
**HIILIDIOKSIDIN KÄYTTÖ VALIO OLTERMANNI®
JUUSTON VALMISTUKSESSA**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma,
meijeriteknologian suuntautumisvaihtoehto

Visamäki, 23.3.2012

Kaisaleena Koivisto



Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Hämeenlinna

Työn nimi Hiilidioksidin käyttö Valio Oltermanni® juuston valmistuksessa

Tekijä Kaisaleena Koivisto

Ohjaava opettaja Matti Tapaila

Hyväksytty _____ . _____ . 20 _____

Hyväksyjä

Visamäki, Hämeenlinna
Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Meijeriteknologian suuntautumisvaihtoehto

Tekijä	Kaisaleena Koivisto	Vuosi 2012
Työn nimi	Hiilidioksidin käyttö Valio Oltermanni [®] juuston valmistuksessa	

TIIVISTELMÄ

Juustojen valmistuksessa käytetään yleisesti happamuudensäätöaineena kalsiumkloridia (CaCl_2). Pastöroinnissa maidon kalsium-kaseiinitasapaino häiriintyy kalsiumsuolojen kiinnittyessä proteiiniin, jolloin vapaan kalsiumin määrä alenee ja maidon juoksettumisominaisuudet heikkenevät. CaCl_2 -lisäyksellä nostetaan juustomaidon vapaan, ionimuotoisen kalsiumin pitoisuus ennen pastörointia vallinneelle tasolle. CaCl_2 -lisäyksen tuomat edut voidaan saavuttaa myös laskemalla juustomaidon pH hetkellisesti sopivalle tasolle juoksettamista ajatellen, jolloin proteiiniin kiinnittynyt maidon oma kalsium vapautuu.

Hiilidioksidin (CO_2) syöttö on yksi keino maidon pH:n hetkelliseen alenemiseen. Tässä opinnäytetyössä testattiin CO_2 :n käyttöä Valio Oltermanni[®] juuston valmistuksessa sekä pyrittiin löytämään sellainen pH:n ja juoksetteen yhdistelmä, jolla CaCl_2 tuomat edut voitaisiin korvata. Työssä testattiin kahta esikokeiden perusteella valittua juoksetteenlisäys pH:ta ja kolmea eri juoksetta. Koe- sekä vertailuerille suoritettiin raekokomittaukset sekä määritettiin laskuheran ja tuorejuuston koostumukset. Lisäksi työssä otettiin huomioon toimenpiteiden vaikutukset tuotteen saantoon sekä aistittavaan laatuun aistinvaraisilla arvioinneilla. Työn teoriatausta kerättiin alan kirjallisuudesta, Juustontuotanto-opintojakson opintomateriaalista, opinnäytetyön aihetta käsittelevistä artikkeleista sekä alan asiantuntijoilta.

Työn tulosten perusteella pystyttiin toteamaan, että maidon pH:n laskeminen CO_2 :n avulla mahdollistaa Valio Oltermanni[®] juuston valmistamisen ilman CaCl_2 :a. Erot tulosten välillä olivat hyvin pieniä ja jokaisen koeajoissa käytetyn juoksetteen kohdalla juustomaidon CO_2 -käsittely riitti korvaamaan CaCl_2 -lisäyksen. Tuloksista pystyi kuitenkin selvästi toteamaan optimaalisen pH:n ja juoksetteen yhdistelmän ajatellen juuston koostumusta ja saantoa. Tekemällä uusia toistoja näissä koeajoissa hyväksi havaituilla yhdistelmillä voitaisiin tuloksia vielä vahvistaa ja niiden luotettavuutta lisätä.

Avainsanat Juuston valmistus, hiilidioksidi, kalsiumkloridi, juoksete, juoksettuminen

Sivut 50 s, + liitteet 6 s.

Visamäki, Hämeenlinna
Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering
Dairy Technology

Author	Kaisaleena Koivisto	Year 2012
Subject of Bachelor's thesis	The use of carbon dioxide in the manufacture of Valio Oltermanni [®] Cheese	

ABSTRACT

Calcium chloride (CaCl₂) is used as an acidity regulator in cheese making. The pasteurization of milk disturbs the calcium-casein balance by attaching calcium salts to the protein and due to this, coagulation properties of milk weaken. The CaCl₂ addition increases the content of free, ion-shaped calcium of the cheese milk to the level prior to the pasteurization. Benefits of the CaCl₂ addition can be achieved by lowering momentarily the pH of the cheese milk to the suitable level during renneting when the milk's own protein attached calcium is released.

Carbon dioxide (CO₂) can be used when lowering the milk pH momentarily. In this thesis, CO₂ was tested in the manufacture of Valio Oltermanni[®] cheese and the aim was to discover the right kind of pH and rennet combination to replace the CaCl₂. Two pH values, selected based on preliminary trials, and three rennets were tested. To the experimental and comparison batches, grain size measurements and determinations of the consistency of unripened cheese and whey from the cheese vat were carried out. In addition, the effects of the measures to the product yield and to the sensory quality were evaluated. The theoretical background was collected from the dairy and cheese literature, lecture notes from the cheese-making course, experts in the field and articles dealing with the thesis topic.

Based on the results it was possible to say that lowering the milk pH momentarily by CO₂ enables the Valio Oltermanni[®] cheese production without the CaCl₂. Differences between the results were very small. The CO₂ treatment was enough to compensate the CaCl₂ addition with each of the rennets used in the test runs. From the results, it was possible to find the optimal pH and rennet combination what comes to the cheese composition and yield. By making some new trials with the combinations that stood out in a positive way it is possible to confirm the results and increase the reliability.

Keywords Cheese making, carbon dioxide, calcium chloride, rennet, coagulation

Pages 50 p + appendices 6 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Tietotausta.....	1
1.2	Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoite.....	1
1.3	Tutkimuskysymysten esittely.....	2
2	VALIO OY HAAPAVESI.....	3
2.1	Haapavedellä valmistettavat Valio Oltermanni® tuotteet.....	3
3	MAIDON SAOSTAMINEN JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	5
3.1	Maidon Proteiinit.....	5
3.1.1	Kaseiini.....	5
3.1.2	Heraproteiinit.....	6
3.2	Maidon juoksettumisominaisuudet.....	7
3.2.1	Kylmävarastointi ja sen vaikutus juoksettumiseen.....	8
3.2.2	Pastörinti ja sen vaikutus juoksettumiseen.....	8
3.2.3	Happamuus.....	9
3.2.4	Kalsiumkloridilisäys.....	9
3.3	Juoksetteet.....	9
3.4	Juoksettaminen entsyymaattisesti.....	10
4	JUUSTON SAANTOON SEKÄ LAATUUN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	12
4.1	Juoksettuma ja leikkausajankohta.....	12
4.2	Raekoko.....	12
5	HIILIDIOKSIDIN KÄYTTÖ JUUSTONVALMISTUKSESSA.....	14
5.1	Hiilidioksidi.....	15
5.1.1	Hiilidioksidin terveysvaikutuksia.....	16
5.1.2	Hiilidioksidin ympäristövaikutus.....	17
5.2	Kokemuksia hiilidioksidin käytöstä juustonvalmistuksessa.....	17
5.3	Teknisiä ratkaisuja.....	19
6	HIILIDIOKSIDIKOKEET.....	21
6.1	Esikokeet ja koesuunnittelu.....	21
6.2	Materiaalit ja menetelmät.....	23
6.2.1	Näytteenotto.....	23
6.2.2	Raekokomääritys.....	24
6.2.3	NIR -analyysi.....	24
6.2.4	Heran rasva- ja kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen.....	24
6.2.5	Aistinvarainen arviointi.....	25
6.2.6	Aineiston tilastollinen käsittely.....	25
7	HIILIDIOKSIDIKOKEIDEN TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	27
7.1	NIR -analyysi.....	28
7.1.1	Rasvattoman osan vesipitoisuus (ROV).....	28
7.1.2	Kuiva-aineen rasva (KAR).....	29
7.1.3	Rasvan siirtymä (Rs) ja rasvattoman kuiva-aineen siirtymä (RKAs) ...	30

7.2	Saanto	31
7.3	Raekoko.....	33
7.4	Heran rasva- ja kuiva-ainepitoisuus	35
7.5	pH:n muutos suhteessa aikaan.....	36
7.6	Koejuustojen aistinvaraisenarvioinnin tulokset	38
7.6.1	1. koeajon myyntiinhyväksyntä.....	38
7.6.2	2. koeajon myyntiinhyväksyntä.....	38
7.6.3	3. koeajon myyntiinhyväksyntä.....	39
7.6.4	4. koeajon myyntiinhyväksyntä.....	39
7.6.5	1. koeajon laajennettu kolmitesti	39
7.6.6	2. koeajon laajennettu kolmitesti	40
7.6.7	3. koeajon laajennettu kolmitesti	41
7.6.8	4. koeajon laajennettu kolmitesti	42
7.7	Virhelähteet	43
7.8	Yhteenvedo tuloksista	44
8	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	46
	LÄHTEET	48
Liite 1	Laajennetun kolmitestin lomake	
Liite 2	Kolmitestin tilastollinen taulukko	
Liite 3	Vastetaulu hiilidioksidikokeiden tuloksista	
Liite 4	Hiilidioksidikokeiden tulosten tilastollinen merkitsevyys	
Liite 5	Hiilidioksidikokeiden tulosten keskiarvot ja keskihajonnat	
Liite 6	Juustomaidon tiedot	

1 JOHDANTO

Raakamaidon vapaan eli liukoisen kalsiumin määrä on noin 40 % eli noin 0,5 g/litra. Pastöroinnissa tämä vapaa kalsium sitoutuu proteiiniin, jolloin maidon kalsium-kaseiinitasapaino häiriintyy ja seurauksena maidon juoksettumisominaisuudet heikkenevät. Koska juoksettumisessa tarvitaan vapaata kalsiumia, täytyy juustomaitoon lisätä esimerkiksi kalsiumkloridia (CaCl₂). Kalsiumkloridi toimitetaan Valio Oy:n tehtaille noin 33 % liuoksesta noin tuhannen litran kertakäyttökonteissa. Konttien käsittely tuotantotiloissa ei ole täysin ongelmaton muun muassa hygienia-alueiden vuoksi ja konttien kierrätys vaatisi oman järjestelmänsä. (Kärki, sähköpostiviesti 12.12.2011.) Esimerkiksi Valio Oy:n Haapaveden tehtaalla kalsiumkloridia käytetään noin 3 - 4 konttia viikossa.

Syöttämällä hiilidioksidia (CO₂) juustomaitovirtaan kattilan täytön yhteydessä, voidaan maidon pH laskea hetkellisesti sopivalle tasolle juoksettamista ajatellen, jolloin on mahdollista saavuttaa kalsiumkloridin tuomat edut ilman kalsiumkloridilisäystä. pH:n alentaminen vapauttaa pastöroinnissa proteiiniin kiinnittyneen maidon oman kalsiumin, jolloin se on käytettävissä juoksettumisessa. Mahdollisesti myös juoksetteen määrää voidaan vähentää tai juoksettumista nopeuttaa hiilidioksidikäsitteilyn ansiosta, mutta nämä seikat eivät ole ensisijaisia tavoitteita tässä opinnäytetyössä.

1.1 Tietotausta

Työn teoriaosassa selvitetään hiilidioksidin käyttöä juustonvalmistuksessa perehtymällä muun muassa aikaisempiin tutkimuksiin. Lisäksi käydään läpi maidon juoksettumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Teoriaosiossa perehdytään myös hyvän juoksettuman ominaisuuksia ja niiden merkitykseen valmiin juuston kannalta.

1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on siis selvittää hiilidioksidin käyttöä Valio Oltermanni[®] juuston valmistuksessa. Hiilidioksidin avulla maidon pH:ta lasketaan, jolloin maidon vesifaasin kalsiumionien määrä kasvaa ja juoksettuma paranee (Ollikainen, tutkimus 15.10.1984).

Tehtävänä on siis etsiä sopiva hiilidioksidin annostusmäärä ja juoksete sekä juoksetteenlisäys pH optimaalisen juoksettuman aikaansaamiseen ilman kalsiumkloridilisäystä. Työssä testataan kahta esikokeiden perusteella valittua juoksetteenlisäys pH:ta sekä kolmea eri juoksetta, joista yksi on luomujuustolle soveltuva. Hiilidioksidikäsitteilyn käyttöönotto edellyttää, että kustannukset eivät kasva saavutettuihin hyötyihin nähden liikaa eikä juustosaanto kärsi.

Työssä huomioidaan maidon lämpökäsitteilyn vaikutus juoksettumiseen ja tehdään raekokomittauksia sekä määritetään laskuheran ja tuorejuuston koostumusta. Lisäksi työssä otetaan huomioon toimenpiteiden vaikutukset

tuotteen saantoon sekä aistittavaan laatuun aistinvaraisten arviointien avulla.

1.3 Tutkimuskysymysten esittely

Tässä opinnäytetyössä haetaan vastausta erityisesti seuraaviin kysymyksiin: Mikä on sopiva juoksetteenlisäys pH optimaalisen juoksettuman aikaansaamiseen ilman kalsiumkloridilisäystä? Millainen juoksetteen ja pH:n yhdistelmä on optimaalinen? Miten toimenpiteet vaikuttavat juuston saantoon ja aistittaviin ominaisuuksiin?

2 VALIO OY HAAPAVESI

Tämän työn toimeksiantajana toimii Valio Oy Haapaveden tehdas. Valio Oy Haapaveden tehdas on perustettu vuonna 1963 ja siellä on valmistettu juustoja vuodesta 1974 sekä maitojauheita vuodesta 1965. Kun juuston-tuotanto vuonna 1974 alkoi, oli tuotteena edamjuusto. Nykyisin Haapave-den juustola valmistaa ainoastaan Valio Oltermanni® juustoja. Valio Ol-termanni® juuston valmistus alkoi vuonna 1993. Demineralisoitua hera-jauhetta on aloitettu valmistamaan vuonna 1986 ja vasikanjuottojauheet ovat tulleet tuotantoon vuonna 1999. Vuonna 2010 Valio Oy Haapaveden tehdas valmisti yhteensä 24 479 tonnia juustoa. (Valion sisäinen tietokan-ta, Weeti.)

2.1 Haapavedellä valmistettavat Valio Oltermanni® tuotteet

Valio Oltermanni® on murukoloinen kermajuusto, jota kypsytetään vähin-tään neljä viikkoa. Valio Oltermanni® juustoa valmistetaan neljää rasvapi-toisuudeltaan erilaista laatua. Rasvaprosenttiltaan kevyin Valio Olterman-ni® juusto on Valio Oltermanni® 9 %. Lisäksi Valio Oltermanni® juustoi-hin kuuluvat 29 % Valio Oltermanni® (kuva 1), Valio Oltermanni® 17 % ja Valio Oltermanni® Luomu™ sekä pääasiassa Venäjän vientiin tuotettu normaalia rasvaisempi Valio Oltermanni® juusto, jota valmistetaan myös Suomen markkinoille nimellä Valio Oltermanni® Täyteläinen. (Valio Oy 2012.)

