thesis was to find out how yogurt products could be cooled to a lower temperature before transferring them to the cooling storage without compromising the quality of the product.

Typically, the stirred yoghurt mass is cooled to 20 degrees after incubation and cooling lower than 15 degrees may cause syneresis. The practical part of the study involved a series of trials of stirred yogurt at different cooling temperatures after the incubation phase. The samples of the test series were analysed for 30 days, which corresponds to the shelf life of the product. The measuring properties chosen were pH, viscosity and the amount of separated whey. The cooling rate of the cooling store was monitored by temperature loggers which were placed in the product.

According to the literature review, too low a cooling temperature causes a lower viscosity to the stirred yogurt mass. This was verified in the experiment and the maximum temperature for the cooling, that is, below which yoghurt should not be cooled after the incubation, was determined. However, in order to find the final limit value, it would be advisable to repeat the experiment at the production scale and ensure the correct cooling temperature. In addition, a more detailed study of the cooling time of the cold storage is recommended. This would provide more accurate information on the cooling time and allow a better comparison of the importance of cooling after incubation.

Keywords Stirred yogurt, cooling, texture
Pages 30 pages and appendix 1 page

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Jogurtti	2
2.1	Jogurttityypit	2
2.2	Jogurtin rakenne ja koostumus	3
2.3	Jogurttihapatteet	4
3	Jogurtin valmistusprosessi ja -laitteistot	4
3.1	Jogurttimaidon vakiointi	6
3.2	Ilmaerotus	6
3.3	Homogenisointi	7
3.4	Lämpökäsittely ja pastörointi	7
3.5	Hapatteiden lisäys ja kypsytytys	8
3.6	Jäähdytys	8
3.7	Maustaminen ja pakkaus	9
3.8	Varastointi ja jakelu	10
4	Lämmön siirto ja jäähdytys	10
4.1	Lämmönvaihdin	10
4.2	Lämmönvaihtimet jogurtinvalmistuksessa	11
5	Tutkimuksellinen osuus	12
5.1	Jäähdytyslämpötilan muutoksen koeajo	13
5.2	Loppujäähdytyksen seuranta	15
6	Tulokset	17
6.1	pH-tulokset	17
6.2	Viskositeettitulokset	19
6.3	Heran erottumisen tulokset	22
6.4	Loppujäähdytyksen tulokset	25
7	Johtopäätökset ja pohdinta	28
	Lähteet	30

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Seosjogurtin valmistuksen vuokaavio. (Bylund, 2003, ss. 262–265; Walstra ym., 1999, ss. 530–531)	6
Kuva 2. Levylämmönvaihtimen toimintaperiaate (Alfa Laval, 2024).....	11
Kuva 3. Koeajon prosessikaavio.	14
Kuva 4. Nappiloggerit.....	16
Kuva 5. Vuokaavio tuotteen pakkauksesta ja lavauksesta.	16
Kuva 6. Maustamattoman jogurtin pH:n muutos.....	18
Kuva 7 Hillolla maustetun jogurtin pH:n muutos.	19
Kuva 8 Maustamattoman jogurtin viskositeettitulokset.	20
Kuva 9 Maustamattoman jogurtin viskositeettitulokset sekoitetusta näytteestä.	21
Kuva 10 Hillolla maustetun jogurtin viskositeettitulokset.....	21
Kuva 11. Hillolla maustetun jogurtin viskositeettitulokset sekoitetuista näytteistä.	22
Kuva 12. Näytepikarista erotetun heran mittausta.....	23
Kuva 13. Heran erottuminen maustamattomassa jogurtissa.	24
Kuva 14. Heran erottuminen maustetussa jogurtissa.	25
Kuva 15. Lämpötilan seuranta 1 kg tuotteessa, loggeri sijoitettu reunimmaiseen tuotteeseen.	26
Kuva 16. Lämpötilan seuranta 1 kg tuotteessa, loggeri sijoitettu keskimmäiseen tuotteeseen.	26

Kuva 17. Lämpötilan seuranta 200 g tuotteessa, loggeri sijoitettu reunimmaiseen pakkaukseen. 27

Kuva 18. Lämpötilan seuranta 200 g tuotteessa, loggeri sijoitettu keskimmäiseen pakkaukseen. 28

Liitteet

Liite 1. Aineistonhallintasuunnitelma

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, voidaanko jogurttimassan kypsytyksen jälkeisellä jäähdytyksellä nopeuttaa tuotteen läpimenoaikaa jäähdytysvarastosta ulos ja lisätä tämän seurauksena tuotannon kapasiteettia. Lisäksi tarkoituksena on selvittää mikä on alin mahdollinen jäähdytyslämpötila kypsytyksen jälkeen, missä tuotteen rakenne ei vielä heikkene.

Opinnäytetyön tilaajana on Valio Riihimäki R2-tehdas. Riihimäen Valion R2-tehtaalla valmistetaan kasvi- ja maitopohjaisia välipaloja, kuten jogurtteja. R2-tehdas aloitti toiminnan 2017, mutta jogurttivalmistusta Riihimäen Valiolla on ollut jo vuodesta 1968. (Valio, 2023) Työssä tutkittiin tavanomaista sekoitettua jogurttia, joka on tyypiltään perinteinen ja rakenteeltaan stabiili. Tuote on myös volyymiltaan merkittävä, joten tutkimuksen onnistuessa olisi mahdollista saavuttaa laajempi hyöty.

Aihe on tärkeä, koska jäähdytysvarasto on osoittautunut prosessissa kapasiteettia rajoittavaksi tekijäksi, joka näkyy sujuvan tuotannon hidasteena. Alkuvaiheessa ei tiedetty, kuinka viileäksi kypsytyksen jälkeinen jäähdytys on mahdollista tehdä tuotantolaitteistolla, eikä tuotteen rakenteen säilymisen kannalta alinta jäähdytyslämpötilaa. Teoreettisen viitekehukseen perustuen, tyypillinen kypsytyksen jälkeinen jäähdytys tehdään 15–20 °C. (Bylund, 2003, ss. 264–265) Liian alhainen jäähdyttäminen aiheuttaa jogurttimassalle rakenteellisia ongelmia, kuten heran irtoamisen saostuneesta jogurttimassasta. (Chandan & Kilar, 2013, s. 242)

Kokeellinen osuus suoritettiin koeajona pienemmässä mittakaavassa, koeajolaitteistolla. Näiden tulosten pohjalta arvioitiin kokeen suorittamista tuotantomittakaavassa, kun on saatu riittävät tulokset jäähdytyksen vaikutuksista tuotteen rakenteelle. Koeajo näytteistä mitattiin pH, jonka avulla seurattiin, poikkeako tuotteiden jälkihappaneminen verrokinäytteestä. Lisäksi näytteistä mitattiin viskositeettia ja rakenteesta erottuvan heran määrää. Viskositeettiarvon pohjalta voitiin tutkia rakenteen paksuutta ja heran erottumisen seurannalla haluttiin varmistua rakenteen säilymisestä. Näytteiden tutkiminen koko säilyvyysajan ajan oli tärkeää, sillä edellä mainittujen tutkimuskohteiden muutokset tapahtuvat hitaasti. Lisäksi haluttiin tutkia maustamattoman ja maustetun tuotteen eroavaisuuksia, parantaako hillo tuotteen rakenteellisia ominaisuuksia.

Työlle asetetut tutkimuskysymykset:

1. Kuinka paljon jogurttia voidaan jäähdyttää kypsytyksen jälkeen, ilman että tuotelaatu vaarantuu?
2. Saadaanko kypsytyksen jälkeisellä jäähdytyksen lisäämisellä nopeutettua tuotteen läpimenoaika jäähdytysvarastossa?

Työn tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa muiden jogurttituotteiden jäähdytysprosessin optimoinnissa.

optimoinnissa.

2 Jogurtti

Jogurtti on yleisin ja maailmanlaajuisesti parhaiten tunnettu hapanmaitovalmiste. Sen kulutus on suurinta välimerenalueella, Aasiassa ja Keski-Euroopassa. Jogurtin koostumus ja makumaailma vaihtelevat riippuen siitä, missä päin maailmaa sitä valmistetaan. Jogurttia voidaan valmistaa perinteisen tyylin lisäksi myös jäädytetyksi jälkiruuaksi ja juotavaksi jogurtiksi. (Bylund, 2003, s. 257; Walstra ym., 1999, s. 526)

Suomessa jogurtin valmistusta on kokeiltu jo 1930-luvulla, mutta happaman makuinen maustamaton jogurtti ei saavuttanut kuluttajien suosiota. Toisin kuitenkin kävi, kun Valio aloitti 1968 maustettujen jogurttien valmistuksen Riihimäellä Herajoen meijerissä. Alussa makuvaihtoehtoja oli neljä kappaletta, maustamaton, ananas, mansikka ja mustikka. (Valio, 2018) Valion perässä Ingman, nykyinen Arla aloitti myös jogurtin valmistuksen pari vuotta myöhemmin vuonna 1970. Maustettujen jogurttien maut olivat samat kuin Valiollakin. (Arla n.d.)

2.1 Jogurttityypit

Jogurttityylejä ja tyypejä ovat muokanneet kuluttajien mieltymykset sekä muutokset elämäntavoissa ja ruokavaliossa. Aikanaan suurin muutos on ollut maustettujen jogurttien saapuminen markkinoille. Tämän jälkeen on tullut ruokavalion mukaisia vaihtoehtoja, kuten tuotteiden rasvapitoisuuden mukaan vähärasvaiset ja rasvattomat vaihtoehdot. Elämäntapojen muutoksen myötä markkinoille on tullut juotavia- ja välipalatyylisiä jogurtteja. (Chandan & Kilar, 2013, s. 263)

Jogurtin koostumus ja makumaailma vaihtelevat riippuen missä päin maailmaa sitä valmistetaan. Rakenteellisilta ominaisuuksiltaan jogurtti voi olla viskositeetiltaan paksua ja toisaalta pehmeän geelimäistä, jopa juotavaa. Jogurttia voidaan valmistaa myös jäädytettäväksi jälkiruuaksi. (Bylund, 2003, s. 257)

Taulukossa (Taulukko1) esitellään tyypillisimmät jogurtityypit ja niiden ominaisuudet.

Taulukko 1. Jogurtityypit ja ominaisuudet (Bylund, 2003, s. 257; Chandan & Kilar, 2013, ss. 287, 292; Walstra ym., 1999, ss. 533–535)

Jogurtityyppi	Valmistustapa	Ominaisuudet/rakenne
Set type	kypsytetään ja jäädytetään pakkauksessa	kiinteä/lohkeava
Stirred type, sekoitettu	kypsytetään säiliössä, jäähditys tehdään kaksivaiheisesti, kypsytyksen ja pakkauksen jälkeen.	sileä, viskoosinen
Juotavat jogurtit	vastaava kuin stirred type, mutta rakennetta rikotaan mekaanisella käsittelyllä ennen pakkausta.	nestemäinen
Jogurtijäädysteet	kypsytetään säiliössä, jonka jälkeen jäädytetään, pakataan ja karkaistaan	kiinteä
Konsentroidut jogurtit	kypsytetään säiliössä, jonka jälkeen separoidaan hera pois, jäädytetään ja pakataan.	paksu, puolikiinteä

2.2 Jogurtin rakenne ja koostumus

Säiliössä kypsytettävän jogurtin koostumus muistuttaa paksua vaniljakastikkeen kaltaista rakennetta. Se on pehmeää, lusikoitavaa ja hyytymän on oltava sileää ja tiivistä, mutta sen on rikkouduttava helposti lusikoitaessa. (Chandan & Kilar, 2013, s. 242)

Koostumuksellisia virheitä, joita rakenteessa ei haluta olevan ovat: synereesi, kokkareisuus, ryynimäisyys, löysyys, saostuman avoin rakenne tai ilma-/kaasutilat rakenteessa. Synereesi tarkoittaa heran erottumista jogurtisaostumasta omaksi faasiksi tuotteen pintaa. (Chandan & Kilar, 2013, s. 242)

2.3 Jogurttihapatteet

Jogurtin hapattamisessa käytetään termofiilisiä hapatteita, joiden kasvulämpötila on 37–45 °C. Yleisimmät jogurttihapatteet ovat *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* ja *Streptococcus thermophilus*. (Tamime, 2006, s. 62; Aho & Hildèn, 2007, s. 54) *S.thermophilus* kasvaa nopeammin maidossa kuin *Lb. delbrueckii subsp. bulgaricus* ja muodostaa päätuotteena maitohappoa. Samalla vapautuu hiilidioksidia, kun ureaasi pilkkoo maidon ureaa ja muurahaishappoa. Nämä kaikki aineenvaihdunnan tuotteet parantavat puolestaan *Lb. delbrueckii subsp. bulgaricus*:sen kasvua. Bakteerit hyötyvät toisistaan, joka näkyy happanemisprosessin monin kertaisena nopeutumisena. Edellä mainitut bakteerit muodostavat jogurtille myös sen tyypillisen makuprofiilin. (Tamime, 2006, ss. 64–65)

HAMK:in oppimateriaalissa hapanmaitovalmisteet (henkilökohtainen tiedonanto, 5.11.2023) happanemista on kerrottu seuraavaa. Hapatteiden reaktiota maidossa kutsutaan maitohappokäymiseksi. Käyminen voi olla homofermentatiivista, jolloin muodostuu vain yhtä lopputuotetta eli maitohappoa tai heterofermentatiivista, jolloin lopputuloksena syntyy kahta tai useampaa tuotetta. Reaktiossa lähtöaineena on maidon laktoosi, jonka hapatebakteerit pilkkovat monosakkaridiksi. Heterofermentatiivisissa reaktioissa lopputuotteena syntyy maitohapon lisäksi esimerkiksi hiilidioksidia, etikkahappoa, muurahaishappoa. Syntyneiden aineiden lisäksi maidon happamuus kasvaa, jonka seurauksena kaseiinit saostuvat ja muodostavat rakennetta tuotteeseen.

3 Jogurtin valmistusprosessi ja -laitteistot

Jogurtin valmistusprosessi alkaa maidon valinnasta. Länsimaissa on yleisimmin käytetty lehmän maitoa, mutta lampaan, vuohen tai puhvelin maitoa voidaan myös käyttää jogurtin valmistuksessa. (Tamime, 2006, s. 56)

Maito on koostumukseltaan monipuolinen ravintoaine ja tämän vuoksi se tarjoaa hyvät kasvuolosuhteet haitallisilla, kuin myös hyödyllisille mikrobeille. (Aho & Hildèn, 2007, s. 40)

Tämän vuoksi jogurtissa käytettävän maidon tulee olla mahdollisimman korkealaatuista ja sisältää mahdollisimman pienen bakteeripitoisuuden. (Bylund, 2003, s. 258)

Taulukossa (Taulukko 2) on esitetty lakisääteiset vaatimukset raakamaidon laadullisille ominaisuuksille.

Taulukko 2. Raakamaidon lakisääteiset laatuvaatimukset (Aho & Hildèn, 2007, s. 13)

Ominaisuus	Laatuvaatimus	Hylkäysraja
Estoainejäämät (antibiootti)	negatiivinen (-)	positiivinen tulos
Haju/ulkonäkö	4-5 pistettä	1-2 pistettä
Lämpötila	0-6°C (tavoite < 4 °C)	
Jäätymispisteen alenema	-0,512 – -0,560 °C	
Fosfataasiaktiivisuus	+	
Somaattiset solut	≤ 400 000 solua/ml (tavoite <250 000)	
Bakteerien pesäkemäärä	≤ 100 000 pmy/ml (tavoite <50 000)	

Kuvassa (Kuva 1) on esitetty tyypillinen stirred type eli säiliössä kypsytettävän seosjogurtin valmistuksen prosessikaavio. Tässä huomioitavaa on, että jogurttimassan jäähdytys tehdään kahdessa vaiheessa. Kypsytyksen jälkeen jogurttimassa jäähdytetään noin + 20 °C lämpötilaan ja pakkauksen jälkeen alle +8 °C lämpötilaan.

Kuva 1. Seosjogurtin valmistuksen vuokaavio. (Bylund, 2003, ss. 262–265; Walstra ym., 1999, ss. 530–531)



3.1 Jogurttimaidon vakiointi

Jogurtin valmistusprosessi alkaa jogurtinvalmistuksessa käytettävän maidon vakioinnilla. Tyypillisesti tavoiteltu rasvapitoisuus jogurtin valmistuksessa käytettävällä maidolla on 0,5–3,5 % välillä ja rasvaton kuiva-ainepitoisuus vähintään 8,2 %. Maitoon voidaan lisätä myös sokereita, kuten sakkaroosia tai glukoosia tai käyttää makeutusaineita. (Bylund, 2003, ss. 258–259)

Jogurttimaitoon voidaan käyttää stabiloivia aineita, jotka sitovat vettä. Tämä parantaa viskositeettia, rakennetta ja suutuntumaa sekä auttavat estämään heran erottumista jogurtista. Stabiloivia aineita on monia, mutta tyypillisimpiä ovat gelatiini, pektiini, tärkkelys, heraproteiiniitivistet ja polysakkaridit. (Bylund, 2003, ss. 258–259, Hui ym., 2004, ss. 156–157)

3.2 Ilmaerotus

Hapatetuissa maitovalmisteissa käytettävän maidon pitää sisältää mahdollisimman vähän ilmaa, jonka vuoksi maito käsitellään ilmanerottelijan avulla. Ilman poiston etuina ovat paremmat muokkaus ominaisuudet homogenoinnissa, pienempi riski levylämmönvaihtimen

likaamisessa ja parempi viskositeetti. Myös sivumakujen poistaminen sekä lyhyempi kypsytysaika ovat ilmanerotuksen etuja. (Bylund, 2003, s. 260)

Ilmanerotus vaatii maidon esilämmityksen pastöörillä noin 68 °C lämpötilaan. Ilmanerotus tapahtuu paisuntasäiliössä alipaineen avulla. Käsittelyn tehostamiseksi maito syötetään säiliöön reunoja pitkin ohuena kalvona. Maidossa olevat kaasut ikään höyrystyvät pois ja maito laskeutuu säiliön pohjalle ja pumpataan homogenisaattorille. Höyrystyneet kaasut poistetaan alipaineen avulla säiliöstä. (Bylund, 2003, s. 151)

3.3 Homogenisointi

Homogenoinnin päätarkoitus on estää maidon kermoittuminen kypsymisen aikana eli rasvan nousemista tuotteen pintaan. Homogenointi yhdessä 90–95 °C lämpötilassa ja noin viisi minuuttia kestävä lämpökäsittely, vaikuttavat positiivisesti tuotteen viskositeettiin. Korkeampi lämpökäsittely homogenisoinnin kanssa tekee suuremman viskositeetin tuotteelle. (Bylund, 2003, s. 260) Homogenointi parantaa myös jogurtin saostuman stabiilisuutta ja ehkäisee heran irtoamista rakenteesta. (Tamime, 2006, ss. 60–61)

Homogenisaattori sijoitetaan prosessissa yleensä ensimmäisen regenerointiosaston jälkeen, ennen varsinaista pastörintiosastoa, sillä homogenointi on tehokkainta, kun rasvafaasi on nestemäisessä muodossa. (Chandan & Kilar, 2013, s. 241) Homogenoinnissa maitovirta puristetaan kovalla paineella 70-250bar pienen kanavan läpi, jolloin rasvapalloset venyvät rihmoiksi ja paine palloissa kasvaa. Paine laskee nopeasti homogenointipään jälkeen ja rasvarihmat pirstoutuvat pieniksi rasvapalloiksi. Paine muodostetaan sylintereissä mäntien avulla ja vastapaine muodostetaan kiristämällä homogenointipäätä istukkaa vasten. (Aho & Hildèn, 2007, ss. 67–70) Homogenisaattori voi olla yksi- tai kaksivaiheinen, jolloin yksivaiheisessa homogenoinnissa on käytössä yksi homogenointiventtiili ja kaksivaiheisessa on kaksi homogenointiventtiiliä peräkkäin. (Chandan & Kilar, 2013, s. 241) Toisen vaiheen homogenoinnissa on tarkoituksena estää ensimmäisessä vaiheessa saatujen rasvapallosten joukkioituminen. (Aho & Hildèn, 2007, s. 70)

3.4 Lämpökäsittely ja pastörinti

Lämpökäsittelyssä tuhoetaan patogeeniset kasvustot ja suurin osa kaikista maidon sisältämistä mikro-organismeista. Samalla maidossa luonnostaan olevat entsyymit inaktivoituvat. Mikrobiologisesta näkökulmasta katsottuna kilpailevien mikrobien tuhoaminen

lämpökäsittelyllä luo otolliset olosuhteet, jossa toivotut jogurttibakteerit kasvavat. (Chandan & Kilar, 2013, s. 239)

Lämpökäsittelyssä maidon heraproteiinit denaturoituvat. Denaturoituneet heraproteiinit muodostavat kaseiinimisellien pinnalla olevien k-kaseiinien kanssa ristsidoksia. Tämä parantaa valmiin jogurtin saostuman kiinteyttä ja vähentää heroittumisen riskiä lopputuotteessa. Optimaaliset ominaisuudet 90–95 °C lämpötilalla ja viisi minuuttia kestäväällä yhdistelmällä. (Bylund, 2003, s. 260; Hui ym., 2004, s. 158)

3.5 Hapatteiden lisäys ja kypsytytys

Lämpökäsittelyn jälkeen maito jäähdytetään tyypillisesti 40–45 °C lämpötilaan ja siirretään kypsytystankkiin. Maitovirran sekaan annostellaan hapatteet, jonka jälkeen maitoa ja hapatetta sekoitetaan hetken aikaa. Tyypillisesti kypsytyisaika on 3–5 tuntia 42–43 °C lämpötilassa, riippuen käytettävästä hapatteesta. (Bylund, 2003, ss. 263–264) Jogurttia voidaan kypsyttää matalammalla, 32–37 °C lämpötilalla. Matalampi lämpötila-alue mahdollistaa tasaisen haponmuodostuksen ja täyteläisemmän maun, jolloin heran irtaaminen, rakeinen rakenne ja liiallinen happamoituminen ovat vähäisempää. Matalammassa lämpötilassa kuitenkin kypsytyisaika kasvaa. Yli 45 °C kypsytyslämpötiloista voi aiheutua lopputuotteelle heran erottumisongelmaa. Tämä johtuu siitä, että nopea happamoituminen johtaa proteiinihiukkasten tiheään aggregoitumiseen, jolloin sitoutuneen veden määrä vähenee. Korkea lämpötila suosii yleisesti LB-suvun mikrobeja, mikä voi johtaa epätoivottuun hapatteiden kasvuun ja makuun. (Chandan & Kilar, 2013, s. 255)

Kypsytyksen aikana maidon pH laskee noin 6,6:sta 4,2–4,7 pH-arvoon. Kypsytytys lopetetaan 4,2–4,7 pH-alueella, riippuen tavoitellusta lopputuloksesta tai tuotteen ominaisuudesta. Tämän jälkeen jogurtti on jäähdytettävä, jotta kypsyminen ja hapantuminen päättyy. (Bylund, 2003, s. 264; Lee & Lucey, 2004, s. 3153)

3.6 Jäähdytys

Kypsytyksen jälkeen jogurtti jäähdytetään 15–22 °C lämpötilaan, jonka seurauksena jogurtin hapatteiden aktiivisuus laskee ja lähes pysähtyy. (Bylund, 2003, s. 264; Robinson ym., 2006, s. 68) Tässä vaiheessa muodostunut jogurtinsaostuma voidaan altistaa mekaaniselle muokkaukselle, jotta lopputuotteen rakenne ja ulkonäkö saadaan parhaaksi mahdolliseksi.