Valio Oltermanni® juustojen lisäksi Haapavedellä valmistettaviin Valio Oltermanni® tuotteisiin kuuluu Valio Oltermanni® rypsi, jonka valmistuk-sessa kaksi kolmasosaa maidon rasvasta on korvattu rypsiöljyllä. (Valio Oy 2012.) Silloin, kun jotain maidon ainesosaa korvataan jollakin muulla elintarvikkeella, ei tuotetta saa lainsäädännöstä johtuen kutsua maitoval-misteiden perinteisillä nimillä. Tästä johtuen Valio Oltermanni® rypsiä ei siis saa kutsua juustoksi. (Neuvoston asetus (ETY) 1898/87 art. 2 (EYVL N:o L 182, 3.7.1987, 36.)



Kuva 1 Valio Oltermanni® (Valio Oy 2011).

Valio Oltermanni® juustot valmistetaan pastöroidusta maidosta mesofiili-sen LD-hapatteen sekä FPC (fermentation produced chymosin) juokset-teen avulla (Tapaila 2010b). Valmistuksessa käytetään myös kalsiumklo-ridia happamuudensäätöaineena ja juustot suolataan jodivapaalla ruoka-

suolalla suolavedessä. Joissakin Valio Oltermanni[®] juustoissa käytetään lisäksi aromia antavia lisähapatteita. (Kärki, Valmistespesifikaatio: Oltermannit ja Turunmaa 13.6.2011.)

Valio Oltermanni[®] juustojen rakenne on pehmeäkö, tasainen, leikkautuva ja helposti höylättävissä. Juustojen leikkauspinta on epäsäännöllisten murukolojen peittämä. Murukolojen koko vaihtelee nuppineulanpään kokoisesta riisinjyvän kokoiseen. Juustot ovat väriltään tasaisia, lämminsävyisiä ja vaaleankeltaisia. Flavoriltaan Valio Oltermanni[®] juustoja kuvaillaan aromikkaiksi, mietoiksi, melko täyteläisiksi, hieman happamiksi ja suolaisiksi. (Kärki, Valmistespesifikaatio: Oltermannit ja Turunmaa 13.6.2011.)

3 MAIDON SAOSTAMINEN JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Maidon saostaminen eli juoksettaminen on juustonvalmistuksen perusta. Maito sisältää karkeasti jaoteltuna kahdenlaisia proteiineja, kaseiinia ja heraproteiineja, joista kaseiini voidaan saostaa juustoksi hapon ja/tai juoksetteen avulla. Syntyneen saostuman sisään jäävät rasva sekä osa juuston vedestä ja siihen liuenneista aineista, kuten osa kalsiumista ja laktoosista sekä laktoosista happanemisen myötä syntyneestä maitohaposta. Heraproteiinit pysyvät liukoisena vedessä, joten ne eivät jää saostumaan. Saostuman ominaisuuksilla ja laadulla on merkitystä siihen, mitkä ainesosat siirtyvät juustoon ja mitkä heraan. Maidon juoksettumisominaisuuksien ja koostumuksen lisäksi juoksettamiseen vaikuttavat muun muassa maidon varastointi, lämpökäsittely, happamuus ja kalsiumpitoisuus sekä käytettävän juoksetteen määrä ja aktiivisuus. (Aho & Hildèn 2007, 116–117, 121; Taipala 2005, 47.)

3.1 Maidon Proteiinit

Proteiinit koostuvat aminohappojen muodostamista ketjuista ja yhdessä proteiinimolekyylissä on noin 100 - 200 aminohappoa. Aminohappojen tyyppi ja järjestys määräävät proteiinin ominaisuudet. Maidossa esiintyy 18 erilaista aminohappoa. (Aho & Hildèn 2007, 35.)

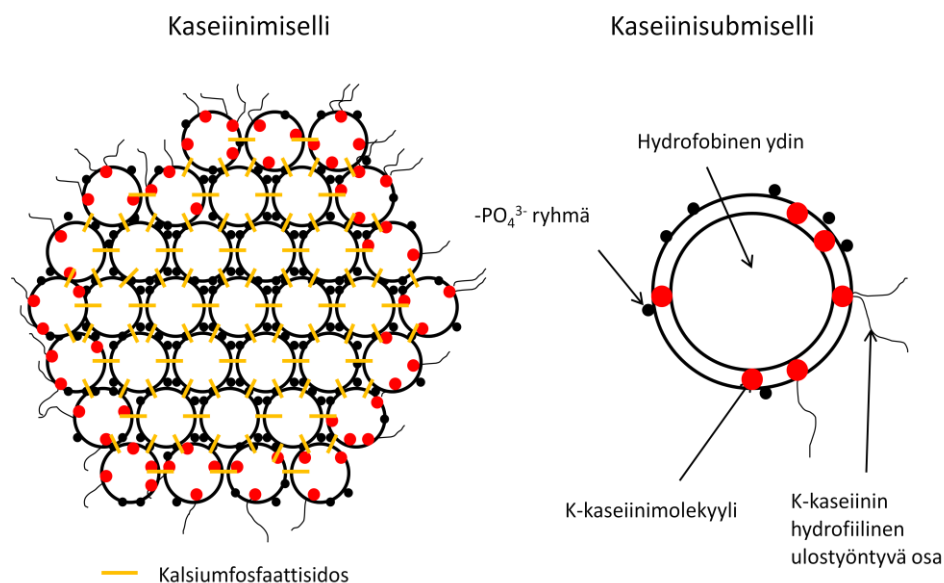
Maidon vesiosassa on satoja erilaisia proteiineja. Suurin osa niistä esiintyy vain todella pieninä määrinä. Maidon proteiinit voidaan jaotella niiden kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien sekä biologisten toimintojen mukaan. Tavallisesti maidon proteiinit jaetaan karkeasti kaseiineihin (n. 80 %) ja heraproteiineihin (n. 20 %). Myös biokemiallisissa reaktioissa katalyytteinä toimivat entsyymit kuuluvat proteiineihin. (Milk Works – verkkopalvelu n.d.; Bylund 2003, 26–27.)

3.1.1 Kaseiini

Vain maidossa esiintyvää kaseiinia on maidon kokonaismäärästä 2,6 %. Kaseiini on veteen liukenematon suurimolekyylinen proteiini, joka sisältää kalsiumia, fosforia ja rikkiä. Happoihin ja emäksiin liukenevien kaseiinien päätyyppejä maidossa ovat: alfa-, beeta-, ja kappakaseiini. Kaseiinimolekyylien ionisoivien ryhmien runsauden sekä hydrofobisten ja hydrofiilisten puolien vuoksi kaseiinimolekyylien muodostamat suuret molekyylikompleksit eli polymeerit ovat hyvin erityisiä. Näitä kooltaan 0,4 mikrometriä olevia polymeerejä kutsutaan kaseiinimiselleiksi ja ne muodostuvat kalsiumfosfaattisidosten avulla. Maidon proteiineista kaseiini voidaan saostaa entsyymaattisesti. (Milk Works – verkkopalvelu n.d.; Bylund 2003, 27.)

Kuvassa 2 on esitetty kaseiinimisellin sekä submisellin rakenne. Kaseiinimiselli koostuu siis submiselleistä, jotka ovat liittyneet yhteen kalsiumfosfaattisidosten avulla. Misellien koko riippuukin hyvin paljon kalsiumionien määrästä, joita ilman kaseiinimiselli hajoaisi submiselleiksi.

Keskikokoinen miselli on muodostunut noin 400 - 500 submisellistä. (Bylund 2003, 28.)



Kuva 2 Kaseiinimisellin ja kaseiinisubmisellin rakenne (Bylund 2003, 27–28).

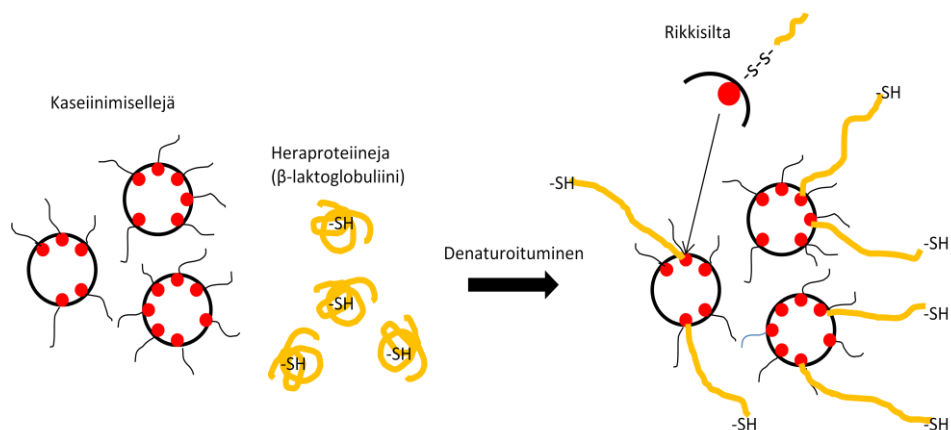
α -, β - ja κ - kaseiini ovat jakautuneet heterogeenisesti eri submiselleihin, mutta α - ja β - kaseiinit sijaitsevat pääasiassa submisellin keskiosassa, kun taas κ - kaseiini hallitsee submisellin pintaosia. κ - kaseiinipitoiset submisellit ovat asettuneet kaseiinimisellin reunamille ja κ - kaseiinista ulostyöntävät hydrofiiliset osat, glykomakropeptidit, muodostavat kaseiinimisellin pinnalle karvaisen kerroksen. Tämä niin sanottu karvainen kerros vaikuttaa kaseiinimisellin vakautteen negatiivisen varauksen ja steerisen stabiilisuuden vuoksi. Hydrofiilisen karvaisen kerroksen pois siirtyminen esimerkiksi juoksetteen vaikutuksesta poistaa kaseiinimisellin kolloidisen vakauden ja misellit saostuvat, sillä α - ja β - kaseiini saostuvat kalsiumionien kanssa. (Bylund 2003, 28; Walstra, Geurts, Noomen, Jellema & van Boekel 1999, 79.)

3.1.2 Heraproteiinit

Maidon kokonaismäärästä heraproteiinien osuus on 0,5 %. Heraproteiinit ovat vesiliukoisia ja ne eivät juoksetu juustonvalmistuksessa vaan jäävät heraan. Heraproteiinit saostuvat kuumentamalla maito 70 - 80 °C:een. Maidon kuumennuksessa esim. pastöroinnissa heraproteiinit muodostavat kaseiinien kanssa komplekseja, jotka heikentävät maidon juoksettumis- ja kalsiuminsidontakykyä. (Milk Works – verkkopalvelu n.d.)

Suurin osa eli noin 50 % maidon heraproteiineista on β -laktoglobuliinia. β -laktoglobuliini on todella lämpöherkkä, sillä se alkaa denaturoitua 65 °C:ssa ja denaturoituu täysin kuumennettaessa 90 °C:ssa viisi minuuttia. Heraproteiinien denaturoituminen on peruuttamaton reaktio. Erityisesti denaturoitunut β -laktoglobuliini sitoutuu lämpökäsittelyn tehon kasvaessa yhä tiukemmin rikkisilloin κ -kaseiiniin, jolloin se siirtyy heran sijasta

juustoon (kuva 3). Tästä on seurauksena juustosaannon kasvu, mutta pehmeämpi saostuma. (Bylund 2003, 38.)



Kuva 3 β -laktoglobuliinin denaturoituminen ja sitoutuminen κ -kaseiiniin (Bylund 2003, 38).

3.2 Maidon juoksettumisominaisuudet

Maidon hyvä juoksettumiskyky on oleellinen kiinteän rakeiston ja syneeresin muodostumisen kannalta. Maidon juoksettumiskyky on osittain riippuvainen maidon vaihtelevasta kalsiumionien (Ca^{2+}) sekä fosfaattien määrästä. Ca^{2+} -ionien sekä fosfaattien määrään maidossa vaikuttavat muun muassa kylmävarastointi ja pastörinti. Myös maidon luonnollinen koostumus on tärkeä ajatellen juoksettumiskykyä. Laktaatiokauden loppuvaiheen maidon, ternimaidon ja utaretulehdusmaidon koostumukset eivät ole normaaleja juustonvalmistuksen kannalta. (Tapaila 2005, 42–43.)

Juoksettumisominaisuudet ja maidon kemiallinen koostumus ovat lehmärotukohtaisia. Myös lehmän laktaatiokaudella ja terveydentilalla sekä ympäristökijöillä on merkityksensä. Ympäristökijöihin luetaan vuodenajat, lehmien hoito ja ruokinta. Huonot lypsytavat ja hygienia altistavat lehmän utaretulehdukselle, joka heikentää maidon juoksettumisominaisuuksia. (Kammerlehner 1986, 5–6.)

Maidon sekä sen sisältämän kaseiinin koostumus on osittain perintöteki- jöistä johtuvaa. Heikosti juoksettuvan maidon κ -kaseiini on tyyppiä AA ja erittäin hyvin juoksettuvan tyyppiä BB. A ja B tyyppiä sisältävä maito on tyydyttävästi juoksettuvaa. Huonosti juoksettuvassa maidossa γ -kaseiinien sekä kaseiinien hajoamistuotteiden osuus on suurempi ja κ -, β - ja α -kaseiinien osuus pienempi kuin hyvin juoksettuvassa maidossa. (Kammerlehner 1986, 8.)

Juoksettumisnopeutta ajatellen maidon kalsiumpitoisuudella ja pH:lla on suurin merkitys. Kun maidon pH laskee, nopeutuu juoksettuminen lähes suoraviivaisesti, mutta liukoisen kalsiumin määrän ollessa pieni, juoksettuminen on erittäin hidasta. (Kammerlehner 1986, 80.)

3.2.1 Kylmävarastointi ja sen vaikutus juoksettumiseen

Maidon varastointilämpötilan laskeminen hidastaa maidon juoksettumista. Kylmäsäilytyksestä johtuvat muutokset maidossa tapahtuvat nopeasti heti ensimmäisen varastointivuorokauden aikana, jonka jälkeen tilanne pysyy lähes muuttumattomana. Kattilamaidon vähintään vuorokauden mittainen varastointi +4 °C:ssa nostaa maidon pH:ta ja huonontaa juoksettumista huomattavasti. Huonontunut juoksettuminen on seurausta maidon vapaan liukoisen kalsiumpitoisuuden laskusta ja myös toisaalta kalsiumin ja sitraatin irtoamisesta miselleistä. Kylmäsäilytyksen aiheuttamia muutoksia voi osittain korjata lämpökäsittämällä maito +60 °C:ssa 30 minuuttia tai lisäämällä maitoon kalsiumkloridia. (Kammerlehner 1986, 28, 80.)