Tuotelinjaan ennen jäähdytintä voidaan asentaa siivilä tai rakenteenmuokkausventtiili, joiden avulla rakennetta muokataan. (Bylund, 2003, s. 264)

Tyypillisesti jäähdytyksessä käytetään joko putki- tai levylämmönvaihdinta, joista jälkimmäinen on parempi vaihtoehto, koska sen mekaaniset muokkausominaisuudet ovat vähäisemmät. (Bylund, 2003, s. 264) Putkilämmönvaihtimessa virtauksen pitää olla suurempi kuin levylämmönvaihtimessa, jotta saavutetaan parempi lämmönsiirto. Tämän vuoksi massan rakenne voi kärsiä putkilämmönvaihdinta käytettäessä. Perustuu HAMI:n oppimateriaaliin meijerituotteiden valmistus, lämmönsiirtotekniikat. (henkilökohtainen tiedonanto, 2023) Prosessi tulisi mitoittaa niin, että kypsytetyn tuotteen jäähdytykseen kuluisi 20–30 minuuttia, jolloin tuotteen laatu pysyy yhtenäisenä. Jäähdytetty tuote siirretään usein välisäiliöön, ennen pakkauskoneelle siirtämistä. (Bylund, 2003, s. 264)

3.7 Maustaminen ja pakkaus

Jogurtin maustaminen voidaan tehdä samalla, kun tuotetta pumpataan välisäiliöstä pakkauskoneelle. Maustamisessa käytetään erilaisia aromeja, hedelmä- tai marjapohjaisia hilloja. Annostelu tapahtuu suoraan tuotelinjaan ja sekoitetaan esimerkiksi linjaan asennettavan mikserin avulla. (Bylund, 2003, s. 264)

Jogurtti voidaan pakata erityyppisillä pakkauskoneilla erilaisiin pakkauksiin ja pakkauskokoihin. (Bylund, 2003, s. 265) Tavallisimmat pakkaustyytit ovat pikaripakkaus ja kartonkipakkaus. Pikaripakkauksia on kahta tyyppi, FFS-mallia, joka tulee sanoista form – fill – seal ja FS-malli, joka tulee sanoista fill ja seal. FFS-mallissa pakkauskone muodostaa pikaripakkauksen materiaalirullista, täyttää ja sulkee ne. Tällaisella koneella valmistetut tuotteet ovat usein monipakkauksia, joissa on useampi pakkaus kiinni toisissaan. FS-mallin pakkauskoneeseen syötetään valmiiksi muotoillut ja painetut pikari, jotka täytetään ja sen jälkeen suljetaan. (Eliter, 2024)

Kartonkipakkauskoneeseen syötetään pakkausaihoita, jotka pakkauskone muotoilee pakkauksiksi. Ensimmäisessä vaiheessa suljetaan pohja, jonka jälkeen pakkaus voidaan täyttää. Täytön jälkeen pakkauksen harjaosa muotoillaan ja suljetaan. (Tetra Pak, n.d.)

3.8 Varastointi ja jakelu

Lopullinen tuotteiden jäähtyminen tapahtuu kylmävarastossa, noin 5 °C lämpötilaan. (Bylund, 2003, s. 267) Lakisääteinen varastointi- ja jakelulämpötila pitää olla alle 8 °C, kun kyseessä on pastöroitu maitopohjainen tuote. (Ruokavirasto, 2023)

Jäähtymiseen kuluva aika on riippuvainen tuotteen pakkauskoosta ja kuinka tiiviisti tuotteet ovat aseteltuina isompiin pakkausyksiköihin. (Bylund, 2003, s. 267)

4 Lämmön siirto ja jäähdytys

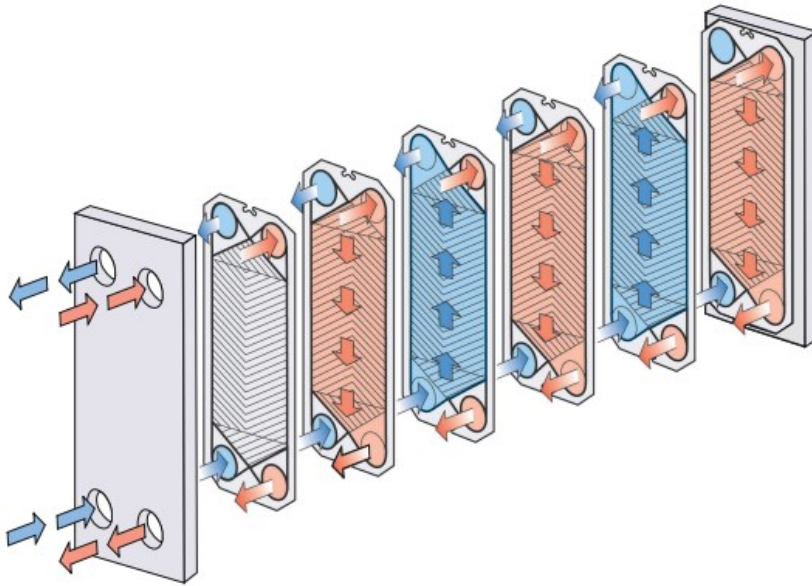
Lämmön siirrossa lämpöenergia siirtyy aina suuremmasta lämpötilasta pienempään lämpötilaan. Lämmön siirtymistapoja on kolmea erilaista, johtumalla, konvektiolla ja säteilyllä tapahtuvaa lämpöenergian siirtymistä. Johtumalla siirtyvä lämpö siirtyy suurempienergisestä aineesta pienempienergiseseen aineeseen. Konvektiossa eli kuljettamalla tapahtuvassa lämmönsiirrossa lämpöenergia siirtyy virtaavan kaasun tai nesteen mukana. Säteilyllä tapahtuvassa lämmönsiirrossa lämminkappale luovuttaa osan energiastaan säteilyenergiaksi ja kohdatessaan toisen kappaleen muuttuu siinä lämpöenergiaksi. (Pihkala, 2011, s.102)

4.1 Lämmönvaihdin

Lämmönvaihdin on laite, jota käytetään kahden väliaineen lämpötilan siirtämiseen. Lämmönvaihtimessa kiinteät väliseinämät erottavat aineet toisistaan ja toimivat lämmönsiirtopintoina. Mikäli lämmönvaihtimen tehtävä on laskea lämpötilaa, kutsutaan sitä tällöin jäähdyttimeksi. (Pihkala, 2011, ss. 104–105)

Kuvassa (Kuva 2) esitetään vastavirtaan toimivan levylämmönvaihtimen toimintaperiaate, jossa sininen virtaus esittää jäähdyttävää väliainetta ja punainen jäähdytettävää ainetta. Ohuet levyt erottavat aineet toisistaan. Vastaavalla toimintaperiaatteella olevia laitteita käytetään meijeriteollisuudessa pastöroinnissa ja jäähdytyksessä.

Kuva 2. Levylämmönvaihtimen toimintaperiaate (Alfa Laval, 2024).



Lämmönvaihtimia on erityyppisiä ja ne voidaan jakaa seuraaviin perustyyppeihin:

- levylämmönvaihtimet
 - spiraalilämmönvaihtimet
 - lamellilämmönvaihtimet
 - vaippaputkilämmönvaihtimet
- (Pihkala, 2011, ss. 104–105)

4.2 Lämmönvaihtimet jogurtinvalmistuksessa

Jogurtinvalmistuksessa käytettävät lämmönvaihtimet ovat usein levylämmönvaihtimia.

Levylämmön vaihtimia on prosessissa kaksi, toinen jogurttimaidon pastöroinnissa ja toinen kypsytyn jälkeen jäähdytyksessä.

Levylämmönvaihtimen etuja ovat energiatehokkuus lämmönsiirrossa. Levylämmönvaihtimet koostuvat useista levyistä, jotka on kiinnitetty yhteen tiivisteiden kanssa. Tämä rakenne luo kanavat kahdelle nesteelle. Tiivisteet tiivistävät levyt toisiinsa kiinni ja estävät tällä tavoin nesteiden sekoittumisen. Tämän rakenteen ansiosta levylämmönvaihtimet ovat monipuolisia, ja ne voidaan helposti purkaa puhdistusta, huoltoa tai levynvaihtoa varten. (SPXFLOW, n.d.)

5 Tutkimuksellinen osuus

Ensimmäiseksi tutkimuskysymykseksi oli valittu, kuinka paljon kypsytyksen jälkeistä jäähdystystä voidaan lisätä ilman, että tuotteen laatu kärsii. Tietoperustaan pohjaten oli tiedossa, että yleinen turvallinen jäähdystyslämpötila jogurtille on 15–20 °C. Tämän tutkimuskysymyksen selvittämiseksi laadittiin koejärjestely, jossa valmistettiin jogurtia koeajolaitteistolla. Jogurtin resepti ja koeajolaitteiston parametrit säädettiin vastaamaan kaupallisessa tuotannossa käytettäviä arvoja, jotta tutkimuksen tuloksia voitaisiin hyödyntää tuotantolaitteistolla. Tutkimusjärjestelyt toteutettiin niin, että kypsytettyä jogurtia jäähdytettiin 8,5 °C, 10 °C, 15 °C ja 20 °C lämpötiloihin. 20 °C lämpötilan tuote oli verrokinäyte, johon muita tutkimussarjannäytteitä verrattiin, koska sen oletettiin käyttäytyvän tutkimuksessa halutulla tavalla rakenteellisten ominaisuuksien osalta.

Tutkimusmenetelmiksi valittiin pH:n seuraaminen, jolla haluttiin tutkia tuotteen jälkihappanemista ja se mahdollisia muutoksia. pH:n seuraamisella varmistettiin, että jäähdystyslämpötilasta ei aiheudu hapatteiden toiminnalle muutoksia ja tuotteen makuprofiili säilyisi oikeana, eikä happanisi liikaa säilyvyysajan kuluessa. Toinen tutkittavaominaisuus oli tuotteen viskositeetti. Viskositeetin mittaamisella seurattiin tuotteen rakenteen kehittymistä säilyvyysajan kuluessa. Tietoperustan pohjalta tiedostettiin, että liian voimakas jäähdystys saattaa aiheuttaa synereesiä tuotteessa, joka näkyisi viskositeetin alentumisena ja heroittumisena. Tämän vuoksi heran erottumista tuotteen pinnalle haluttiin seurata ja mitata. Tutkimuksessa oli tärkeää seurata näytteiden muutoksia koko tuotteen elinkaaren ajan, sillä muutokset tapahtuvat hitaasti ja tuotteen on pysyttävä laadukkaana koko sen elinkaaren.

Tutkimusnäytteitä kerättiin 20 kappaletta jokaisesta jäähdystyslämpötilan näytesarjasta. Kymmenen kappaletta oli maustamattomia jogurteja ja kymmenen hillolla maustettuja. Kokonaisuudessaan tutkimusta varten pakattiin 80 näytettä. Näytteet pakattiin pikaripakkauksiin ja näytettä punnittiin jokaiseen pikariin 200 g. Näytteitä tutkittiin viikon välein, jokaisesta näytesarjasta. Tutkimuksissa tutkittiin viikoittain jokaisesta sarjasta yksi maustamaton ja yksi maustettu näyte. Mikäli näytteen tuloksi olivat kovin epä johdon mukaiset tai poikkesivat muista tuloksista, otettiin verrokinäyte ja analysoitiin sen tulokset.