3.2.2 Pastörinti ja sen vaikutus juoksettumiseen

Juustonvalmistuksessa suositetaan yleensä matalia pastörintilämpötiloja, sillä maidon lämpökäsittely yli 76 °C:een lämpötilassa vaikeuttaa juoksettumisen ja juustojen vesipitoisuuden hallintaa (Aho & Hildén 2007, 115).

Juustomaito pastöroidaan ennen juustonvalmistusta patogeenien ja myös muiden mikrobien inaktivoimiseksi, jolloin suojaudutaan suuremmilta yllättäviltä mikrobiologisilta haittavaikutuksilta. HTST (High Temperature Short Time) pastörinti tapahtuu yleensä nostamalla maidon lämpötila 72 - 75 °C:seen 15 - 20 sekunnin ajaksi. Tässä aika ja lämpötila yhdistelmässä tuhoutuu fosfataasientsyymi. Fosfataasitesti on hyvä tapa todentaa pastörintin onnistuminen. (Kammerlehner 1986, 16; Bylund 2003, 85.)

Pastörinti on erittäin lievä lämpökäsittely, joten se ei vaikuta merkittävästi maidon ravintoarvoon eikä kemialliseen koostumukseen. Pastörinti riittää tuhoamaan tautia aiheuttavat bakteerit sekä pahimmat virheköymisen aiheuttajat, koliformit. Se ei kuitenkaan tuhoa klostridi-itiöitä. Maito ei siis ole mikrobiota pastörintin jälkeen. Maidon pastörintin avulla helpotetaan juustolan tuotannonhallintaa ja tasoitetaan lopputuotteen laatua. Lisäksi raakamaitoon verrattuna pastörintoitu maito kermoittuu vähemmän juoksettumisen aikana. (Kammerlehner 1986, 16; Milk Works-verkkopalvelu n.d.)

Pastörintin avulla on juustontuotannon kannalta myös negatiivisia vaikutuksia. Se muun muassa pidentää juoksettumisaikaa, koska maidon kalsiumkaseiinitasapaino häiriintyy kalsiumsuolojen saostuessa. Lisäksi juoksettumasta tulee löysempää ja heran erottuminen vähenee, jolloin juuston kiinteys vähenee ja siitä tulee pehmeämpää. Heran erottuminen vähenee koska pastörinti aiheuttaa heraproteiinien osittaista denaturoitumista ja niiden vedensidontakyky kasvaa. HTST pastörintin aiheuttamat muutokset juoksettumisominaisuuksiin ovat kuitenkin pieniä. Nostamalla pastörintilämpötilaa, voidaan juustosaantoa kasvattaa merkittävästi. Pastörintilämmön nosto 85 - 95 asteeseen (°C) lisää heraproteiinien saostumista kaseiinin kanssa. Toisaalta mitä korkeampia lämpötiloja käytetään, sitä enemmän käsittelyllä on negatiivisia vaikutuksia juuston laatuun. (Kammerlehner 1986, 16-17; Tapaila 2010a.)

Juoksettumisaika pitenee, juoksettumasta tulee heikompaa ja synereesi heikkenee sitä mukaan kun lämpökäsittely voimistuu. Kalsiumkloridin lisääminen maitoon tai maidon pH:n laskeminen palauttaa juoksettumisajan ennalleen, jos lämpökäsittely ei ole ollut liian voimakas. Lämpökäsittelyn haitallinen vaikutus juoksettumiselle voidaan osittain korvata laskemalla maidon pH alle 6,0:n ja nostamalla se myöhemmin esimerkiksi 6,4:ään (Walstra ym. 1999, 549–550).

3.2.3 Happamuus

Hapatelisäyksellä on useita tehtäviä juuston valmistuksessa, mutta sen ensimmäinen tehtävä on laskea juustomaidon pH:ta muodostamalla maidossa olevasta laktoosista maitohappoa. Hapateen lisäysmäärällä voidaan siis osaltaan säädellä juustomaidon juoksettumisnopeutta. Suurempi hapate määrä tuottaa samassa ajassa enemmän maitohappoa, jolloin pH laskee ja juoksettuminen nopeutuu. Maitohapon muodostuminen myös stimuloi heran erottumista eli synereesiä, jolloin juustosta tulee kuivempi. Samasta syystä maitohapon määrä tulisi pitää hallinnassa, sillä alhainen pH liuottaa juustosta kolloidaalista kalsiumfosfaattia muuttaen sen rakenteen lyhyemmäksi ja vesipitoisuudesta riippuen myös tahmeaksi. (Kristensen 1999, 65; Tapaila 2010b.)

3.2.4 Kalsiumkloridilisäys

Maidossa on luonnostaan paljon kalsiumia, josta osa on vapaassa, liukoisessa muodossa ja osa on kiinnittynyt valkuaiseen. Koska lämpökäsittelyssä osa maidon vapaasta, liukoisesta kalsiumista muuttuu liukenemattomaksi, esimerkiksi trikalsiumfosfaatiksi, tehdään juustomaitoon kalsiumkloridilisäys nostamaan liukoisen kalsiumin määrä ennen lämpökäsittelyä valliinneelle tasolle. Tätäkin tärkeämpi merkitys kalsiumkloridilisäyksellä on sen mukanaan tuomalla happamuuden kasvulla. CaCl_2 parantaa saostuman ominaisuuksia ja nopeuttaa juoksettumista. Se laskee kaseiinin vedensitomiskykyä ja edistää siten synereesiä. Lisäksi erityisesti valkuaisainehävikki pienenee. Tavallisessa pastöroinnissakin ilmenee kalsiumhävikkiä, joten pastöroituun juustomaitoon lisätään usein kalsiumkloridia. Kalsiumkloridi lisätään juustomaitoon 33 - 34 % vesiliuoksena ja lisäysmäärä vaihtelee 20 - 30 g kiteistä kalsiumkloridia/100 l juustomaitoa välillä juustotyypistä riippuen. (Aho & Hildèn 2007, 120; Kammerlehner 1986, 9; Tapaila 2007, 4.)

3.3 Juoksetteet

Juoksetteet ovat maitoa saostavia entsyymejä, proteaaseja. Proteaasit hydrolysoivat proteiineja sekä niiden hajoamistuotteita. Proteaasien aktiivisuus kohdistuu peptididoksiin, mutta niiden vaikutus ei rajoitu pelkästään maidon saostamiseen, vaan koko juustonvalmistusprosessiin, kypsytämiseen, saantoon ja laatuun. (Kammerlehner 1986, 33.)

Juoksetteet jaotellaan eläinperäisiin, kasvipäisiin, mikrobiologisiin ja FPC (fermentation produced chymosin) juoksetteisiin. Kasvipäisiä juok-

setteita ei käytetä Suomessa meijeriteollisuudessa. Vasikanmahasta eristetty kymosiini on perinteinen juustonvalmistuksessa käytetty juokseteentsyymi. Nykyisin käytettävät eläinperäiset juokseteet sisältävät kymosiinin lisäksi vaihtelevia määriä naudan tai sian pepsiniä. Tyypillisesti teollisuudessa on käytössä FPC juokseteita, jotka valmistetaan mm. *Aspergillus nigerin* tai *Klyveromyces lactiksen* avulla ja lopputuotteena on 100 % puhdas kymosiini. (Tapaila 2010b.)

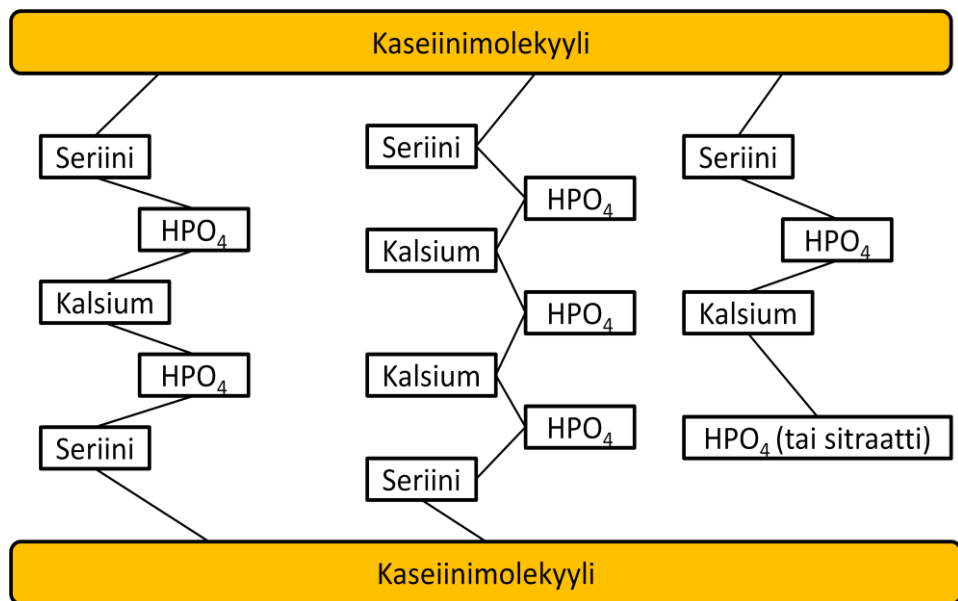
3.4 Juoksettaminen entsyymaattisesti

Juoksete lisätään maitoon tasaisesti ja hellävaraisesti sekoittamalla. Sekoitus ei saa kuitenkaan kestää kovin pitkään, sillä partikkelien kasaantuminen alkaa jo parin minuutin kuluttua juoksetteen lisäämisestä. Maidon liike pysäytetään mahdollisimman hyvin, sillä mitä liikkumattomampaa maito on juoksettumisen aikana, sitä parempi juoksettuma syntyy. Lämpötila, jossa juoksete lisätään, riippuu maidon rasvapitoisuudesta. Mitä korkeampi maidon rasvapitoisuus on, sitä korkeampi täytyy juoksetuslämpötilan olla, koska rasva estää juoksetteen vaikutusta. (Kammerlehner 1986, 73, 75.)

Juoksettumislämpötila vaihtelee 29 - 34 °C välillä riippuen käytetystä juoksetteesta ja halutusta lopputuloksesta. Alhainen lämpötila aiheuttaa heikon sekä hienon saostuman ja juustosta tulee kuiva. Korkea lämpötila saa aikaan vahvemman saostuman sekä karkeamman rakeiston ja juustosta tulee pehmeämpi. Lisäksi happamuuden lisääntyminen parantaa juoksetteen aktiivisuutta. (Tapaila 2010b.)

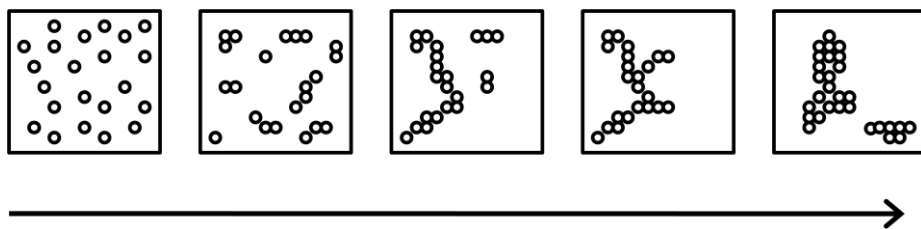
Juoksettuminen voidaan jakaa kahteen eri vaiheeseen; primäärinen vaihe on entsyymaattinen ja sekundäärinen vaihe on juoksettumisaostumisvaihe. Lisäksi synereesiä voidaan pitää juoksettumisen kolmantena vaiheena. Entsyymaattisessa eli primäärisessä vaiheessa maitoon lisätään juoksetta ja kaseiinimisellin pinnassa olevasta κ -kaseiinista irtoaa glykomakropeptidi, joka siirtyy heraan eli κ -kaseiini jakautuu para- κ -kaseiiniksi sekä hiilihydraattipitoiseksi ei-proteiiniosaksi eli glykomakropeptidiksi. Para- κ -kaseiini on liukenematonta ja alkaa siten muodostaa kolloidista kaseiinisaostumaa. Kaseiini muuttuu siis entsyymaattisessa vaiheessa parakaseiiniksi ja sen isoelektrinen piste muuttuu noin pH 4,6:sta pH 5 - 5,2:een. Entsyymaattinen vaihe tapahtuu maidossa ilman Ca^{2+} -ionien läsnäoloa. (Kammerlehner 1986, 66–68.)

Sekundäärinen eli juoksettumisaostumisvaihe on osittain seurausta van der Waalsin vetovoimasta, mutta se ei yksistään riitä. Lämpötilan lisäksi juoksettuminen riippuu juoksetemäärästä ja pH:sta sekä ennen kaikkea kalsiumin läsnäolosta, sillä ilman kalsiumia ei synny saostumaa. Kalsium vähentää misellien välistä sähköstaattista hylkimistä neutralisoimalla negatiivista varausta misellien välillä. Lisäksi kalsium pystyy muodostamaan siltoja parakaseiinimisellien negatiivisten puolien välille. Parakaseiinipartikkelit liittyvät toisiinsa siis kalsium-fosfaattisidoksin (kuva 4). Kalsiumin lisäksi maidon saostumiseen tarvitaan siis fosfaattia, mutta myös sitraattia. Maidossa olevan kalsiumin aktiivisuutta voidaan lisätä alentamalla maidon pH:ta. (Kammerlehner 1986, 67–68; Kristensen 1999, 54.)



Kuva 4 Kaseiinimolekyylit väliset poikittaissidokset (Kristensen 1999, 93).

Kuvassa 5 on esitetty parakaseiinimisellien ryhmittäytyminen muodostaen epäsäännöllisiä, usein kierteisiä joukkioita, jotka lopuksi muodostavat yhtenäisen verkoston, saostuman. Pian juoksetteen lisäyksen jälkeen yksittäiset kaseiinipartikkelit alkavat kasaantua yhteen. Kasautuminen jatkuu aluksi ilman näkyvää maidon viskositeetin muutosta. Myöhemmin maidossa alkaa olla puuromaisia kasaumia ja nestemäinen maito alkaa muuttua kaksifaasiseksi, kiinteäksi kaseiinipitoiseksi saostumaksi ja nestemäiseksi heraksi. Tämä yhteenliittyminen jatkuu niin kauan, että syntyy kiinteä kolmiulotteisesta kaseiiniverkosta muodostuva geeli. Juoksetesaostuma pyrkii lujittumaan misellien välisten sidosten lyhentyessä sekä lisääntyessä ja samalla verkoston sisään sulkeutunutta heraa poistuu eli alkaa synereesi. (Walstra ym. 1999, 559; Kammerlehner 1986, 68–69.)



Kuva 5 Parakaseiinimisellien saostuminen, saostuman muodostuminen ja synereesin alkaminen (Walstra ym. 1999, 559).