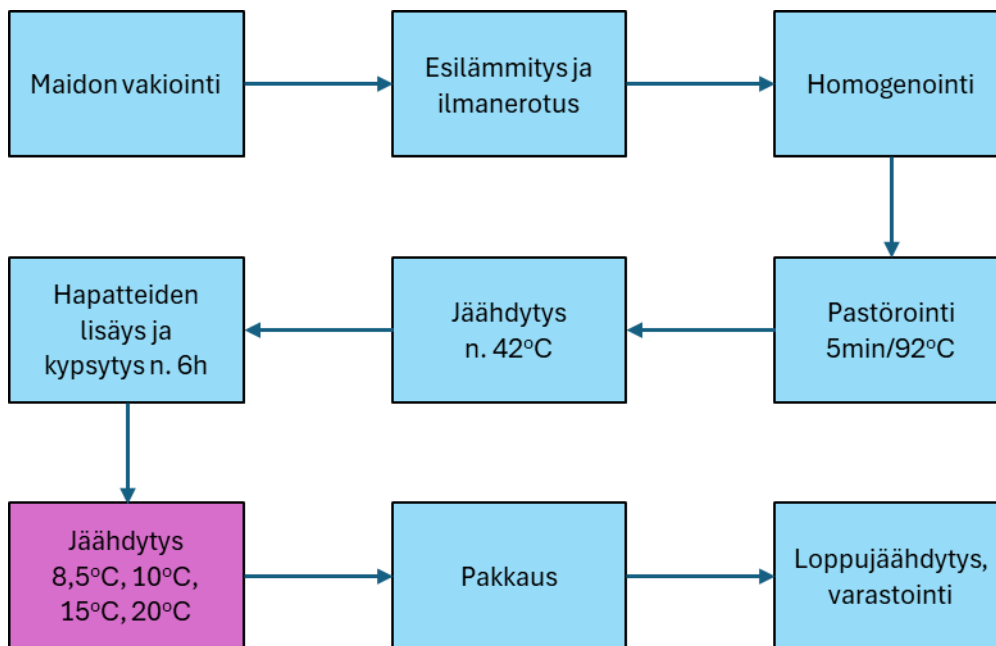
Toisena tutkimuskysymyksenä oli, voidaanko kypsytyksen jälkeisellä jäähdystyksen lisäämisellä nopeuttaa tuotteen läpimenoaika jäähdystysvarastossa. Tämän asian selvittämiseksi, piti varmistaa, kuinka kauan nykyisten tuotteiden jäähtyminen kestää jäähdystysvarastossa. Tämä tutkimus toteutettiin lämpötilan mittaamiseen tarkoitetuilla nappiloggereilla. Nappiloggerit ovat ohjelmoitavia lämpötilanmittaukseen kehitettyjä

pienikokoisia antureita. Nappiloggerille ohjelmoidaan mittausaika ja mittausaika, miltä ajalta mittaukset kerätään. Mittausjakson jälkeen tulokset luetaan erillisellä lukijalla, bluetooth yhteyden avulla ja siirretään tietokoneelle. Käytännön tutkimuksessa nappiloggerit sijoitettiin 1 kg kartonkipakattuihin harjapakkauksien sisälle ja 200 g pikarituotteiden sisälle. Loggerit asetettiin tuotteisiin pakkauksen jälkeen, ennen kuin ne siirtyivät jäähdystysvarastoon. 1 kg tuotteet olivat pakattu 20 kappaleen ryhmissä muovisiin laatikoihin, joita pinotaan kahteen kerrokseen jäähdystyslavalle. 200 g pikarijogurtit pakattiin 20 kappaleen ryhmissä muovisille tarjottimille, joita oli pinottuna kuuteen kerrokseksi jäähdystyslavalle. Molempien pakkaukokojen osalta lämpötilanmittausloggerit asetettiin päällimmäisiin kerroksiin, niin että toinen loggeri tulisi aivan reunimmaiseen pakkaukseen ja toinen mahdollisimman keskelle.

5.1 Jäähdystyslämpötilan muutoksen koeajo

Kypsytyksen jälkeistä jäähdystystä testattiin koeajolla pienen mittakaavan koeajolaitteistolla Riihimäen Valiolla. Koeajoa varten valmistettiin 100 kg kokoinen jogurttierä. Maito vakioitiin vastaamaan koostumukseltaan kaupallista tuotetta. Prosessilaitteiston parametrit säädettiin vastaamaan mahdollisimman lähelle tuotannossa käytössä olevia arvoja. Tuotelaadun kannalta oleellimmat parametrit olivat pastörintilämpötila ja pastöroinnin kesto, homogenointipaine ja kypsytyksen menevän tuotteen lämpötila. Kuvassa (kuva 3.) on havainnekuva koeajoprosessista, jossa on korostettu kypsytyksen jälkeistä jäähdystystä. Tämä prosessin vaihe oli tutkimuksen pääkohde, jossa muutettiin tuotteen jäähdystyslämpötilaa.

Kuva 3. Koeajon prosessikaavio.



Koeajon järjestelyt onnistuivat ja prosessi saatiin vastaamaan tuotantolaitteiston prosessia niin lähelle kuin se oli mahdollista kyseisellä laitteistolla. Prosessista jätimme pois rakenteenmuokkausventtiilin käytön, sillä sen toiminnasta ja vaikutuksesta koeajoon ei ollut riittävästi.

Koeajonerän resepti suhteutettiin käytettävään 100 kg eräkoko. Erän valmistus aloitettiin vakioimalla jogurttimaito ja sekoittamalla aineet sekoitussäiliössä. Sekoitussäiliöstä maito pumpattiin pastöörille esilämmitykseen ja tämän jälkeen ilmanerotajalle. Ilman poiston etuina ovat paremmat muokkaus ominaisuudet homogenoinnissa. (Bylund, 2003, s. 260) Homogenointi suoritettiin kaksivaiheisesti ja tällä varmistettiin rakenteen tasalaatuisuus ja rasvan tasainen jakautuminen. Homogenoinnin jälkeen maito siirtyi pastöörille lämpökäsittelyyn ja kesto-osastolle, jossa se oli 5min/92 °C. Tämän jälkeen maito jäähdytettiin 42 °C ja siirrettiin kypsytyssäiliöön, johon lisättiin hapatteet. Hapatteen lisäyksen jälkeen jogurttimaito sekoitettiin huolellisesti ja jätettiin kypsyymään. Kypsytykseen kului noin 6h, joka on ajallisesti hieman pidempi kuin normaalissa tuotannossa. Kypsyymisaikaan vaikuttaa erä koko, joka kasvaa eräkoon pienentyessä. Kypsytyks päätettiin, kun tuotteen pH saavutti arvon 4,65. pH:n mittauksen jälkeen aloitettiin varsinainen kokeellinen osuus tuotteen jäähdytyksessä.

Jäähdytyksessä oli tavoitteena käyttää neljää erilaista lämpötilaa, 20 °C, 15°C, 10 °C ja 5 °C. Koeajon aikana kuitenkin huomasimme, että koeajolaitteiston jäähdytyksen kapasiteetti ei

riitä saavuttamaan 5 °C lämpötilaa vaan alhaisimmaksi lämpötilaksi jäi 8,5 °C.

Koeajolaitteiston jäähdytin oli malliltaan vaippaputkilämmönvaihdin, kun kaupallisessa tuotannossa käytettävä jäähdytin on levylämmönvaihdin. Vaippaputkilämmönvaihtimen jäähdyttävänä aineena toimi jäävesi, jonka tehoa säädettiin säätöventtiilin avulla.

Säätöventtiiliä avaamalla enemmän auki saatiin jäähdytystä tehostettua, kun jäävettä virtasi suuremmalla nopeudella

Jäähdytys aloitettiin 20 °C lämpötilasta, josta otettiin ensimmäinen näytesarja. Tämä näytesarja toimi kokeessa referenssisarjana, johon muita jäähdytyseriä verrattiin. Prosessia ajettiin tämän jälkeen hetken aikaa lämpötilan tasaantumiseksi, jonka jälkeen jäähdytystä lisättiin ja jäähdytettävän tuotteen lämpötila laskettiin 15 °C:seen. Lämpötilan tasaannuttua otettiin uusi näytesarja. Tällä tavoin toimittiin myös 10 °C ja 8,5 °C näytesarjojen kohdalla. Laitteiston jäähdytyskapasiteetti alkoivat tulla vastaan kahden viimeisen lämpötila-arvon kohdalla, jolloin jääveden säätöventtiili oli avattu, jo äärimilleen. Tässä vaiheessa vaippaputkilämmönvaihtimen läpi pumpattavan tuotteen virtausnopeutta jouduttiin pienentämään, jotta lämpötilaa saatiin laskettua.

Jokaisesta jäähdytyslämpötilasta pakattiin tuotteita analysointia varten muovipikareihin, joihin punnittiin 200 g tuotetta. Tuotteet pakattiin maustamattomana sekä hillolla maustettuna. Tässä tarkoituksena oli seurata, onko hillolisällä vaikutusta lopulliseen rakenteeseen ja maustamattomasta jogurtista on helpompi analysoida rakenteellisia muutoksia.

5.2 Loppujäähdytyksen seuranta

Toisen tutkimuskysymyksen selvittämiseksi, piti varmistaa, kuinka pitkään tuotteiden loppujäähdytys kestää alle 8 °C lämpötilaan jäähdytysvarastossa. Tämä lämpötilaraja on lakisääteinen ja koskettaa pastöroitua maitopohjaisia tuotteita varastoinnin ja jakelun osalta. (Ruokavirasto, 2023) Loppujäähdytyksen seuranta toteutettiin Riihimäen Valion R2-tehtaan jäähdytysvarastossa. Tuotteisen jäähdytystä haluttiin seurata jatkuvatoimisella mittauksella, jonka takia päädyttiin käyttämään Thermochron nappiloggerit. Nappiloggerit ovat pienikokoisia ja ne soveltuvat hyvin vaativiinkin mittausolosuhteisiin. Kuvassa (kuva 4.) nappiloggerit.

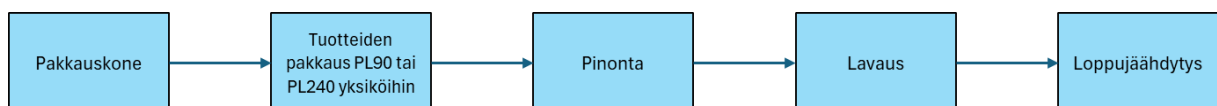
Kuva 4. Nappiloggerit.



Nappiloggerien käyttökohteita ovat mm. kylmäkuljetukset ja prosessien lämpötilatarkkailut. (Pietikko, n.d.) Nappiloggeri on ohjelmoitavissa erillisen ohjelman avulla. Ohjelmassa valitaan mittausajankohta sekä mittausaika. Tutkimuksessa mittausaika valittiin viisi minuuttia. Loggerit asetettiin tuotteiden sekaan, pakkauksien sisään muovisessa suojuksessa, jotta loggeri ei vaurioitu.

Nappiloggerit asetettiin tuotteisiin pakkauskoneen jälkeen, kun tuotteet oli pakattu jälkipakkaussoluissa jakeluyksiköihin. Pikaripakkaukset pakataan muovitarjottimiin, joita kutsutaan PL90-tarjoittimiksi ja 1 kg harjapakkauskset PL240 muovilaatikoihin. Nämä jakeluyksiköt pinotaan xxx kerrokseen ja siirretään lavalle. Kuvassa (kuva 5.) on havainnollistettu prosessin kulkua pakkauksen ja lavauksen osalta.

Kuva 5. Vuokaavio tuotteen pakkauksesta ja lavauksesta.



Tuotteiden jäähtymisen seuraamisessa käytettiin neljää nappiloggeria. Kaksi loggeria sijoitettiin 1 kg harjapakattuihin tuotteisiin niin, että toinen loggeri sijoitettiin jakeluyksikön reunaan ja toinen keskelle. Toiset kaksi loggeria asetettiin 200 g pikarituotteisiin, samalla periaatteella, että toinen loggeri reunalle ja toinen keskellä jakeluyksikköä. Tuotteet pidettiin jäähdytysvarastossa kahden vuorokauden ajan, jonka jälkeen ne siirrettiin jakeluvaraston

puolelle. Loggereilla varustetut tuotteen poistettiin jakeluyksiköistä. Loggereiden keräämä data luettiin erillisellä lukijalla ja tiedot siirrettiin tietokoneelle.

6 Tulokset

Aikataulullisten syiden takia ehdittiin tekemään vain yksi koeajo koeajolaitteistolla. Tuotantomittakaavan koeajoa ei ehditty suorittamaan, sillä ensin haluttiin varmistua pienenmittakaavan koeajon tuloksista ja vaikutuksista tuotteen rakenteeseen. Koeajosta saatiin aikaiseksi neljän jäähdytyslämpötilan näytesarjat, josta jokaisessa näytesarjassa oli maustamattomat ja hillolisällä maustetut näytteet. Tuotteita seurattiin 30:n päivän ajan, joka vastaa tuotteen säilyvyysaika. Analysointia tehtiin seitsemän vuorokauden välein, jotta saatiin selkeämmät muutokset esille tuotteen laadusta. Toiseksi viimeisen ja viimeisen analysointikertojen väli oli yhdeksän vuorokautta. Näin saatiin neljällä analysointikerralla tutkittua koko tuotteen elinkaari.

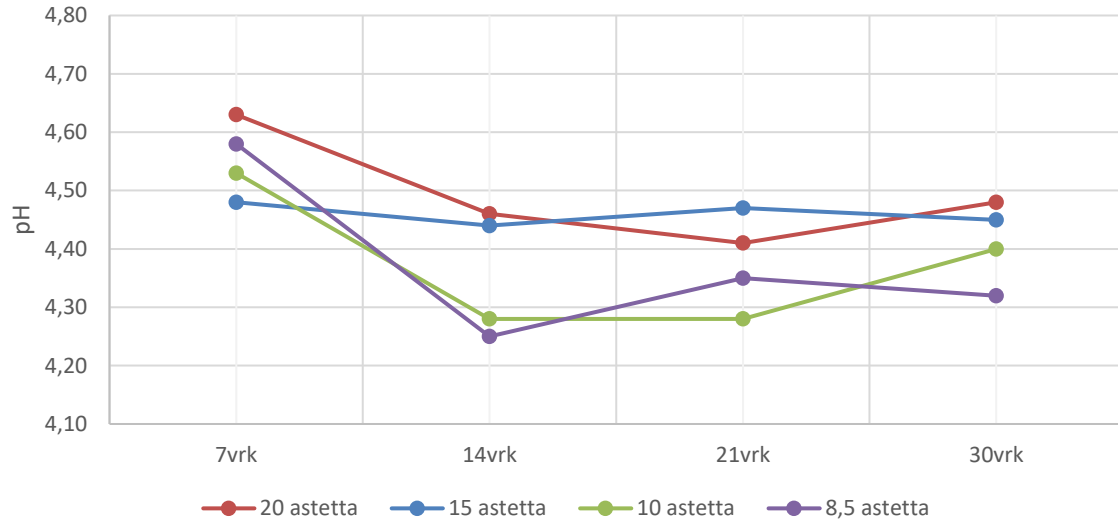
Näytteiden tutkimusmenetelmiksi valikoitui pH:n, viskositeetin ja tuotteesta irronneen heran määrän mittaukset. pH:n seurannalla haluttiin seurata tuotteen happanemisen käyttäytymistä ja muutosta eri jäähdytyslämpötiloissa. Viskositeetin mittauksella saataisiin toistettavaa tutkimustulosta tuotteen rakenteesta ja kuinka hyvin se säilyy läpi tuotteen säilyvyysajan. Heran määrän mittaamisella voidaan myös konkreettisesti osoittaa mahdollisen heroittumisen ilmenemistä. Tutkimustuloksista haluttiin rajata pois aistinvaraiset ominaisuudet, sillä se olisi kasvattanut analyysiä liian suureksi.

6.1 pH-tulokset

Koeajonäytteistä pH:n mittauksella haluttiin seurata, onko erijäähdytyslämpötiloilla merkitystä tuotteen jälkihappanemiseen ja onko sillä vaikutuksia makuprofiiliin, vaikka astinvaraista laatua ei tässä tutkimuksessa ollut tarkoitus tutkia. Kuvassa (kuva 6.) on esitetty pH:n muutokset maustamattomalla jogurtilla. Tuotteiden pH on mitattu 7 vuorokauden välein ja viimeinen mittausta on tehty 9 vuorokautta edellisestä mittauksesta, jotta tuotteen koko säilyvyysaika saatiin seurattua. pH-tuloksien hajonta ja epäjohdonmukaisuus selittyy osittain sillä, että tuotteiden lämpötilat eivät olleet vakioita, koska niitä ei huomattu temperoida tasalämpöisiksi ennen mittausta. Tuotteiden lämpötila pH:n mittauksen hetkellä on vaihdellut noin 5–15 °C välillä. Tämän lämpötilaeron takia pH-tuloksien virhearvo on noin 0,1 pH asteikolla. (Mantech, 2021) Kun mittaustuloksiin suhteutetaan edellä mainittu virhearvio,

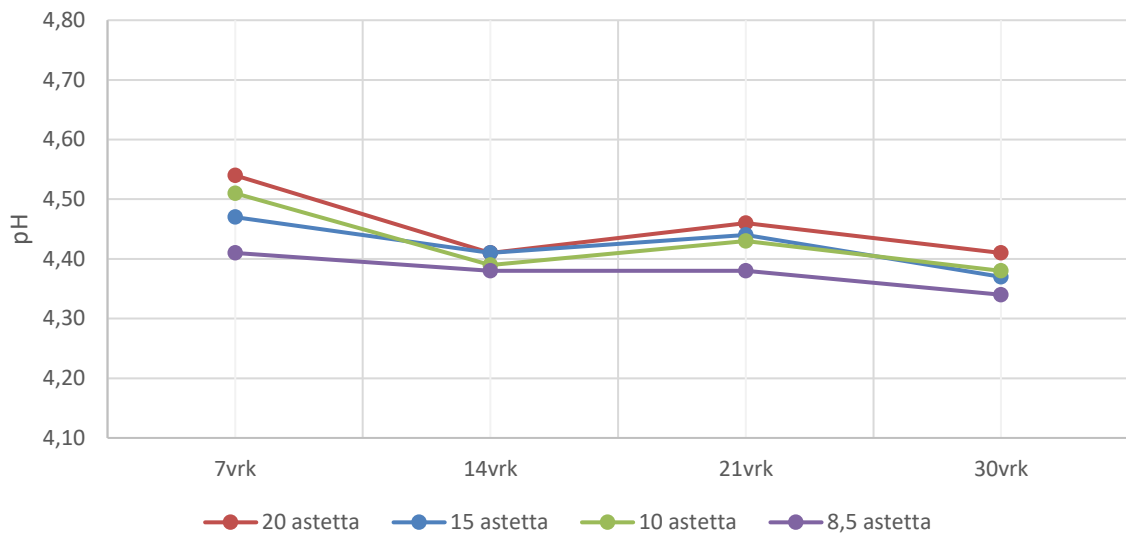
tasoittuvat mittaustuloksien välinen ero, joten merkittäviä eroja ei pH:n suhteen tullut eri jäädytyslämpötiloilla.

Kuva 6. Maustamattoman jogurtin pH:n muutos.



Kuvassa (kuva 8.) hillolla maustetun jogurtin pH:n mittaustulokset. Hillolla maustetun jogurtin osalta pH-tuloksissa ei ole vastaavaa poikkeavuutta kuin maustamattomien tuotteiden kohdalla. pH käyttäytyy kaikissa lämpötiloissa saman suuntaisesti, eikä merkittäviä eroja ole havaittavissa. Tasaisempi tulostaso johtunee todennäköisimmin lämpötilan tasaantumisesta, sillä maustamattomia tuotteita analysoitiin ensin ja tämän ajan maustetut tuotteet olivat huoneenlämmössä.

Kuva 7 Hillolla maustetun jogurtin pH:n muutos.

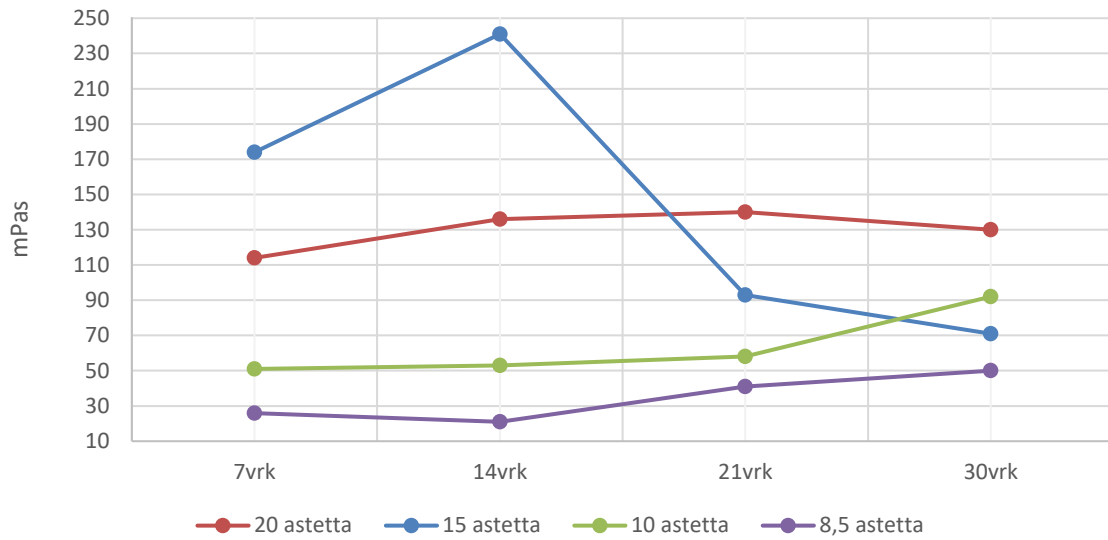


6.2 Viskositeetituloset

Näytteistä haluttiin selvittää, miten viskositeetti muuttuu eri jäähdytyslämpötilojen vaikutuksesta. Viskositeettia mitattiin A&D:n valmistamalla SV-10 viskositeettimittarilla. Viskositeetti mitattiin suoraan 200 g pikareista. Näytteiden lämpötila mittauksessa oli 4–6 °C välillä ja mittaustulos mitattiin 1 minuutin jälkeen.

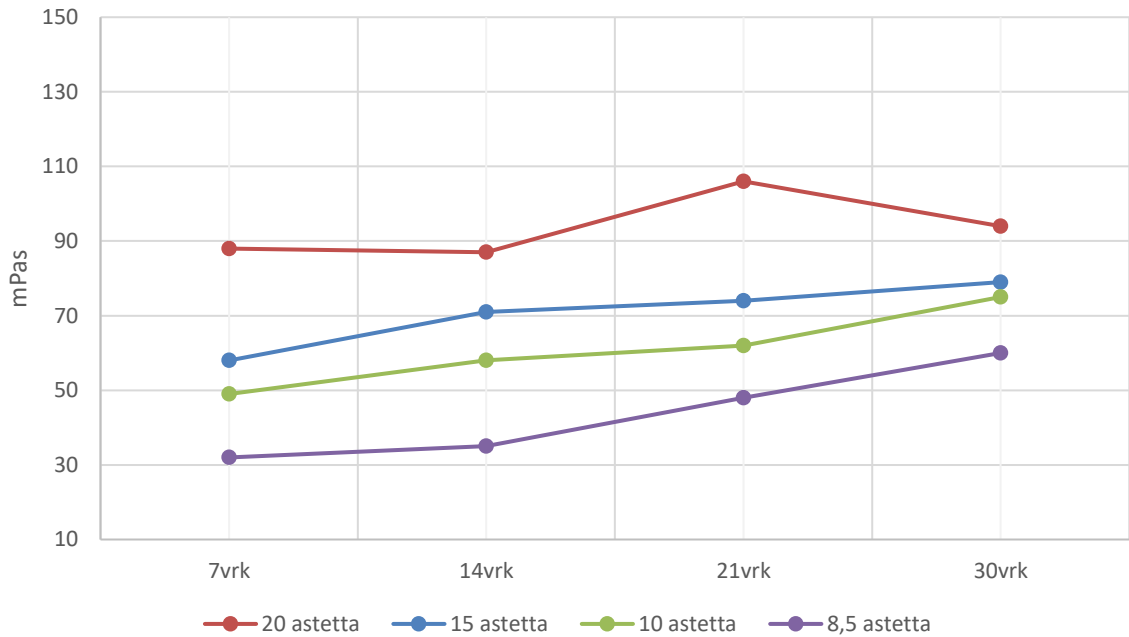
Kuvassa (kuva 9.) nähdään, kuinka viskositeetti on muuttunut 30 vuorokauden aikana maustamattomassa jogurtissa. Viskositeettimittauksissa 15 °C lämpötilaan jäähdytetyn tuotteen tulokset poikkesivat merkittävästi muista näytteistä. Osassa tämän näytesarjan näytteiden pintaan tullut paksukerros, jossa oli ilmakuplia. Tämä hankaloitti viskositeettimittauksen tulosten keskinäistä vertailua. Muutoin muut näytesarjat näyttivät käyttäytyvän saman suuntaisesti ja mitä kylmemmäksi tuote jäähdytettiin kypsytyksen jälkeen, sitä ohuemmaksi tuotteen rakenne jäi.