4 JUUSTON SAANTOON SEKÄ LAATUUN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Kaikilla juustonvalmistuksen vaiheilla on osaltaan vaikutuksensa juuston saantoon, koostumukseen ja laatuun. Juustonvalmistusvaiheiden lisäksi lehmä-, lehmärotu- ja ruokintakohtaisesti vaihtelevalla maidon kaseiinipitoisuudella on ratkaiseva merkitys juustosaannon kannalta. Maidon kaseiinipitoisuus vaihtelee lehmärodun mukaan 2,4 - 2,9 prosenttia. Rasvan ja kaseiinin suhteella on kuitenkin tärkeämpi merkitys, kuin valkuaisainepitoisuudella, sillä liian matala (alle 3 %) tai liian korkea (yli 5 %) valkuaisainepitoisuus vaikeuttaa heran erottumista juustorakeistosta. (Kammerlehner 1986, 6, 8.)

4.1 Juoksettuma ja leikkausajankohta

Maidon saostamisen ensisijainen tehtävä on koota maidon kaseiini yhteen sekä sulkea saostuman sisään suurin osa maidon rasvasta ja erottaa suurin osa maidon sisältävästä vedestä. Oikeanlainen saostuma mahdollistaa juustoon halutun kiinteyden ja flavorin sekä auttaa ylläpitämään halutun laadun valmistusprosessin edetessä ja juuston kypsyessä. Maidon juoksettuminen tulisi olla nopeaa ja tehokasta sekä mahdollisimman taloudellista ja joka kerta mahdollisimman samanlaista aiheuttaen mahdollisimman vähän hävikkiä heraan. Juoksettuminen ei kuitenkaan aina mene saman kaavan mukaan, sillä vaihtelua juoksettumiseen tuo sekahapatteiden käyttö sekä maitoerien väliset erot. (Walstra ym. 1999, 558; Tapaila 2010a.)

Juoksettuman oikeanlaisella kiinteydellä on suuri merkitys paloittelun onnistumisen ja sen myötä saannon ja koostumuksen kannalta. Jos juoksettuma on liian pehmeää leikkausajankohdassa, se repeytyy ja seurauksena on hävikkiä heraan, jolloin juustosaalis pienenee. Hävikin riski on suuri myös silloin, kun juoksettuma on liian kova. Liian kova juoksettuma vaatii voimakkaamman käsittelyn, jolloin syntyy juustopölyä. Oikeanlaisella juoksettumalla on saannon lisäksi merkitystä juuston koostumukseen, sillä se mahdollistaa sopivan kokoisten rakeiden muodostamisen. Oikeanlaisen kiinteyden aikaansaaminen halutussa ajassa vaatii sopivan juoksettumislämpötilan ja juoksetteen lisäysmäärän. (Walstra ym. 1999, 558; Tapaila 2010c.)

4.2 Raekoko

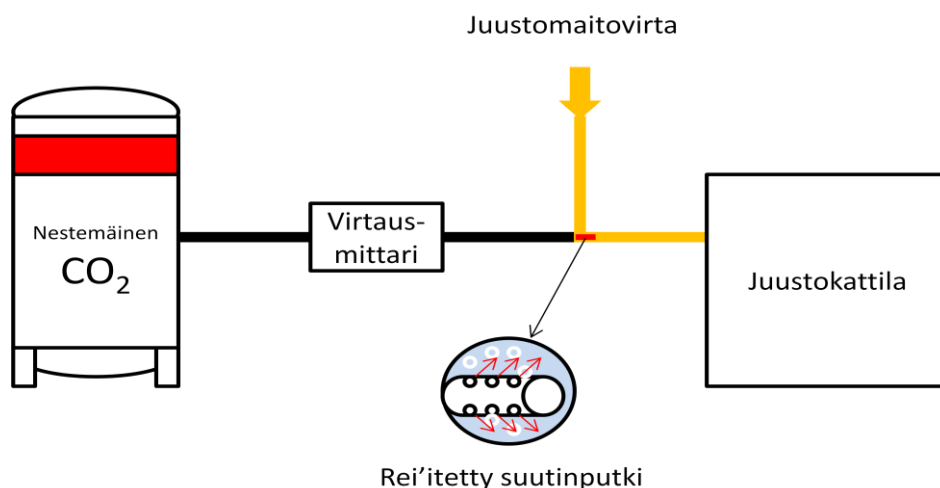
Oikeanlaisella saostuman kovuudella ja sen leikkauksella vaikutetaan raekokoon ja sen kautta juuston rasvattoman osan vesipitoisuuteen (ROV). Mitä pienempiä rakeet ovat, sen voimakkaampaa heran erottuminen on ja seurauksena on juuston matala rasvattoman osan vesipitoisuus. Tämä pätee kuitenkin vain tiettyyn rajaan asti, sillä liian pieni rakeisto sitoo pinnoilleen enemmän vettä, koska yhteenlaskettua pinta-alaa on enemmän. Raekoko ei kuitenkaan yksinään vaikuta rasvattoman osan vesipitoisuuteen, vaan siihen vaikuttavat myös keittoprosessi ja happaneminen. Raekolla voidaan kuitenkin suuntaa antavasti arvioida rasvattoman osan vesipitoisuutta. Raekoon ollessa 1 - 4 mm juuston rasvattoman osan vesipi-

toisuudeksi tulee noin 55 % ja raekoon ollessa 10 - 30 mm juuston rasvatoman osan vesipitoisuudeksi tulee noin 73 - 76 %. Tavoitteena on, että yli 50 % rakeistosta on kooltaan halutun mukaista. (Tapaila 2010c.)

5 HIILIDIOKSIDIN KÄYTTÖ JUUSTONVALMISTUKSESSA

Hiilidioksidin lisäys on yksi keino parantaa juustomaidon laatua. Maito sisältää luonnostaan hiilidioksidia, mutta suurin osa siitä häviää prosessoinnin aikana. Hiilidioksidikäsitteilyllä voidaan keinotekoisesti alentaa maidon pH:ta. Tavallisesti pH:ta alennetaan 0,1 - 0,3 yksikköä. pH:n alentamisen seurauksena maidon juoksettumisaika lyhenee. Jos juoksettumisaika halutaan pitää samana, täytyy juoksetteen lisäysmäärää pienentää. (Bylund 1995, 297.)

Hiilidioksidi syötetään juustokattilaan menevään maitovirtaan (kuva 6). Lisäysmäärä ja maidon kanssa kosketuksessa oloaika ennen juoksetteen lisäystä tulee laskea, kun laitteisto on asennettu. Hiilidioksidikäsitteilyä toteuttavat valmistajat ovat todenneet, että juoksetteen määrä voidaan puolittaa ilman sivuvaikutuksia. (Bylund 1995, 297.)



Kuva 6 Hiilidioksidin lisääminen juustomaitoon (Bylund 1995, 298).

Hiilidioksidia käytetään sekä juustomaidon säilyvyyden parantamiseen että parantamaan maidon juoksettumista. Hiilidioksidilla ei ole erityistä flavoria ja se voi toimia antimikrobisena ainesosana. Nämä puoltavat hiilidioksidin käyttöä juustonvalmistuksessa, mutta lisäksi sen kyky haihtua katsotaan eduksi, kun halutaan käyttää hiilidioksidia valmistuksen apuaineena juustontuotannossa. Hiilidioksidi siis muuttaa maidon pH:ta juustonvalmistuksen avainvaiheessa, mutta haihtuu prosessin aikana niin, että sitä ei jää suuria pitoisuuksia lopputuotteeseen. (Barbano 2008, 2.)

Alentamalla maidon pH:ta saadaan saostuneessa muodossa olevaa, proteiiniin kiinnittynyttä kalsiumia liukoiseen muotoon, jolloin maidon vesifaksin kalsiumionien (Ca²⁺) määrä kasvaa. Liukoisessa muodossa oleva kalsium on juoksettumisvaiheessa juoksete-entsyymien käytettävissä. Lisäksi hiilidioksidi syrjäyttää osan maidon hapestasta, jolloin vähähappisessa ympäristössä viihtyvät hapatebakteerit kasvavat paremmin, mutta juustontuotannon kannalta haitallisten bakteerien kasvu heikkenee. Maidon pH:n alentamisen uskotaan myös vaikuttavan proteiinien, erityisesti kaseiinin siirtymiseen liukoiseen muotoon. Suurempi liukoisessa muodossa olevan proteiinin määrä helpottaa vedensidontakykyä niin, että juustolla on kor-

keampi ja tasaisempi kosteuspitoisuus, jolloin se pystyy paremmin vastustamaan kuivumista sekä varastointiaika kasvaa. Vaikutukset näkyvät myös pienempänä hävikkinä ja matalampina tuotantokustannuksina. (Barbano 2008, 1.)

Antimikrobisena yhdisteenä hiilidioksidilla on inhiboiva vaikutus mikro-organismeihin ja sen psykrotrofisten bakteerien kasvua estävää vaikutusta on tutkittu. Hiilidioksidikäsitely voi kuitenkin vaikuttaa maidon aistittaviin ominaisuuksiin, joten sitä ei suositella nestemaitotuotteille. Sitä voidaan kuitenkin käyttää suojaamaan ja parantamaan juustomaidon laatua. Aiemmat julkaisemattomat tutkimukset ovat osoittaneet, että maidon aistinvaraisissa ominaisuuksissa tapahtui muutoksia, kun pH laskettiin 6,2:een ennen lämpökäsittelyä. Muutoksia ei kuitenkaan ollut havaittavissa, kun maidolle suoritettiin ilmanpoisto ennen lämpökäsittelyä. (Montilla, Calvo & Olano 1995, 289.)

Koska tämä säilyvyyden parantamiseen tähtäävä metodi vaikuttaa maidon aistittaviin ominaisuuksiin, ei sen hyödyntäminen nestemäisille maitovalmisteille ole tarkoituksenmukaista. Hiilidioksidikäsitelyä voidaan kuitenkin hyödyntää juustonvalmistuksessa. Hiilidioksidikäsitelyllä on pystytty vähentämään maidon saostamiseen tarvittavan juoksetteen määrää. (Montilla ym. 1995, 289.)

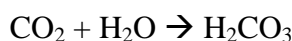
Maidon pH tulisi alentaa normaalista 6,6 - 6,7:stä 5,6 - 6,2:een pastöroinnin jälkeen ennen hapatteen lisäämistä. pH:n laskun aikana maidon lämpötilan tulisi olla alle 10 astetta (°C). Lopullinen pH tulee kuitenkin mitata, kun maito on hapatteenlisäyslämpötilassa. pH:n alentamiseen tarvitaan noin 1000 - 2000 ppm hiilidioksidia. (Barbano 2008, 2.)

5.1 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on passiivinen ”kasvihuonekaasu”, joka sitoo lämpöenergiaa ilmakehään. Hengitysilmassa hiilidioksidia on vain 0,038 %. Passiivisena, inerttinä kaasuna se ei reagoi helposti muiden aineiden kanssa. Huoneenlämmössä hiilidioksidi on väritöntä ja sillä on heikko, mutta terävä tuoksu. Kiinteässä ja nestemäisessä muodossa se on hyvin kylmää. Useimmat aineet eivät pala hiilidioksidikaasussa. (AGA 2010a.)

Hiilidioksidi liukenee helposti veteen ja muodostaa happamia liuoksia. Kaasun liuetessa veteen, vapaan ja liuenneen kaasun välille muodostuu tasapainotila. Jos painetta lisätään, nesteeseen liukenee lisää kaasua. (AGA 2010a; AGA 2010b.)

Hiilidioksidi muodostaa veteen liuetessaan heikon hapon nimeltään hiilihappo:



Hiilihappo protolysoituu vain osittain luovuttaen toisen vetynsä:



Eli hiilidioksidin reagoi vedessä syntyy vetykarbonaattia sekä liuoksen vetyioni-konsentraatio kasvaa, jolloin pH laskee. Hiilidioksidin liukeneminen veteen tai maidon vesiosaan on palautuva reaktio. (Van Hekken, Holsinger & Tomasula 2001, 4.)

Hiilidioksidi varastoidaan paineenalaisena nesteytettynä kaasuna ja säiliössä sen lämpötila on $-56,6 - +30,6$ °C. Säiliöstä pois vuotaessaan nestemäinen hiilidioksidi muuttuu kaasuksi ja lumenkaltaiseksi hiilihappojääksi. Yksi litra nestemäistä hiilidioksidia vastaa noin 440 litraa kaasumaista hiilidioksidia. Taulukossa 1 on esitetty hiilidioksidin yleisiä fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia. (Työterveyslaitos 2011.)

Taulukko 1 Hiilidioksidin yleisiä fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia (Työterveyslaitos 2011).

Molekyyli massa	44,0 g/mol
Tiheys	0,77 (20 °C:ssa)
Sulamispiste	-56,6 °C (5,2 atm paineessa)
Sublimoitumispiste	-78,5 °C
Höyrynpaine	5730 kPa (20 °C:ssa)
Höyryn tiheys	1,52
Liukoisuus	Veteen niukkaliukoinen (2 g/l)
Muuntokertoimet (höyry) 20 °C:ssa	1 ppm = 1,83 mg/m ³ , 1 mg/m ³ = 0,547 ppm

5.1.1 Hiilidioksidin terveysvaikutuksia

Työpaikan ilman haitalliseksi tunnettu hiilidioksidipitoisuus on 5000 ppm eli 9100 mg/m³/8 h. Hiilidioksidin IDLH-arvo (Immediately dangerous to life and health) eli pitoisuus, jolle terve työntekijä voi altistua 30 minuutiksi saamatta palautumattomia terveydellisiä vaurioita tai poistumista vaikeuttavia vammoja on 40 000 ppm eli 72 000 mg/m³/30 min. (Työterveyslaitos 2011.)

Lyhytaikaisen altistumisen alle 2 % (20 000 ppm) hiilidioksidipitoisuuksille ei ole todettu aiheuttavan haitallisia terveysvaikutuksia, mutta yli 2 % hiilidioksidipitoisuudet kiihdyttävät hengitystä ja aiheuttavat päänsärkyä. Pitoisuuden noustessa yli 7,5 % henkinen suorituskyky heikentyy, syntyy levottomuutta, sekavuutta ja näköhäiriöitä. Yli 10 % hiilidioksidipitoisuus aiheuttaa hengenahdistusta, kovaa päänsärkyä, kuulon heikentymistä, pahoinvointia, oksentelua, tukehtumisen tunnetta, hikoilua, tokkuraista oloa ja tajuttomuuden noin 15 minuutin kuluessa. Erittäin suurina pitoisuuksina hiilidioksidi syrjäyttää hapen suljetussa tilassa, josta voi olla seurauksena hapenpuutteesta johtuva välitön tukehtuminen. Hapenpuutteen oireet alkavat ilmetä, kun happipitoisuus laskee alle 18 %:n. Fyysisesti kuormittavassa työssä hiilidioksidin vaikutukset voimistuvat. (Työterveyslaitos 2011.)

Kun nestemäinen hiilidioksidi vuotaa, muodostuu kylmää kaasua tai hiilihappolunta, joiden hengittäminen voi aiheuttaa paleltumia hengitysteissä.

Hiilidioksidikaasu ei ärsytä ihoa, mutta suora kosketus kiinteään hiilidioksidisiin tai altistuminen kylmälle kaasulle voi aiheuttaa paleltumavamman iholla tai silmissä. (Työterveyslaitos 2011.)

5.1.2 Hiilidioksidin ympäristövaikutus

Voimassa olevien kriteerien mukaan hiilidioksidia ei luokitella ympäristölle vaaralliseksi. Ympäristöön joutuessaan hiilidioksidi päätyy ilmakehään ja on ympäristön kannalta hyvin veteen liukenevaa muodostaen veteen hiilihappoa. Luonnonvesissä hiilihappoa on yleensä luontaisesti vapaana hiilihappona, karbonaattina ja bikarbonaattina. Tarpeeksi korkeina pitoisuuksina hiilidioksidilla on haitallisia vaikutuksia vesieliölajeille. (Työterveyslaitos 2011.)

5.2 Kokemuksia hiilidioksidin käytöstä juustonvalmistuksessa

Valio Oy on aikaisemmin vuonna 1984 selvittänyt hiilidioksidin käyttöä juustonvalmistuksessa. Valio Oy:n tutkimus- ja tuotekehitys suoritti tutkimuksen edamjuustolle Valio Oy:n Äänekosken tehtaalla. Tavoitteena tutkimuksessa on ollut alentaa maidon pH:ta hiilidioksidin avulla siten, että valmistuksessa käytettävää kalsiumkloridilisäystä voidaan pienentää tai mahdollisesti jättää pois kokonaan. (Ollikainen, tutkimus 15.10.1984.)

Tutkimustulokset osoittivat, että pH:n alentaminen nopeutti juoksettumista käytettäessä normaalia juoksetemäärää, mutta CO₂ ei vaikuttanut merkittävästi rasvan, kuiva-aineen ja sitraatin siirtymälukuihin verrattuna vertailunäytteisiin. Kokeella ei havaittu olevan selviä vaikutuksia juustojen maitohappokäymiseen, eikä juustojen makuun, massaan tai väriin. Makuerot olivat olleet yllättävän pieniä, mutta pistävyys oli lisääntynyt käytettäessä suuria määriä kalsiumia ja hiilidioksidia. Juustojen rakenteen todettiin kuitenkin olevan epämääräinen ja sisältävän herapesäkkeitä. Kaiken kaikkiaan kokeen todettiin osoittavan, että hiilidioksidin käyttö edamjuuston valmistuksessa on mahdollista ja kalsiumkloridin lisäyksestä voidaan luopua. (Ollikainen, tutkimus 15.10.1984.)

Ulkomaisia tutkimuksia liittyen hiilidioksidin käyttöön juustonvalmistuksessa on useita. Montilla ym. (1995, 290–291) tutkivat maidon happamuuden lisäämisen vaikutusta maitohappobakteerien maitohapontuottoon. He suorittivat raakamaidolle HTST pastöroinnin ja laskivat hiilidioksidin avulla maidon pH:ta 6,4:ään, 6,2:een ja 6,0:aan sekä suolahapon avulla 6,0:aan. Käytetty hapate sisälsi *Lactococcus lactis* subsp. *lactista* ja *Lactococcus lactis* subsp. *cremorista* suhteessa 70/30. Hapatetta siirrostettiin edellisten lisäksi maitoon, jonka pH:ta ei ollut alennettu. Näytteitä inkuboitiin +35 °C:ssa 3 tuntia. Maitohappopitoisuutta ja pH:ta mitattiin inkuboinnin aikana. Muodostuneen maitohapon määrä laski merkittävästi niissä näytteissä, joissa alku pH:t olivat matalimmat. Maitohapon määrässä ei kuitenkaan ollut CO₂ ja HCl käsiteltyjen näytteiden välillä merkittävä eroa. CO₂ käsiteltyjen näytteiden loppu pH:t jäivät HCl käsitellyn näytteen loppu pH:ta korkeammiksi johtuen luultavasti hiilidioksidin osittaisesta haihtumisesta inkuboinnin aikana.

Maitohapontuoton lisäksi Montilla ym. (1995, 289–292) tutkivat hiilidioksidin käyttöä Iberico juustonvalmistuksessa. Tutkimuksessa valmistettiin kolme erää juustoja. Yksi vertailuerä pastöroidusta maidosta, yksi koe-erä maidosta, jonka pH oli laskettu 6,0:aan hiilidioksidin avulla ennen pastörointia ja toinen koe-erä maidosta, jonka pH oli laskettu 6,0:aan hiilidioksidin avulla pastöroinnin jälkeen. Koe-erien valmistuksessa käytettiin 75 % vähemmän juoksetta kuin vertailuerässä. Juustoja kypsytettiin +10 °C:ssa kaksi kuukautta ja kypsytyksen aikana niille suoritettiin aistinvaraisia arviointeja sekä analysoitiin maitohapon ja laktoosin määrät sekä proteolyysi. Maitohappotutkimuksen mukaan happamuus siis vähentää hapatteen maitohapon muodostamista maidon inkuboinnin aikana, mutta selkeää eroa maitohaponmäärässä ei kuitenkaan havaittu hiilidioksidikäsitellystä ja käsittelemättömästä maidosta valmistettujen juustojen välillä. Juustoissa, jotka oli valmistettu hiilidioksidikäsitellystä maidosta, oli huomattavissa heikompa proteolyysiä kuin vertailujuustoissa, mutta tästä huolimatta merkittäviä aistinvaraisia eroja ei juustojen välillä ollut havaittavissa. Heikentynyt proteolyysi voi olla seurausta pienemmästä juoksetteen määrästä.

Kelly, Huppertz & Sheehan (2008, 554) esittävät, että hiilidioksidin annostelu raakamaitoon vähensi proteolyysiä johtuen sen inhiboivasta vaikutuksesta mikrobien kasvuun ja sen myötä proteaasien tuottoon. Nelson, Lynch ja Barbano (2004, 3590) puolestaan johtivat tutkimuksessaan hiilidioksidia pastöroituun maitoon. Kun hiilidioksidikäsitellystä maidosta valmistettu juusto oli kypsynyt, juustossa oli osoitettavissa kiihtynyttä proteolyysiä johtuen luultavasti kymosiinin lisääntyneestä säilymisestä juustossa tai sen lisääntyneestä aktiivisuudesta.

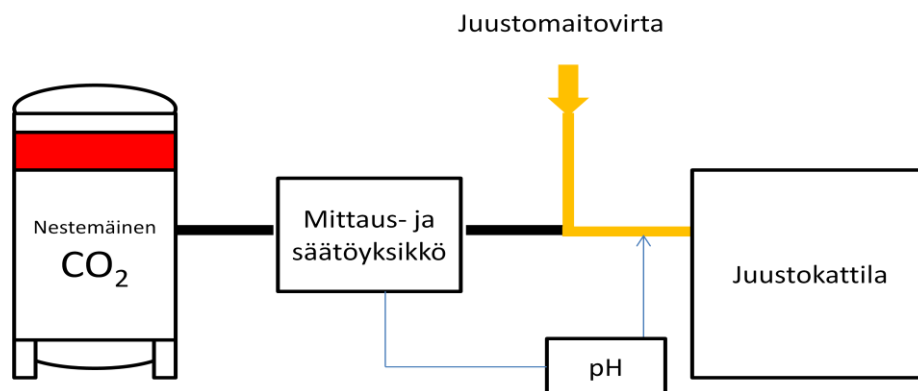
Nelsonin ym. (2004, 3581) mukaan hiilidioksidi sopii juustolamaidon pH:n alentamiseen, koska liuetessaan maitoon se toimii hapon tavoin ja verrattuna muihin happoihin se on helposti poistettavissa vakuumin avulla herasta. Lisäksi hiilidioksidi ei säily juustossa, vaan poistuu siitä. He suorittivat tutkimuksen, jonka tavoitteena oli selvittää hiilidioksidilla tapahtuvan pH:n alentamisen vaikutus cheddarjuuston koostumukseen, maidon koostumukseen sekä saantoon. Hiilidioksidi johdettiin maitovirtaan pastöroinnin ja jäähdytyksen jälkeen. Juustot ilman hiilidioksidikäsitelyä ja hiilidioksidikäsitelyllä valmistettiin samasta maitoerästä. Koe toistettiin kolme kertaa. Juustomaidossa olevan hiilidioksidin määrä oli 1600 ppm, joka johti pH:n 5,9:ään 31 asteessa (°C). Hapatetta ja juoksetta lisättiin samalla tavalla sekä käsitellylle maidolle että ei-käsitellylle. Erottuvan heran pH oli hiilidioksidilla käsitellystä maidosta valmistetuilla juustoilla matalampi kuin vertailu juustoilla. Hiilidioksidikäsitellystä maidosta valmistettujen juustojen valmistusaika oli lyhyempi, mutta niissä oli enemmän kalsium- ja rasvahävikkiä. Rasvaa siirtyi heraan. Proteiiniin ei ollut vaikutusta. Saanto heikkeni vertailujuustoihin nähden 4,4 %, johtuen kasvaneesta rasvan hävikistä.

Hiilidioksidikäsitelyn vaikutuksen cheddarjuuston koostumukseen ja saantoon lisäksi Nelson ym. (2004, 3590) tutkivat sen vaikutusta cheddarjuuston kypsymiseen ja proteolyysiin. Hiilidioksidia lisättiin noin 1600

ppm kylmään maitoon, jolloin maidon pH oli 5,9 31 asteessa (°C). Hapattetta ja juoksetetta lisättiin samalla tavalla sekä käsitellylle maidolle että ei-käsitellylle. Hiilidioksidikäsitelystä maidosta valmistetuissa juustoissa oli jonkin verran kalsiumin hävikkiä, mutta juustojen kosteuspitoisuuksissa ei havaittu eroja. Korkeampi hiilidioksidipitoisuus juustoissa (337 vs. 124 ppm) säilyi kuuden kuukauden kypsytyksen ajan. Huolimatta melkein puolitoistakertaisesta vesiosan suolapitoisuudesta, proteolyysi oli korkeampi hiilidioksidikäsitelystä maidosta valmistetuilla juustoilla koko kypsymisen ajan.

5.3 Teknisiä ratkaisuja

Laskettaessa maidon pH esimerkiksi hiilidioksidin avulla, täytyy pH varmistaa mittaamalla ennen juoksetteen lisäystä. Tämä on erityisesti aikaa vievää ja pitää sisällään virheen mahdollisuuden. Erittäin tarkka pH mittaus on tarpeen, sillä $\pm 0,05$ pH-yksikön muutos voi johtaa 50 % pienempään tai suurempaan juokseteaktiivisuuteen. Lämmitetyn maidon in-line pH-mittauksen kehitystä on vaikeuttanut mittarin kalvon likaantuminen erityisesti rasvaan ja proteiineihin, jolloin lukemat ovat olleet epäluotettavia. Nykyaikaiset pH-mittarit täyttävät vaatimukset aseptisuudesta ja soveltuvuudesta kiertopesuihin. (Application Note: pH in Cheese Production n.d.)



Kuva 7 In-line pH-mittaus hiilidioksidin syötössä maitovirtaan (Application Note: pH in Cheese Production n.d.).

Esimerkkitapauksessa (kuva 7) aseptinen ja kiertopesuihin soveltuva In-line pH-mittari asetettiin tapauksesta riippuen sopivaan paikkaan, 3 - 15 metrin päähän myötävirtaan CO₂-annostelijasta. Putki, johon mittari asennettiin, oli halkaisijaltaan noin 80 mm ja mittari kiinnitettiin kaltevalla hitsatulla holkilla. Pumpun aikana maitoputkessa oli 1 baari painetta ja kiertopesun aikana korkeimmillaan 3 baaria painetta. Jotta elektrodi saatiin pysymään puhtaana, asennettiin kotelo, joka liitettiin paineilmalähteeseen. Kotelon tehtävänä oli pitää elektrodin sisäinen paine ulkoista suurempana, jolloin elektrodi pysyi kontaminoitumatta. (Application Note: pH in Cheese Production n.d.)

Hiilidioksidin syöttö voidaan tehdä kuplittamalla kaasu virtaavaan maitoon tai syöttämällä kaasu suoraan säiliöön. Suoraan säiliöön syötettäessä liukeneminen ei välttämättä ole yhtä tehokasta kuin virtaavaan maitoon

syötettäessä. Kaasun imeytyminen tapahtuu parhaiten pieninä kuplina mahdollisimman suuressa paineessa. pH-mittalaitteiston lisäksi CO₂-syöttösuutin täytyy valita niin, että se pystytään pitämään puhtaana kierto-
pesun avulla. Syötetyn hiilidioksidin määrää pystytään seuraamaan esimerkiksi massavirtausmittarilla. Virtausmittari valitaan tilanteen mukaan. (Takala, sähköpostiviesti 16.5.2011.)

Putkiston tulee olla ruostumatonta ja haponkestävää materiaalia. Lisäksi hiilidioksidin syötössä tapahtuvan paineen pienenemisen johdosta tapahtuva lämpötilan lasku täytyy ottaa huomioon. Paineen pudotus 50 baarista alle 10 baariin laskee syöttösäätimessä lämpötilaa usealla kymmenellä asteella, jolloin säädin pyrkii jäätymään. Ennen säädintä tulisi olla kaasunlämmitin, joka turvaa säätimen toimintaa. Lisäksi kaksiportainen paineen lasku ehkäisee jäätymistä. (Takala, sähköpostiviesti 7.11.2011.)

Kaasusäiliön koko ja kaasun toimitustapa määritetään kulutuksen mukaan eli ne optimoidaan tapauskohtaisesti. Pieneen kulutukseen hiilidioksidia voidaan toimittaa kaasupulloissa. Esimerkiksi 40 litran kaasupullossa on noin 30 kg hiilidioksidia. Suuremmassa kulutuksessa on tarpeen hankkia vuokrasäiliö, joita löytyy 5...50 kuution eli sisältävät noin 4...40 tonnia hiilidioksidia. (Takala, sähköpostiviesti 16.5.2011.)

Työturvallisuus työpaikassa, jossa käytetään hiilidioksidia ja on vaarana aiheutua kaasuvuotoa, varmistetaan kaasuhälyttimillä. Kaasuhälyttimiä on kiinteitä sekä henkilökohtaisia, mukana kannettavia. Kiinteästä kaasuhälyttimestä on mahdollista saada hälytykset myös kaukovalvontaan. (Takala, sähköpostiviesti 16.5.2011.)