Kuva 8 Maustamattoman jogurtin viskositeettitulokset.



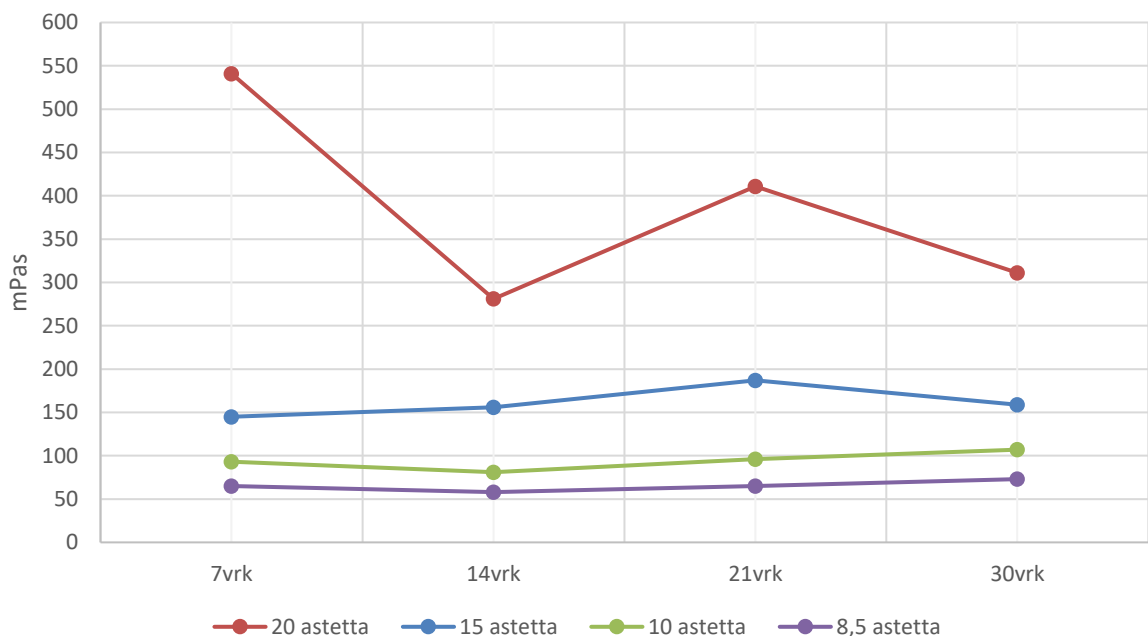
Koska havaittiin, että 15 °C näytesarjan näytteissä oli kerrostumaa, päätettiin näytteitä käsitellä manuaalisesti sekoittamalla. Kuvassa (kuva 9.) esitetään viskositeettitulokset sekoituksen jälkeen. Kuvaajasta havaitaan, että sekoituksen jälkeen viskositeettitulokset asettuvat paremmin järjestykseen ja ovat keskenään linjassa. Tulokset osoittavat, että suurempi jäähdytys kypsytyksen jälkeen alentaa tuotteen viskositeettia. Kaikkien näytesarjojen kohdalla tuotteen rakenne tekeytyi kylmäsäilytyksen aikana.

Kuva 9 Maustamattoman jogurtin viskositeettitulokset sekoitetusta näytteestä.



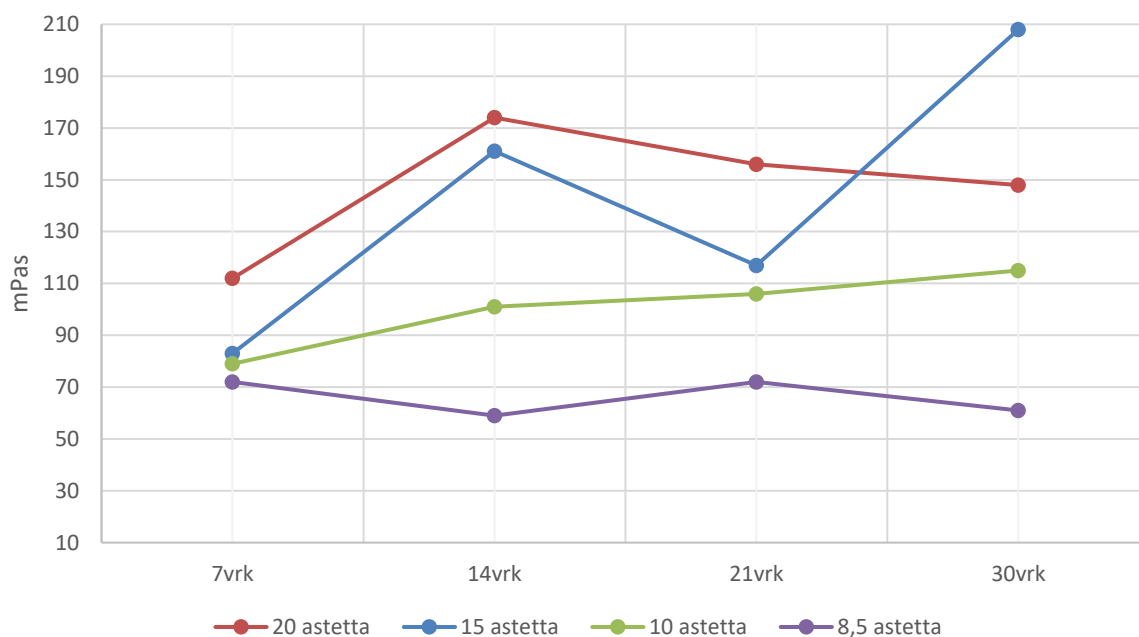
Viskositeetin mittausta suoritettiin samalla menetelmällä mausteluille jogurteille. Kuvassa (kuva 10.) nähdään, että 20 °C lämpötilaan jäädytetyn jogurtin tulokset poikkeavat kovasti muista näytesarjoista. Tämän sarjan näytteissä oli havaittavissa vastaavaa kerrostumista kuin maustamattoman jogurtin 15 °C näytesarjassa.

Kuva 10 Hillolla maustetun jogurtin viskositeettitulokset.



Maustettujen jogurttien näytesarjat käsiteltiin myös sekoittamalla. Kuvasta (kuva 11.) nähdään, että näytteiden sekoittaminen tasoitti 20 °C näytesarjan tuloksia. Mittauksissa huomattiin, että maustamisessa käytetyn hillonpalat vaikuttivat jonkin verran mittaustuloksiin. Tämä näkyy erityisesti 15 °C näytesarjan tuloksia. Kokonaisuudessaan tulokset ovat linjassaan ja viskositeetti korreloi lämpötilan kanssa.

Kuva 11. Hillolla maustetun jogurtin viskositeettitulokset sekoitetuista näytteistä.



Kokonaisuudessaan viskositeettituloksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että mitä kylmemmäksi jogurtti jäähdytetään kypsytyksen jälkeen, sitä alhaisemmaksi lopullisen tuotteen viskositeetti jää. Kuitenkaan näytteitä käsiteltäessä oli hankala silmämääräisesti ja sekoitusta tehtäessä hankala sanoa oliko 20 °C ja 15 °C jäähdytyslämpötiloilla merkittävää eroa keskenään. Viskositeetti on luotettavampi mitata sekoitetusta näytteestä tai tuotteet olisi käsiteltävä jäähdytyksen jälkeen rakenteen muokkausventtiilillä. Lisäksi maustamattomasta tuotteesta on mielekkäämpi analysoida viskositeettia ja tuloksista tulee paremmin vertailukelpoiset, kun maustamiseen käytetyn hillon palaset eivät aiheuta vaihtelua mittaustuloksiin.

6.3 Heran erottumisen tulokset

Heran erottumisen mittaamisen suorittaminen totutettiin ensin visuaalisella arviolla. Mikäli tuotteen pinnalla oli havaittavissa heran erottumista, eroteltiin hera tuotteen pinnasta pois

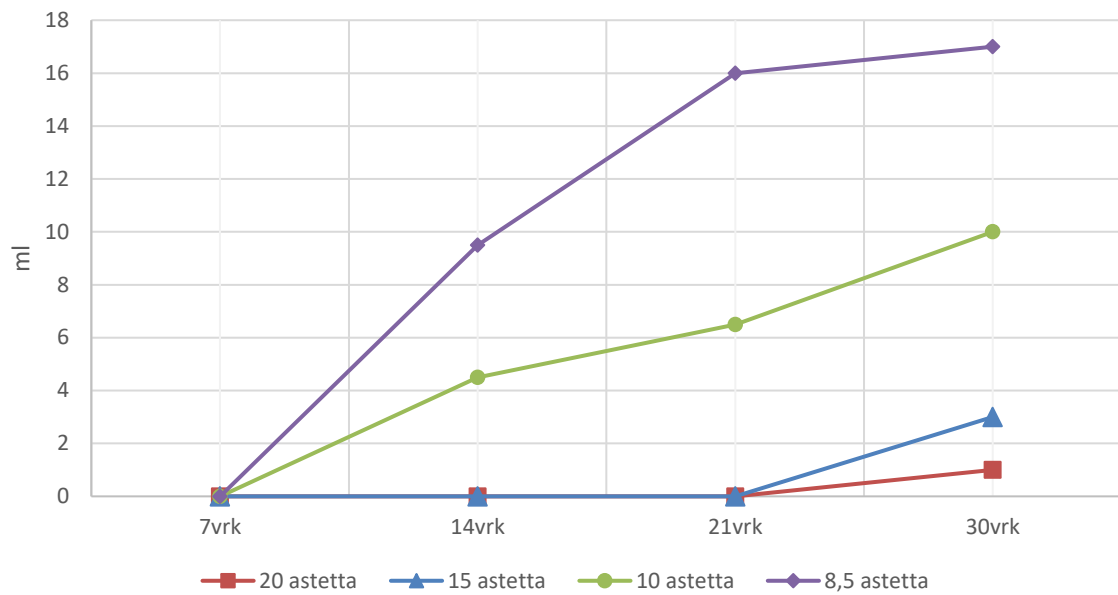
käyttämällä kertakäyttöistä Pasteur-pipettiä. Pipetoitu hera siirrettiin mittalasiin, josta erottunut heran määrä saatiin luettua. Kuvassa (kuva 12.) havainnollistetaan heran mittaussäiliöt.

Kuva 12. Näytepikarista erotetun heran mittausta.



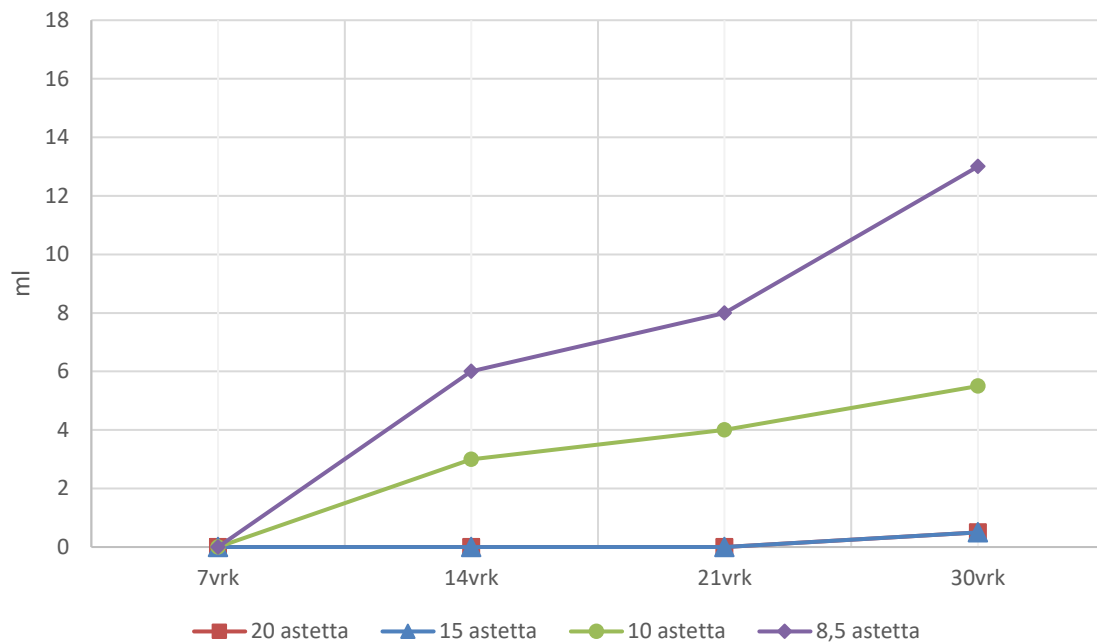
Heran erottumista ei havaittu ensimmäisen seitsemän vuorokauden aikana missään näytesarjassa. Vasta 14 vuorokauden jälkeen näytteiden analysoinnissa 8,5 °C ja 10 °C sarjan näytteissä havaittiin heran erottumista tuotteen rakenteesta. Heran erottuminen lisääntyi säilyvyysajan kuluessa 8,5 °C ja 10 °C sarjan näytteissä. 15 °C ja 20 °C näytteiden heroittuminen näkyi vasta säilyvyysajan lopussa. Näissä näytteissä erottuneen heran määrä oli kuitenkin varsin vähäinen vain 1–3 millilitraa. Tulokset olivat varsin odotetut ja vastasivat hyvin myös tietoperustassa esitettyä tietoa. Kuvassa (kuva 13.) heran erottumisen tulokset.

Kuva 13. Heran erottuminen maustamattomassa jogurtissa.



Heran erottuminen maustetussa jogurtissa ilmeni samalla tavalla kuin maustamattomassa jogurtissa. Heroittumista havaittiin niin ikään vasta 14 vuorokauden kohdalla ja erityisesti 8,5 °C ja 10 °C sarjan näytteiden osalta heroittuminen oli voimakasta. 15 °C ja 20 °C näytteiden heroittuminen näkyi vasta säilyvyysajan lopussa, eikä näyte sarjoilla ollut keskenään eroa. Näillä molemmilla näytesarjoilla heran erottuminen oli 1 millilitraa. Yleisesti ottaen heroittuminen oli vähäisempää maustetuilla jogurteilla kuin maustamattomilla jogurteilla. Tämä ero selittyy sillä, että maustetuissa jogurteissa on vähemmän heroittuvaa jogurttimassaa, koska hilloa on noin 9 % kokonaismassasta. Kuvassa (kuva 14.) heroittumisen muutos maustetuissa jogurteissa säilyvyysajan kuluessa.

Kuva 14. Heran erottuminen maustetussa jogurtissa.

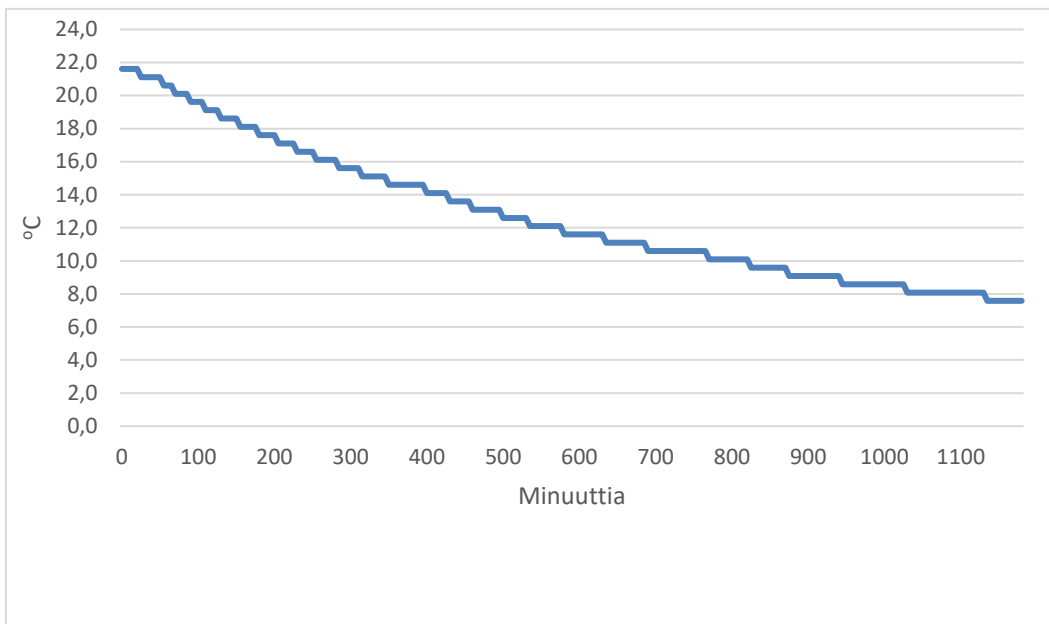


6.4 Loppujäähdytyksen tulokset

Tuotteiden lopullinen jäähtyminen 22 °C lämpötilasta alle 8 °C lämpötilaan tapahtui pakkaamisen jälkeen jäähdytysvarastossa. Lämpötilamittaavat nappiloggerit asetettiin 200 g ja 1 kg tuotteisiin, jotta saatiin selville, kuinka pakkauskoko vaikuttaa jäähtymiseen käytettyyn aikaan.

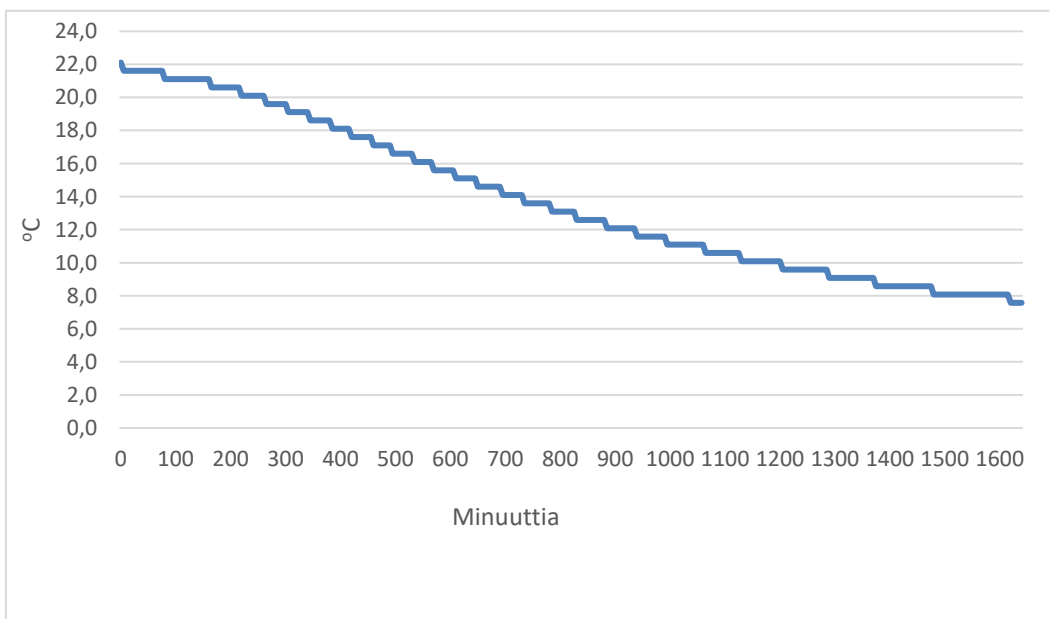
Seuraavissa kuvissa (kuva 15. ja kuva 16.) esitetään 1 kg tuotteiden jäähtymiskäyrät. Kuvan (kuva 15.) nappiloggeri on asetettu jakeluyksikön reunimmaiseen tuotteeseen jäähtymislavalla. Reunimmaisen tuotteen jäähtyminen alle 8 °C lämpötilaan kului 1135 minuuttia. Alkulämpötila tuotteella oli 21,6 °C.

Kuva 15. Lämpötilan seuranta 1 kg tuotteessa, loggeri sijoitettu reunimmaiseen tuotteeseen.



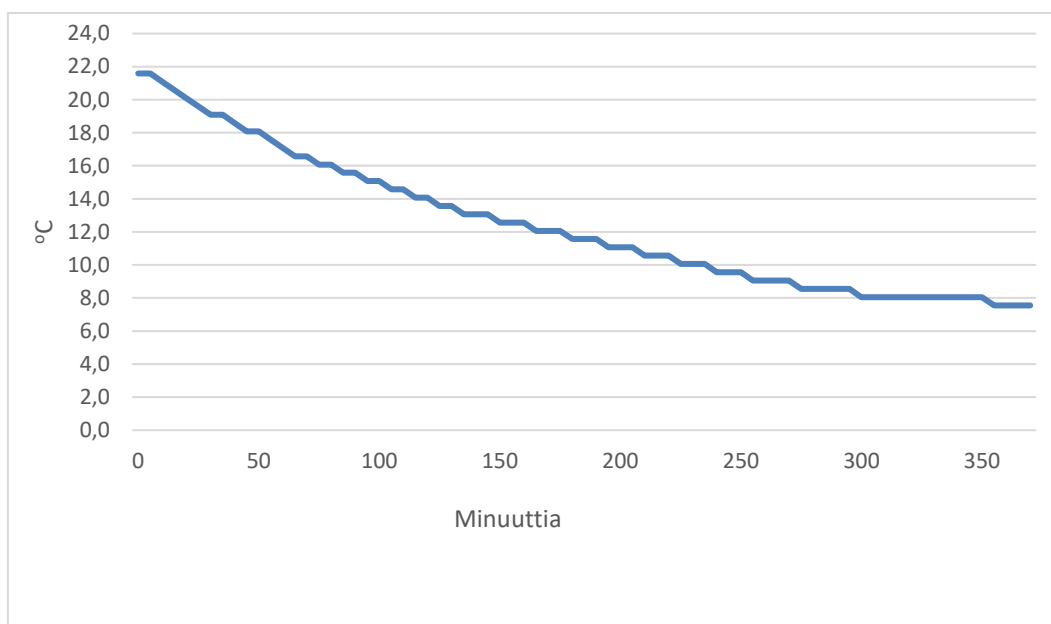
Kuvassa (kuva 16.) 1g jogurttipakkauksen jäähtymiskäyrä. Tässä loggeri oli sijoitettu keskimmäisen pakkaukseen, jolloin sitä ympäröi useampi tuotepakkaus. Jäähtyminen alkoi 22,1 °C lämpötilassa ja aikaa kului 1620 minuuttia, kunnes tuote saavutti alle 8 °C lämpötilan. Huomattavasti pidempään kestänyt jäähtyminen, johtui muiden pakkausten muodostama eristekerroksesta tuotteen ympärillä.

Kuva 16. Lämpötilan seuranta 1 kg tuotteessa, loggeri sijoitettu keskimmäiseen tuotteeseen.