6 HIILIDIOKSIDIKOKEET

Hiilidioksidikokeiden tarkoituksena oli selvittää millaisella juoksetteella ja juoksetteenlisäys pH:lla on mahdollista valmistaa Valio Oltermanni® juustoa ilman kalsiumkloridilisäystä, niin ettei saanto ja juuston laatu huonone. Ennen tämän opinnäytetyön aloitusta oli tehtaalla suoritettu yksi esikoeajo, jonka pohjalta suoritettiin vielä kaksi muuta esikoeajoa. Esikokeiden tarkoituksena oli antaa suuntaa varsinaisissa koeajoissa käytettäville juoksetteenlisäys pH-tavoitteille ja samalla harjoiteltiin hiilidioksidin anostelun toteutusta sekä vasteiden määrittystä varsinaisia koeajoja varten. Sekä esikokeet että varsinaiset kokeet suoritettiin samalle juustolaadulle (Valio Oltermanni® 17 %) ja samalla tuotantolinjalla (1-linja).

6.1 Esikokeet ja koesuunnittelu

Ensimmäinen CO₂-esikoe oli suoritettu marraskuussa 2010. Koe ei ollut onnistunut suunnitellusti, sillä käytetty paineenalennusventtiili oli ollut virtaukseltaan liian pieni (läpäisy vain noin 40 - 50 l/min). Lisäksi laitteisto tahtoi jäätyä nestemäisen hiilidioksidin kaasuuntumisen kuluttaman energian vuoksi. Näistä ongelmista johtuen oli suunnitelmista poiketen jouduttu toiseen koekattilaan lisäämään hiilidioksidin lisäksi kalsiumkloridia. Myyntiinhyväksynnässä kokeen juustot oli todettu myyntikelpoisiksi, mutta maultaan juustot oli arvosteltu karvaiksi.

Ensimmäisen esikokeen oltua osittain epäonnistunut, haluttiin koe uusia, joten toinen esikoe suoritettiin huhtikuussa 2011. Tässä esikokeessa oli käytössä suurempi paineenalennusventtiili (läpäisy noin 200 l/min), jolloin hiilidioksidin syöttö tapahtui edelliskertaa paremmin. Laitteiston jäätymisongelma oli kuitenkin edelleen läsnä. Syötetyn hiilidioksidin määrä määritettiin hiilidioksidipullon alla olevan vaa'an avulla. Ensimmäisen koekattilan kohdalla suurin osa hiilidioksidista lisättiin maidonoton alussa ja pH-tavoite saavutettiin. Toisen koekattilan kohdalla hiilidioksidi lisättiin hitaasti koko maidonoton ajan, jolloin pH laski 1,7 yksikköä alle tavoitteen. Ensimmäiseen koekattilaan syötetyn hiilidioksidin määrä oli hiukan suurempi kuin toiseen, mutta siitäkin huolimatta toisen koekattilan maidon pH laski alemmas. Luultavasti suurella nopeudella syötetty hiilidioksidi ei ehtinyt liueta juustomaitoon riittävästi vaan haihtui kattilan ilmatilaan eikä siten ollut alentamassa maidon pH:ta. Todennäköisesti hiilidioksidin syöttönopeudella on siis merkitystä pH:n laskuun, joten seuraavassa koeajossa tavoitteena oli syöttää hiilidioksidi tasaisesti koko maidonoton ajan.

Toisessa esikokeessa koekattiloihin ei lisätty ollenkaan kalsiumkloridia ja toisen koekattilan juoksete määrää pienennettiin 10 %. Juoksetteen vähentämisellä haluttiin selvittää, onko juoksetteen määrällä vaikutusta juuston makuun. Muilta osin valmistus tapahtui reseptin mukaisesti.

Kolmas esikoe suoritettiin toukokuussa 2011, jolla haluttiin selvittää kokeen toistettavuutta sekä samalla harjoiteltiin raekokojakauman määrittystä. Kokeessa saavutettiin kahden ensimmäisen kattilan osalta tavoite pH ja kolmannen kattilan juoksetteenlisäys pH jäi 1,0 yksikköä yli tavoitteen.

Syötetyn hiilidioksidin määrän määrittäminen kuitenkin epäonnistui vaa'an rikkoutumisen vuoksi.

Kaikissa esikokeissa käytettiin samaa käytössä olevaa juoksetta (juoksete A) ja saostuman leikkausajankohta määritettiin kokeilemalla.

Myös toisen ja kolmannen esikokeen juustot todettiin myyntiinhyväksynnässä myyntikelpoisiksi. Huhtikuussa valmistetuissa koejuustoissa ei ollut ulkonäkö, rakenne, haju tai maku virheitä, mutta toukokuussa valmistetuissa koejuustoissa oli aistittavissa hieman karvautta.

Esikokeiden antamien tulosten ja käytännönkokemusten pohjalta lähdettiin tekemään varsinaista koeajosuunnitelmaa (taulukko 2). Esikokeet osoittivat, että korvaamalla kalsiumkloridi maidon hiilidioksidikäsitteilyllä, on mahdollista valmistaa koostumukseltaan ja maultaan moitteetonta Valio Oltermanni® juustoa. Esikokeiden pohjalta ei voida kuitenkaan tehdä johtopäätöksiä siitä, kärsiikö juuston saanto, koska kattilakohtaisia kilomääriä ei selvitetty. Kahden viimeisen esikokeen lupaavat aistinvaraisen arvioinnin tulokset antoivat kuitenkin aiheita jatkaa hiilidioksidin käytön testausta Valio Oltermanni® juuston valmistuksessa.

Taulukko 2 Hiilidioksidikoeajosuunnitelma.

1. koeajo 15.7.2011			2. koeajo 29.7.2011		
Kattila	Tavoite pH	Juoksete	Kattila	Tavoite pH	Juoksete
CK 8	pH 1	Juoksete C	CK 8	pH 2	Juoksete B
CK 9	pH 2	Juoksete C	CK 9	pH 1	Juoksete B
CK 10	pH 2	Juoksete A	CK 10	pH 1	Juoksete A
CK 7	vertailu	Juoksete C	CK 7	vertailu	Juoksete B
CK 8	vertailu	Juoksete A	CK 8	vertailu	Juoksete A
3. koeajo 12.8.2011			4. koeajo 26.8.2011		
Kattila	Tavoite pH	Juoksete	Kattila	Tavoite pH	Juoksete
CK 8	pH 1	Juoksete C	CK 8	pH 2	Juoksete B
CK 9	pH 2	Juoksete C	CK 9	pH 1	Juoksete B
CK 10	pH 2	Juoksete A	CK 10	pH 1	Juoksete A
CK 7	vertailu	Juoksete C	CK 7	vertailu	Juoksete B
CK 8	vertailu	Juoksete A	CK 8	vertailu	Juoksete A

Varsinaisissa koeajoissa oli olettamuksena, että 1-linjan kattiloista neljä viidestä on samanlaisia eli yksi erilaiseksi oletettu kattila (CK 6) jätettiin koeajoista pois. Koska kokeet suoritettiin tuotannon alussa, jätettiin tuotannon ensimmäinen keitetty kattila huomioimatta, johtuen sen suuremmasta hapattumisasteesta. Tässä kokeessa tavoite pH:t koodattiin pH 1:ksi ja pH 2:ksi eli kyseessä ei ole todelliset pH-arvot. Kutakin koe- ja vertailuyhdistelmää toistettiin kahdesti lukuun ottamatta juoksete A:n ja CaCl₂:n yhdistelmää, jota toistettiin neljästi. Tämä yhdistelmä on tällä hetkellä käytössä ja jokaista koeajoa kohden haluttiin vertaus nykytilanteeseen.

6.2 Materiaalit ja menetelmät

Koeajot suoritettiin Valio Oltermanni® 17 % juustolle vuoden 2011 heinä- ja elokuun aikana 1-linjalla, jossa juustot muotataan 900 g kokoisiksi. Kyseinen juustolaatu mahdollisti myös hiilidioksidikäsittelyn sopivuuden tutkimisen Valio Oltermanni® 17 % Luomu™ juustolle (poistunut tuotevalikoimasta vuoden 2012 alusta) ilman, että luomumaitoa tarvitsi käyttää koeajoihin. Maitoerä vaihtui jokaisessa koeajossa, koska koeajot suoritettiin parin viikon välein. Koeajokohtaisissa koe- sekä vertailukattiloissa oli käytössä saman maitoerän maitoa.

Käytössä ollut hiilidioksidi oli nestemäistä ja elintarvikekäyttöön soveltuvaa. Hiilidioksidi lisättiin kattilamaitovirtaan paineistetussa tilassa. Painetta lisäämällä tai vähentämällä vaikutettiin maitoon liukenevan hiilidioksidin määrään. Painetta lisäämällä hiilidioksidia saatiin liukenemaan enemmän. Syötetyn hiilidioksidin määrä saatiin selville kaasupullon alla olleen Dosetec Exact HV-200KV-WP teollisuusvaa'an avulla, joka näytti painon 50 g tarkkuudella.

Koe- sekä vertailukattiloiden maitomäärä pidettiin samana ja saostuma leikattiin 30 minuutin kohdalla. Samanpituisen juoksetumisaika antoi paremmat lähtökohdat selvittää erilaisten juoksetteenlisäys pH ja juoksete yhdistelmien vaikutuksia juuston saantoon sekä koostumukseen eli lähinnä rakenteeseen ja rasvattoman osan vesipitoisuuteen.

Vertailujuustot valmistettiin reseptin mukaisesti eli kokeesta riippuen tavanomaisen tai luomu Valio Oltermanni® 17 % reseptin mukaisesti. Koejuustojen keitto poikkesi tavanomaisen tai luomun reseptistä vain kalsiumkloridin korvaamisella hiilidioksidikäsitteilyllä.

Esikokeissa ei kaikkia kattiloita ajettu erilleen, joten koekattilat sekoittuivat välisäiliössä eikä kattilakohtaista saantoa pystytty selvittämään. Varsinaisissa koeajoissa haluttiin keskittyä selvittämään kuinka kalsiumkloridin poisjättäminen ja maidon pH:n alentaminen keinotekoisesti hiilidioksidin avulla vaikuttaa juuston saantoon unohtamatta sen vaikutusta koostumukseen ja aistinvaraisiin ominaisuuksiin. Varsinaisissa koeajoissa siis ajettiin välisäiliö kunkin koe- sekä vertailukattilan välillä tyhjäksi, jolloin juustot pystyttiin ajamaan suolaamossa erilleen. Pakkaamossa kunkin kattilan välillä pidettiin tauko, jonka perusteella erotteluvaa'an raportista pystyttiin laskemaan kattilakohtainen kilomäärä. Lisäksi keitolla syntyneen sulatteen määrä punnittiin ja kirjattiin ylös kattilakohtaisesti.

6.2.1 Näytteenotto

Juustoista otettiin pakkaamossa näytteet sekä NIR (Near-infrared)-analyysiä että aistinvaraista arviointia varten. NIR-analyysiä varten näytteitä otettiin kolme näytettä kattilaa kohden eli kattilan alusta, keskeltä ja lopusta. NIR-analyysiin tarkoitettut näytteet suljettiin ilmatiiviisti näytopusseihin ja toimitettiin näytteille tarkoitettuun jääkaappiin. NIR-analyysi suoritettiin tuotantoa seuraavana päivänä. Aistinvaraiseen arviointiin tar-

koitetut juustot oli pakattu kuluttajakaukuihin ja siirrettiin kypsytyskonttiin kypsyämään tuotteen normaaliksi kypsytysajaksi.

Kokeen suorituksen aikana jokaisesta koe- ja vertailukattilasta otettiin las-kuherasta näytteet heran rasva- ja kuiva-ainepitoisuuden määrittystä varten. Lisäksi massanlaskun alussa kattiloista otettiin noin neljä litraa heramassaseosta, josta määritettiin raekokojakauma. Näyte raekokojakauman määrittystä varten otettiin suoraan kattilasta, koska kattiloiden erilleen ajon vuoksi välisäiliön pinta oli niin alhaalla, että näytettä ei olisi yltänyt otta-
maan.

6.2.2 Raekokomääritys

Raekoon mittaus suoritettiin heti näytteenoton jälkeen seulojen avulla, joiden kokojakauma oli yli 5 mm; 4,1 - 5 mm; 2,1 - 4 mm ja 1 - 2 mm. Mit-tausta varten kattilasta otettiin massanlaskun alussa noin kaksi litraa hera-rakeistoseosta, joka heti näytteenoton jälkeen seulottiin. Erilleen saadut erikokoiset rakeet punnittiin, jonka jälkeen laskettiin niiden prosentuaali-nen osuus rakeiston yhteispainosta.

6.2.3 NIR -analyysi

Koeajoa seuraavana päivänä pakkaamossa otetuille koe- sekä vertailukatti-loiden tuorejuustonäytteille suoritettiin NIR-analyysi FOSS:in FoodS-can™ mittalaitteella. NIR-analyysissä määritettiin tuorejuustojen koostu-mus; rasva, kuiva-aine ja suola. Tulosten poiketessa juustolaatukohtaisesta laatusuunnitelmasta, juustonäytteet toimitettiin laboratorioon kemiallista määrittystä varten.

Ilmatiiviisti säilytetty tuorejuustonäyte jauhettiin tuotteelle sovitulla oh-jelmalla Retsch Grindomix GM 200-myllyllä. Jauhettu näyte kaadettiin takaisin näytepussiin ja näyte sekoitettiin, jolloin pussiin jäänyt kosteus saatiin takaisin näytteeseen. Tämän jälkeen hyvin sekoitettua näytettä ase-teltiin reilusti näytetelineessä olevalle petrimaljalle ja näytteen pinta tasat-tiin lastan avulla. Näytettä sisältävä petrimalja asetettiin ilman kantta FoodScan™ mittalaitteen näytealustalle ja laitteen ovi suljettiin. FoodS-can™ mittalaite käynnistettiin ja NIR -analyysin jälkeen tulokset tarkastet-tiin sekä kirjattiin ylös.

FoodScan™ mittalaitteen oikeanlainen toiminta oli varmistettu joka päivä ajettavan laadunvarmistusnäytteen avulla. Laadunvarmistuksessa NIR-analyysin antamia tuloksia verrataan saman näytteen kemiallisiin tulok-siin.

6.2.4 Heran rasva- ja kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen

Koe- sekä vertailukattiloiden rasva- ja kuiva-ainepitoisuudet määritettiin laboratoriossa Valio Oy:n ohjeiden mukaan. Rasva määritettiin happobu-tyrometrisesti, jonka menetelmäohje on standardin ISO 2446 / IDF 226:2008 - Milk - Determination of fat content mukainen. Kuiva-aineen

määritys suoritettiin selvittämällä kuivatun näytteen paino painoprosentteina näytteen tuorepainosta.