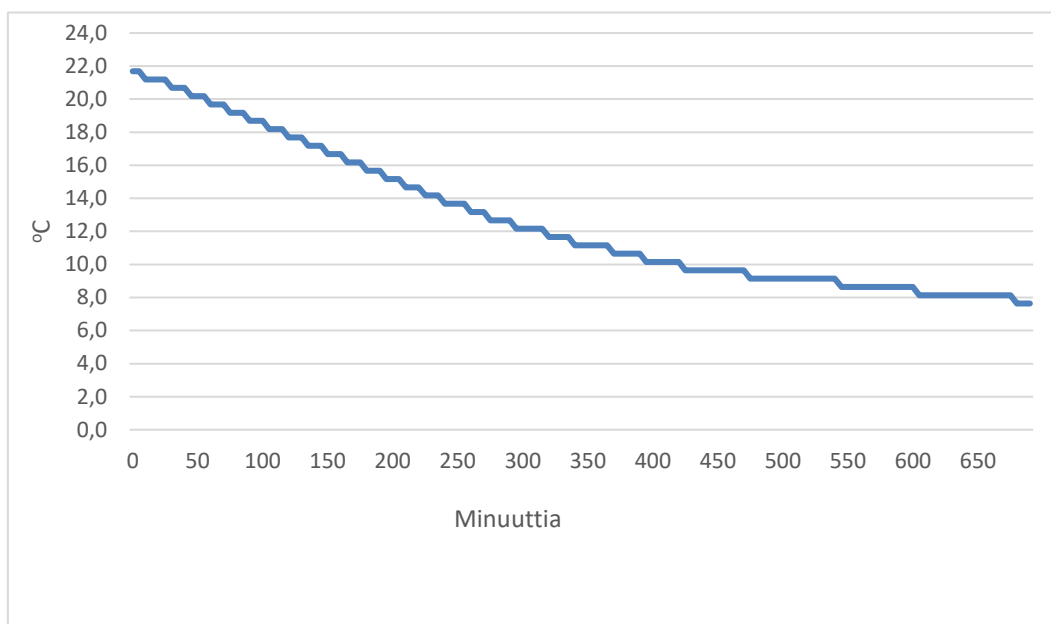
Kuvissa (kuva 17. ja kuva 18.) on kuvattu 200 g pikareihin pakattujen tuotteiden jäähtymiskäyrät. Kuvan (kuva 17.) lämpötilan mittaus suoritettiin myyntiyksikön reunimmaisesta pakkauksesta. Tuotteen lähtölämpötila oli 22,1 °C ja aikaa kului 355 minuuttia, kunnes tuote saavutti alle 8 °C lämpötilan.

Kuva 17. Lämpötilan seuranta 200 g tuotteessa, loggeri sijoitettu reunimmaiseen pakkaukseen.



Kuvan (kuva 18.) lämpötilanmittausloggeri sijoitettiin jakeluyksikön keskimmäiseen pakkaukseen. Lähtö lämpötila tuotteella oli 21,7 °C ja tuote saavutti alle 8 °C lämpötilan 680 minuutin kuluttua. Ilmiö on saman suuntainen kuin suuremmilla 1 kg tuotteilla. Reunimmaisiet tuotteet jäähtyvät nopeammin, kuin jakeluyksikön keskellä sijaitsevat tuotteet. Ympäröivät tuotteet eristävät ja estävät ilmavirtauksen pääsemisen suoraan keskimmäisiin pakkauksiin.

Kuva 18. Lämpötilan seuranta 200 g tuotteessa, loggeri sijoitettu keskimmäviseen pakkaukseen.



Tuotteiden sijainti myyntiyksikössä vaikutti merkittävästi tuotteen jäähtymiseen kuluneeseen aikaan. Reunimmaisheet tuotteet jäähtyvät nopeammin, koska ilma pääsee paremmin kiertämään, eivätkä ympäröivät tuotteet toimi eristeenä.

7 Johtopäätökset ja pohdinta

Työn tavoitteena oli tutkia jogurtin kypsytyksen jälkeisen jäähdytyksen optimointia ja löytää alin lämpötila, johon tuote voidaan jäähdyttää ilman, että rakenteelliset ominaisuudet kärsivät. Kokeellinen tutkimus onnistui ja jäähdytyslämpötilojen vaikutukset olivat linjassa tietoperusteisen viitekehysten mukaisia. Yleisesti suositeltu kypsytyksen jälkeinen jäähdytyslämpötila 15–22 °C lämpötilaan oli perusteltua. Jogurttimassassa ilmeni heroittumista ja rakenteen heikkenemistä, kun jäähdytyslämpötilaa laskettiin alle 15°C. Tuloksissa oli selvä trendi heroittumisen suhteen, mitä kylmemmäksi jogurttia jäähdytettiin, sitä suurempaa oli heran erottuminen. Jogurttien viskositeetti oli alhaisempi kylmemmiksi jäähdytetyillä tuotteilla.

Koeajoja ja mittaustuloksia kertyi vain vähän johtuen opinnäytetyöprosessin tiukasta aikataulusta. Analysoitavia näytteitä oli 80 kappaletta, joten paremman luotettavuuden kannalta koeajo olisi hyvä suorittaa uudelleen pienemmässä mittakaavassa ja käyttää jäähdytyksen jälkeen rakenteenmuokkausventtiiliä. Tällöin näytteiden rakenne saataisiin

tasaisemmaksi, eikä aiheuttaisi viskositeetin mittauksessa hajontaa, kuten nyt oli havaittu maustamattomassa 15 °C lämpötilaan jäädytetyissä tuotteissa. Uudessa koeajossa olisi hyvä tutkia tarkemmin jäädytyslämpötiloja 15 - 20°C välillä ja seurata löytyykö tältä väliltä merkittäviä eroja tuotteen rakenteen suhteen. pH:n mittauksen suhteen on tulevaisuudessa huomioitava, että näytteet ovat temperoituneet ja kaikki mitattavat tuotteet ovat vakio- lämpöisiä. Tällöin tuotteen happanemisen seuranta olisi luotettavampaa. Lisäksi jäädytysvaraston lämpötilaseuranta lämpötilan mittausloggereiden avulla olisi hyvä tutkia tarkemmin. Työssä tehty otanta oli hyvin pieni, mutta tällä havaittiin, että tuotteiden jäähtyminen oli odotettua hitaampaa. Tuotteiden sijainnilla jakeluyksiköissä oli myös suuri vaikutus jäähtymisnopeuteen, joten lämpötilanmittausloggereita olisi hyvä sijoittaa useampia jäädytettävään lavaan ja sijoitella niitä eripuolille.

Yhteenvetona, koe osoitti, että kypsytyksen jälkeen jäädytystä ei voi tehdä alle 15 °C ilman, että tuotteen rakenteelliset ominaisuudet tuotteessa heikkenevät. Maustamattoman ja hillolla maustetun tuotteen välillä ei havaittu keskenään suuria eroja. Maustetun tuotteen osalta hillonpalat näkyivät hieman viskositeettimittauksessa hajontana. Mikäli kypsytyksen jälkeistä lämpötilaa lasketaan nykyisestä 20 °C lämpötilasta alemmaksi, saavutettaisiin sillä alhaisempi pakkauslämpötila ja tuotteet päätyisivät viileämpinä jäädytysvarastoon. Alemmassa lämpötilassa saapuvat tuotteet jäähtyisivät lyhyemmässä ajassa jäädytysvarastossa. Tämän todentamiseen pitäisi tehdä lisää kokeita ja löytää oikea kypsytyksen jälkeinen jäädytyslämpötila 15 - 20°C väliltä. Tämän jälkeen olisi suoritettava koeajo tuotantomittakaavassa, jotta todellinen potentiaali varmistuu. Samalla tuotteiden laajempi seuranta jäädytysvaraston puolella olisi hyvä suorittaa, jotta saadaan parempi käsitys todellisesta jäähtymisajasta. Jäädytysvaraston toiminnan tarkempi tutkiminen voisi tuoda myös parannusta ehdotuksia ja parantaa jäädytyksen tehokkuutta. Olisi hyvä tutkia voidaanko jäädytystehoa lisätä jäädytysvarastossa ja onko ilmapuhallukset oikein kohdistettuja. Näiden toimenpiteiden jälkeen voitaisiin arvioida todellinen hyöty, kun oikea kypsytyksen jälkeinen lämpötila.

Lopputuloksena optimaalista kypsytyksen jälkeistä lämpötilaa ei saatu selville. Ainoastaan todennettua, että alle 15 °C lämpötilaan jogurttia ei voida jäädyttää. Tämän vuoksi ei pystytä varmasti sanomaan, kuinka nopeasti tuotteet jäähtyisivät jäädytysvarastossa, koska lähtölämpötilaa ei tiedetä. Jäädytyksen lämpötilan laskua esittävästä kuvaajasta voidaan arvioida, että kahden asteen lämpötilan laskulla voitaisiin saavuttaa 1kg tuotteiden osalta 90 – 220 minuuttia lyhyempi jäähtymiseen kuluva aika jäädytysvarastossa. 200g tuotteiden osalta kahden asteen lämpötilan lasku toisi 25-60 minuutin verran lyhyemmän jäädytysajan.

Lähteet

Aho, J. ja Hildèn, T. (2007) *Maidon matkassa*. Edita Prima Oy.

Alfa Laval. (2024) Tiivisteellisen levylämmönvaihtimen huolto-opas.

<https://assets.alfalaval.com/documents/p4026c63d/alfa-laval-maintenance-manual-fi.pdf>

Arla. (n.d.) Historiamme <https://www.arla.fi/yritys/historiamme/>

Bylund, G. (2003) *Dairy processing handbook*. Tetra Pak Processing Systems AB.

Chandan, R. & Kilara, A. (2013) *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*.
John Wiley & Sons, Incorporated.

Eliter (10.6.2024) <https://www.eliter-packaging.com/types-yogurt-packaging-machines>

Eliter (31.5.2024) <https://www.eliter-packaging.com/form-fill-seal-pre-formed>

Hui, Y. H., Meunier-Goddik, L., Solvejg Hansen, Å., Josephsen, J., Nip, W-K., Stanfield, P., Fidel Toldrá, F., (2004) *Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology*. Marcel Dekker, Inc.

Lee, W. J., Lucey, J. A. (2004) Structure and Physical Properties of Yogurt Gels: Effect of Inoculation Rate and Incubation Temperature. *Journal of Dairy Science Vol. 87, No. 10, 3153–3164*.

Mantech. (2.10.2021) <https://mantech-inc.com/faq/how-does-mantech-account-for-temperature-compensation-and-correction-in-ph-measurements/>

Pietikko. (n.d.) <https://www.pietiko.fi/tuotteet/lampotilamittarit-loggerit-ja-anturit/lampotilaloggerit/thermochron-ds1921g-nappiloggeri-40-85c/>

Pihkala, J. (2011) *Prosessitekniikka Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit*.
Punamusta Oy.

Ruokavirasto. (2.1.2023.) Elintarvikkeiden lämpötilojen hallinta.

<https://www.ruokavirasto.fi/tietoa-meista/oppaat/ieh/ieh-06/06-elintarvikkeiden-lampotilojen-hallinta/#id-liite-1-oiva-arviointiohje-62-rekisteroityja>

SPXFLOW. (n.d) <https://www.spxflow.com/plate-heat-exchangers/>

Tamime, A. (2006) *Fermented Milks*. Blackwell Science Ltd

Tetra pak. (n.d.) <https://www.tetrapak.com/solutions/integrated-solutions-equipment/filling-machines/tetra-rex-28>

Valio. (2.8.2023) Riihimäen meijeri ja välipalatehdas loistavat ympäristöasioissa ja työturvallisuudessa. <https://www.valio.fi/yrittys/valion-tehtaat-suomessa/riihimaki/>

Valio. (24.6.2018) Valiojogurtti® 50 vuotta: näin syntyi suomalaisten suosikkijogurtti <https://www.valio.fi/artikkelit/valiojogurtti-50-vuotta-nain-syntyi-suomalaisten-suosikkijogurtti/>

Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., Van Boekel, M. A. J. S. (1999) *Dairy Technology*. Marcel Dekker, Inc.

Liite 1. Aineistonhallintasuunnitelma

Tutkimusaineiston tallennus ja säilytys

Opinnäytetyön tutkimustulokset tallennetaan oman työkoneen verkkoasemalle. Tiedostoille ei ole muilla pääsy eikä katselu oikeuksia. Varmuuskopio suoritetaan muistitikulle.

Työssä ei julkaista reseptitietoja, tarkkoja tuotteen tietoja eikä prosessiarvoja, jolla tutkimus on suoritettu.

Henkilötietojen ja arkaluonteisten tietojen käsittely

Työssä ei käsitellä henkilö- tai arkaluonteisia tietoja.

Opinnäytetyöaineiston omistajuus

Opinnäytetyön aineiston ja tulokset omistaa opinnäytetyön tekijä, mutta nämä luovutetaan toimeksiantajan käyttöön.

Opinnäytetyöaineiston jatkokäyttö työn valmistumisen jälkeen

Materiaali ja tulokset luovutetaan toimeksiantajalle ja voi tarpeen mukaan hyödyntää tuloksia jatkotutkimuksissaan.