6.2.5 Aistinvarainen arviointi

Kypsyyskontissa olleet juustot arvosteltiin kypsyamisajan jälkeen myyntiinhyväksynnässä. Kaikki aistinvaraiset arvioinnit suoritettiin huoneessa, jossa normaalistikin suoritetaan valmistettujen juustojen myyntiinhyväksyntä.

Myyntiinhyväksynnän lisäksi koejuustoille suoritettiin kypsytysajan jälkeen laajennettu kolmitesti. Kolmitestissä oli tarkoituksena selvittää, löytävätkö testiin osallistuvat arvioijat eroa normaalisti valmistetun juuston ja hiilidioksidilla käsitellystä maidosta valmistetun juuston välillä. Kolmitestissä arvioijille esitettiin kaksi samanlaista näytettä ja yksi poikkeava näyte. Arvioijan tuli siis löytää kolmesta näytteestä yksi poikkeava näyte. Näytteet merkittiin kirjaimin ja esitettiin arvioijille satunnaisessa järjestyksessä. Poikkeavan näytteen löytämisen lisäksi arvioijille annettiin mahdollisuus kirjoittaa kommentteja arvioitavista näytteistä eli laajennettua kolmitestiä hyödynnettiin lähinnä eron suuruuden arvioinnin ja kuvailun osalta. Arviointilomakkeena käytettiin Valio Oy:n omaa arviointilomaketta (liite1).

6.2.6 Aineiston tilastollinen käsittely

Juustojen aistinvaraisessa arvioinnissa käytetyn laajennetun kolmitestin tuloksia arvioitiin käyttämällä kolmitestin tulosten merkitsevyysrajojen taulukkoa (liite 2). Merkitsevyystasot ovat 5 % $0,01 < p \leq 0,05$ (tilastollisesti melkein merkitsevä); 1 % $0,001 < p \leq 0,01$ (tilastollisesti merkitsevä) ja 0,1 % $p \leq 0,001$ (tilastollisesti erittäin merkitsevä) (Holopainen & Pulkkinen 2008, 177).

Nollahypoteesina (H_0) kolmitestissä oli, että hiilidioksidilla käsitellystä maidosta valmistetulla juustolla ja tavanomaisesti valmistetulla juustolla ei ole eroa. Vaihtoehtohypoteesin (H_1) mukaan hiilidioksidilla käsitellystä maidosta valmistetulla juustolla ja tavanomaisesti valmistetulla juustolla on eroa.

Muut koeajoista saadut tulokset (liite 3) käsiteltiin MINITAB 16-ohjelmalla, jossa tilastollista merkittävyyttä tutkittiin ANOVA-testillä. ANOVA-testi laski automaattisesti p-arvon ja selityskertoimen.

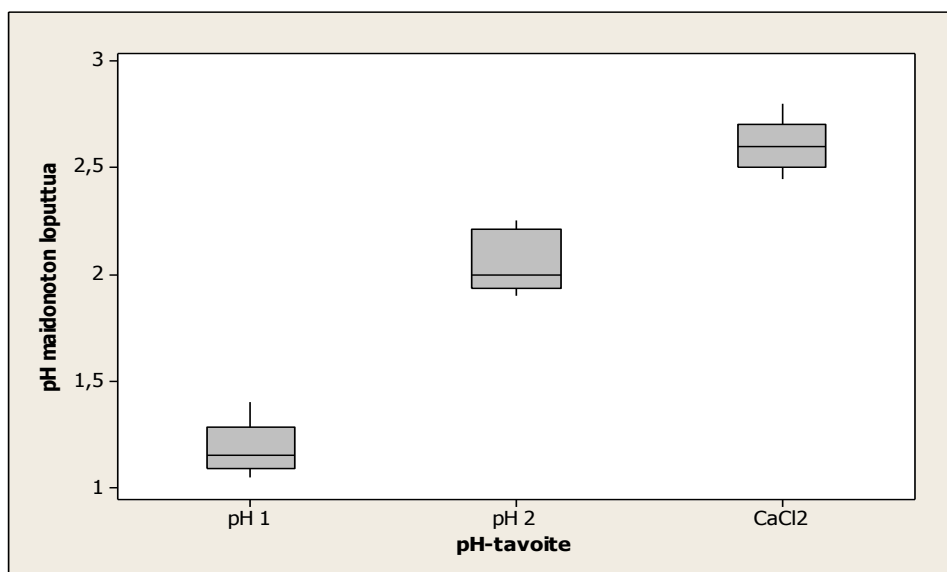
Selityskerroin ilmaisee, kuinka monta prosenttia selitettävän muuttujan y arvojen vaihtelusta voidaan selittää selittävän muuttujan x avulla eli mitä suurempi kerroin on, sitä paremmin malli kuvaa aineistoa. P-arvo kuvaa sitä, kuinka suuri riski on, että riippuvuus johtuu sattumasta. P-arvon ollessa 0,05 tai alle, tuloksella on tilastollista merkitsevyyttä. $\leq 0,001$:n p-arvolla tulos on tilastollisesti erittäin merkitsevä, $0,001 < p \leq 0,01$:n p-arvolla tulos on tilastollisesti merkitsevä ja $0,01 < p \leq 0,05$:n p-arvolla tulos on tilastollisesti melkein merkitsevä. (Holopainen & Pulkkinen 2008,

177, 278.) Tämän opinnäytetyön tuloksissa p-arvot on esitetty seuraavasti: $p \leq 0,001$, $p \leq 0,01$ ja $p \leq 0,05$. Tarkemmat tulosten p-arvot on esitetty liitteessä 4.

MINITAB 16 -ohjelman lisäksi tulosten käsittelyssä käytettiin Microsoft Office 2007 Excel-tilukkolaskentaohjelmaa. Excelillä muodostettiin kuvaajat raekokojakaumista ja pH:n muutoksista suhteessa aikaan sekä laskettiin koeajotuloksille keskiarvot ja keskihajonnat. Tulosten keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty liitteessä 5.

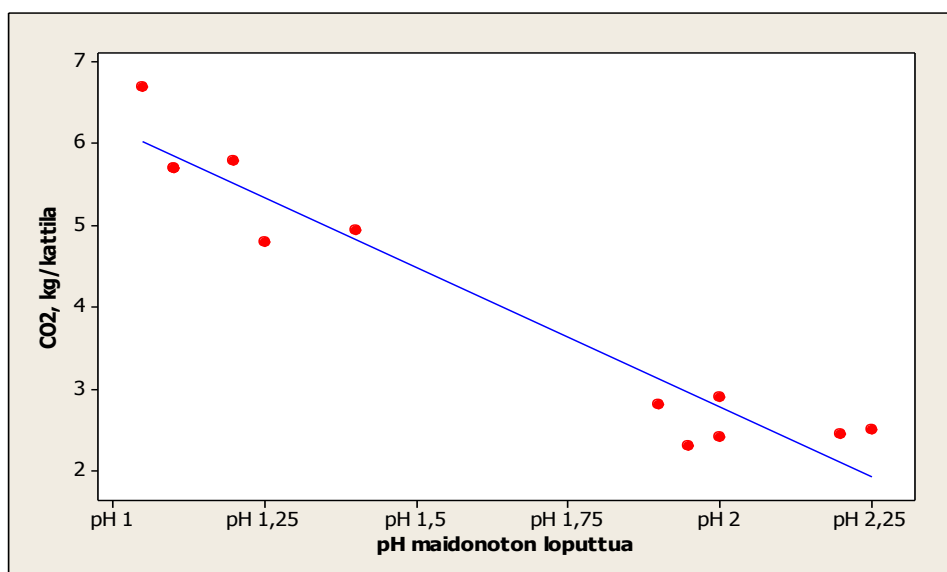
7 HIILIDIOKSIDIKOKEIDEN TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Hiilidioksidikokeissa verrattiin kahden eri hiilidioksidilla saavutetun juoksetteen pH:n, kalsiumkloridin ja kolmen erilaisen juoksetteen vaikutusta juuston ja heran koostumukseen sekä raekokoon ja juuston saantoon. Kuvio 1 nähdään kuinka hyvin toteutunut pH vastaa tavoite pH:ta. Tavoite pH 1 jäi koeajoissa hiukan tavoitteen yläpuolelle, keskimäärin 0,04 yksikköä. Tavoite pH 2 onnistuttiin saavuttamaan paremmin eli keskimääräinen poikkeama tavoitteesta oli vain 0,01 yksikköä.



Kuvio 1 Tavoite pH:n ja toteutuneen pH:n vastaavuus.

Maitoon kuplitetun hiilidioksidin määrää mitattiin vaa'an avulla. Kuvio 2 osoittaa, että toteutuneella pH:lla ja syötetyn hiilidioksidin määrällä on selvä yhteys. Mitä matalammaksi pH halutaan laskea, sen enemmän hiilidioksidia täytyy saada liukenemaan maitoon.



Kuvio 2 Toteutuneen pH:n ja maitoon syötetyn hiilidioksidin määrän yhteys.

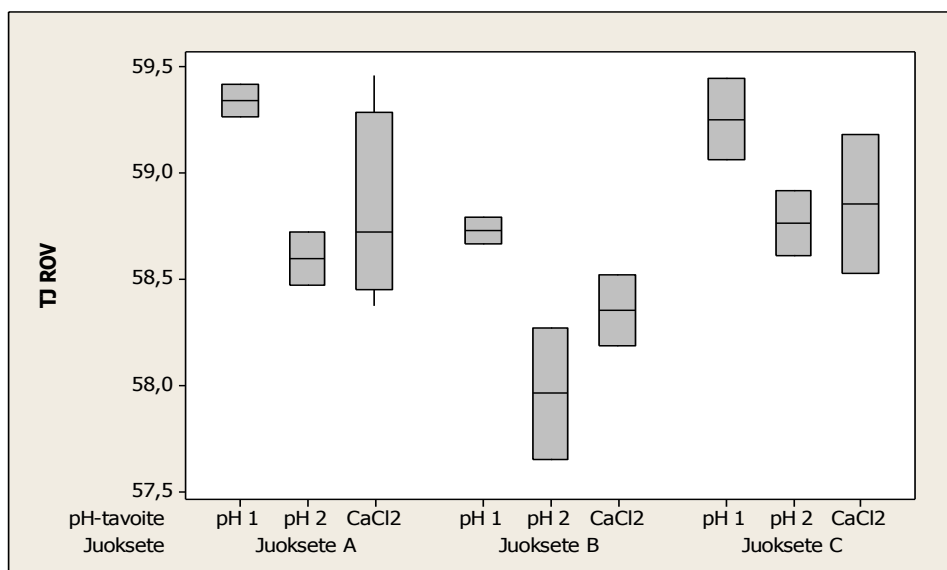
Korrelaatiokerroimeksi saatiin $-0,980$, joka myös osoittaa, että hiilidioksidin määrällä ja maidon pH:lla on selvä vahva yhteys. Korrelaatiokerroin sijoittuu $+1$ ja -1 välille ja ollessaan lähellä edellä mainittuja lukuja korrelaatio kahden muuttujan välillä on vahva. Lähellä nollaa korrelaatio on heikko. Negatiivinen korrelaatiokerroin osoittaa, että suora on laskeva eli tässä tapauksessa syötetyn hiilidioksidin määrän kasvaessa maidon pH laskee.

7.1 NIR -analyysi

Koe- sekä vertailukattiloiden suolatuille tuorejuustoille suoritettiin tuotantoa seuraavana päivänä NIR-analyysi. Näytteitä oli kolme jokaista kattilaa kohden eli kyseisen kattilan pakkaamisen alusta, keskeltä ja lopusta. NIR-analyysillä tuorejuustoista määritettiin niiden rasva-, kuiva-aine- ja suolapitoisuus. Liitteestä 3 löytyvien tuorejuuston rasva- ja kuiva-ainepitoisuuksien avulla laskettiin juustoille rasvattoman osan vesipitoisuus (ROV) ja kuiva-aineen rasva (KAR). Lisäksi NIR-analyysin tuloksia pystyttiin hyödyntämään juuston kuiva-ainesaannon sekä rasvan siirtymän (Rs) ja rasvattoman kuiva-aineen siirtymän (RKAs) laskemisessa.

7.1.1 Rasvattoman osan vesipitoisuus (ROV)

Kuviossa 3 on esitetty eri juoksete ja pH sekä CaCl_2 yhdistelmien vaikutus tuorejuuston rasvattoman osan vesipitoisuuteen. Rasvattoman osan vesipitoisuuden osalta juoksetteiden välillä on eroa ($p \leq 0,05$). Juoksete B:n kohdalla rasvattoman osan vesipitoisuustulokset jäivät jokaisen juoksetteen lisäksi pH:n ja CaCl_2 :n osalta alhaisemmaksi, kuin juoksetteiden A ja C kohdalla. Selitysaste (R^2) juoksetteen vaikutuksesta rasvattoman osan vesipitoisuuteen oli $33,81\%$.

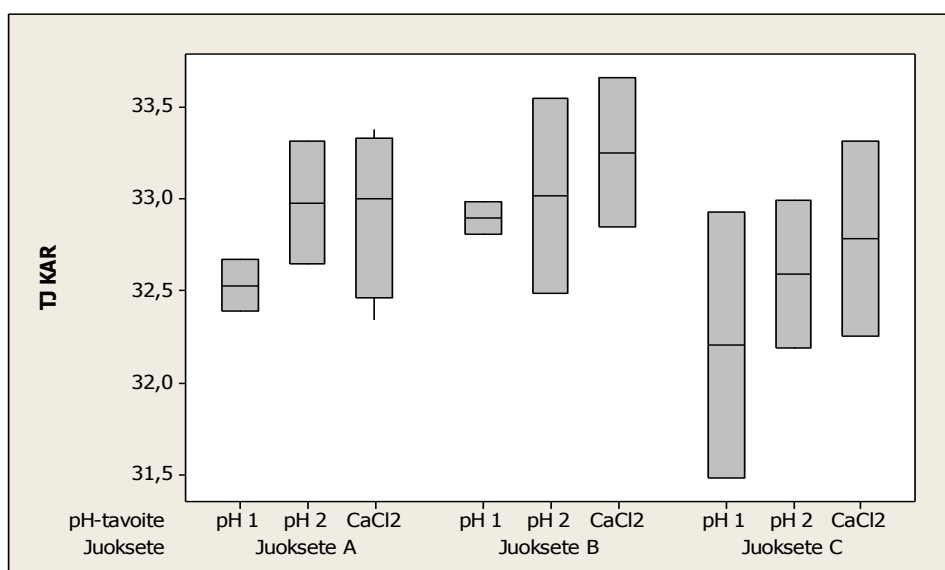


Kuvio 3 Eri koeajoyhdistelmien tuorejuustojen rasvattoman osan vesipitoisuustulokset. Juoksetteiden välillä on tilastollisesti melkein merkitsevä ero rasvattoman osan vesipitoisuustuloksissa. Juoksete B erottuu alhaisemmilla rasvattoman osan vesipitoisuustuloksilla muista juoksetteista.

Myös tavoite pH:lla osoittautui olevan tilastollisesti merkitsevä vaikutus rasvattoman osan vesipitoisuuteen ($p \leq 0,05$). Selitysaste (R^2) tavoite pH:n vaikutuksesta rasvattoman osan vesipitoisuuteen oli 32,80 %. Eri juokseteiden sisällä eri pH-tavoitteilla ja CaCl_2 :lla ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p > 0,05$). Lisäksi eri koeajoyhdistelmien keskiarvojen välinen keskihajonta oli pieni, eli erot rasvattoman osan vesipitoisuustuloksissa eri yhdistelmien välillä eivät ole suuria (liite 5). Kuviosta 3 voi kuitenkin nähdä kuinka tavoite pH 1 eroaa korkeammalla rasvattoman osan vesipitoisuudellaan jokaisen juoksetteen sisällä selkeästi tavoite pH 2:sta ja CaCl_2 :sta. Tavoite pH 1 vastaa käytännössä matalampaa pH:ta kuin tavoite pH 2. Tavoite pH yhden kohdalla saostuma oli leikkausajan kohdalla tavoite pH kahta kovempi. Kovempi saostuma leikkausajankohdassa selittää ainakin osittain korkeamman rasvattoman osan vesipitoisuuden. Lisäksi tulos vastaa Barbanon vuonna 2008 tekemää selvitystä, jonka mukaan maidon pH:n alentamisen uskotaan myös vaikuttavan proteiinien erityisesti kaseiinin siirtymiseen liukoiseen muotoon. Suurempi liukoisessa muodossa olevan proteiinin määrä helpottaa vedensidontakykyä niin, että juustolla on korkeampi ja tasaisempi kosteuspitoisuus. Kalsiumkloridi puolestaan laskee kaseiinin vedensitomiskykyä ja edistää siten synereesiä.

7.1.2 Kuiva-aineen rasva (KAR)

Eri juokseteiden ja tavoite pH sekä CaCl_2 yhdistelmien kuiva-aineen rasvatulokset on esitetty kuviossa 4. Juokseteiden ja eri yhdistelmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p > 0,05$). Myös eri koeajoyhdistelmien kuiva-aineen rasvan keskiarvotuloksien välinen keskihajonta oli pieni (liite 5). Kuviosta 4 voi kuitenkin suuntaa antavasti havaita, että juoksete B:n kohdalla kuiva-aineen rasva on molempien pH-tavoitteiden sekä CaCl_2 :n osalta korkein ja vastaavasti Juoksete C:n kohdalla alhaisin. Jokaisen juoksetteen kohdalla tavoite pH 1:n osalta kuiva-aineen rasva jää matalimmaksi.



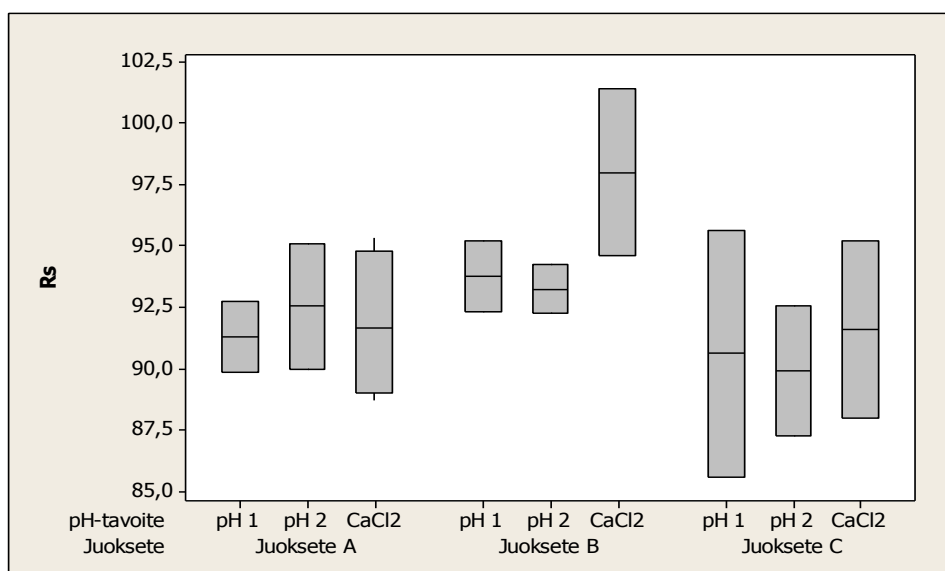
Kuvio 4 Eri koeajoyhdistelmien tuorejuustojen kuiva-aineen rasvatulokset. Juokseteiden ja eri koeajoyhdistelmien välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa kuiva-aineen rasvatuloksissa.

7.1.3 Rasvan siirtymä (Rs) ja rasvattoman kuiva-aineen siirtymä (RKAs)

Rasvan ja rasvattoman kuiva-aineen siirtymät on laskettu vakiointiraportista saatujen juustomaidon rasva ja proteiini tuloksien (liite 6) avulla.

Kuviossa 5 on esitetty eri koeajoyhdistelmien rasvan siirtymät juustomaidosta tuorejuustoon. Rasvan siirtymissä ei eri juokseteiden eikä eri pH-tavoitteiden ja CaCl_2 :n välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p > 0,05$). Erojen pienuudesta huolimatta kuvioista 5 voi suuntaa antavasti havaita, että juoksete B:n kohdalla rasvan siirtymä on suurinta. pH-tavoitteiden ja CaCl_2 :n välillä ei eroja juuri ole.

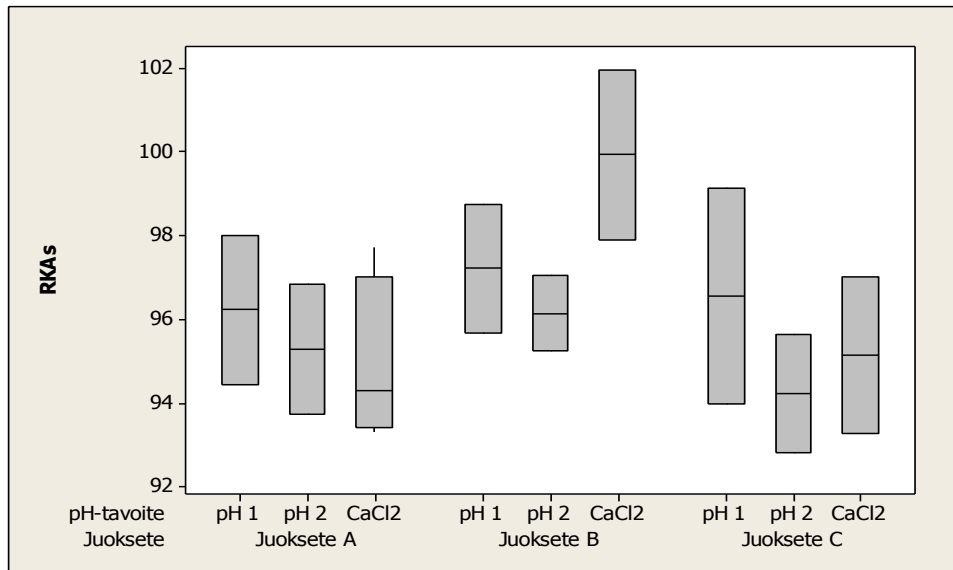
Juoksete B:n kohdalla CaCl_2 on antanut parhaimman tuloksen rasvan siirtymässä. Tuloksen luotettavuus voidaan kuitenkin kyseenalaistaa, koska yksi rasvan siirtymä on yli 100 % mikä ei ole käytännössä mahdollista. Virhe johtuu todennäköisesti epätarkkuudesta juustokilojen määrittämisessä. Sama virheellinen tulos nostaa myös eri koeajoyhdistelmien keskiarvotulosten välistä keskihajontaa (liite 5).



Kuvio 5 Eri koeajoyhdistelmien rasvan siirtymät juustomaidosta tuorejuustoon. Rasvan siirtymätuloksissa ei eri juokseteiden ja koeajoyhdistelmien välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

Sama kuvio toistuu myös rasvattoman kuiva-aineen siirtymän osalta (kuvio 6). Juoksete B on antanut jokaisen yhdistelmän kohdalla suurimman rasvattoman kuiva-aineen siirtymän, mutta pH-tavoitteiden ja CaCl_2 :n välillä ei eroja juuri ole. Ainoastaan juoksete B:n kohdalla CaCl_2 poikkeaa selvästi korkeammalla rasvattoman kuiva-aineen siirtymällä, mutta myös tämän tuloksen luotettavuus voidaan kyseenalaistaa, koska yli 100 % rasvattoman kuiva-aineen siirtymä ei ole käytännössä mahdollista.

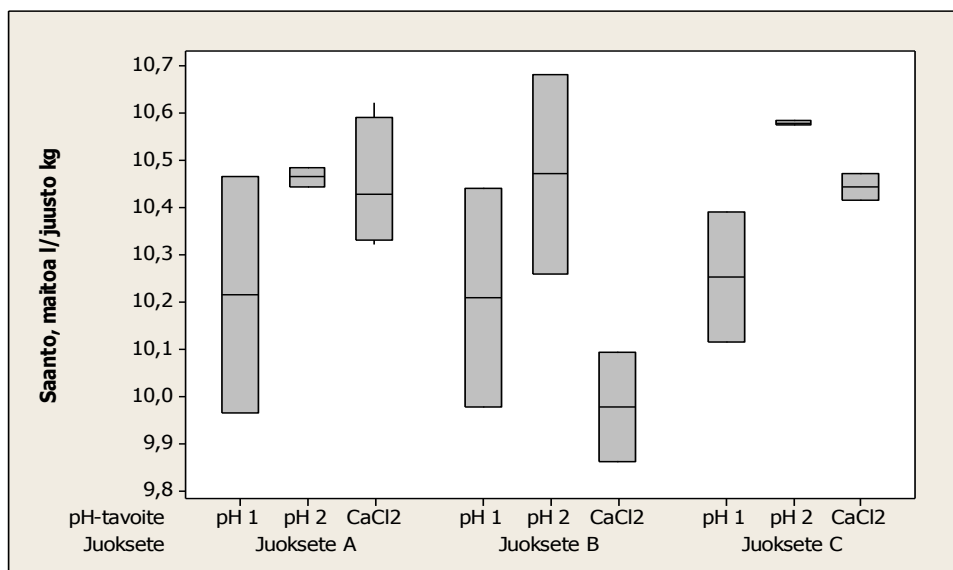
Erot rasvattoman kuiva-aineen siirtymien eri juokseteiden, pH-tavoitteiden ja CaCl_2 :n sekä koeajoyhdistelmien välillä ovat niin pieniä, että tilastollista merkitsevyyttä ei ole olemassa ($p > 0,05$). Ilman yhtä poikkeavaa rasvattoman kuiva-aineen siirtymätulosta olisi eri koeajoyhdistelmien välisten keskiarvotulosten keskihajonta pienempi (liite 5).



Kuvio 6 Eri koeajoyhdistelmien rasvattoman kuiva-aineen siirtymät juustomaidosta tuorejuustoon. Juokseteiden ja eri koeajoyhdistelmien rasvattoman kuiva-aineen siirtymätuloksien välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa.

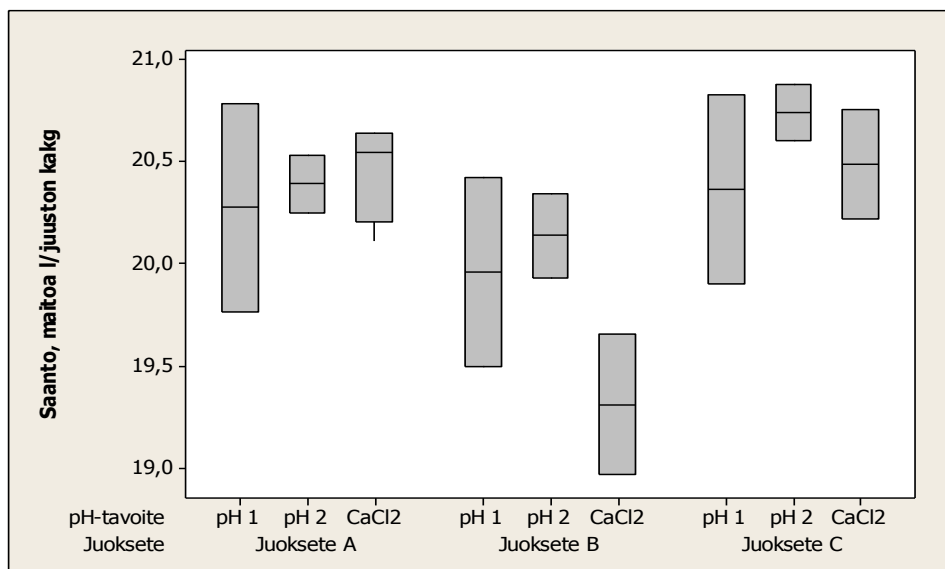
7.2 Saanto

Saantoa tarkasteltiin maidon menekin mukaan juustokiloa ja juuston kuiva-ainekiloa kohti. Maidon menekissä juustokiloa kohden ei eri juokseteiden eikä eri pH-tavoitteiden ja CaCl_2 :n kesken ollut niin suuria eroavaisuuksia, että sillä olisi tilastollista merkitsevyyttä. Ainoastaan CaCl_2 :n kohdalla eri juokseteiden välillä havaittiin tilastollisesti melkein merkitsevät erot saannossa ($p \leq 0,05$). Selitysaste (R^2) CaCl_2 :n kohdalla juoksetteen osalta oli 79,61 %, mikä on korkea.



Kuvio 7 Eri koeajoyhdistelmien maidon menekki juustokiloa kohden. Ainoastaan CaCl_2 :n osalta juokseteiden välillä on tilastollisesti melkein merkitsevä ero.

Kuviossa 7 on esitetty maidon menekki juustokiloa kohden eri koeajoyhdistelmien kohdalla. Yhdistelmän sisäinen vaihtelu on suurta, ainoastaan tavoite pH 2 juoksetteiden A ja C kanssa on antanut pienen vaihtelun. Eri koeajoyhdistelmien välillä maidon menekissä juustokiloa kohden ei pienen keskijahonnan mukaan ole suuria eroavaisuuksia (liite 5).



Kuvio 8 Eri koeajoyhdistelmien maidon menekki juuston kuiva-ainekiloa kohden. Juoksetteiden välillä vallitsee tilastollisesti melkein merkitsevä ero maidon menekissä juuston kuiva-ainekiloa kohden. Juoksete B eroaa alhaisimmalla maidon menekillä muista juoksetteista.

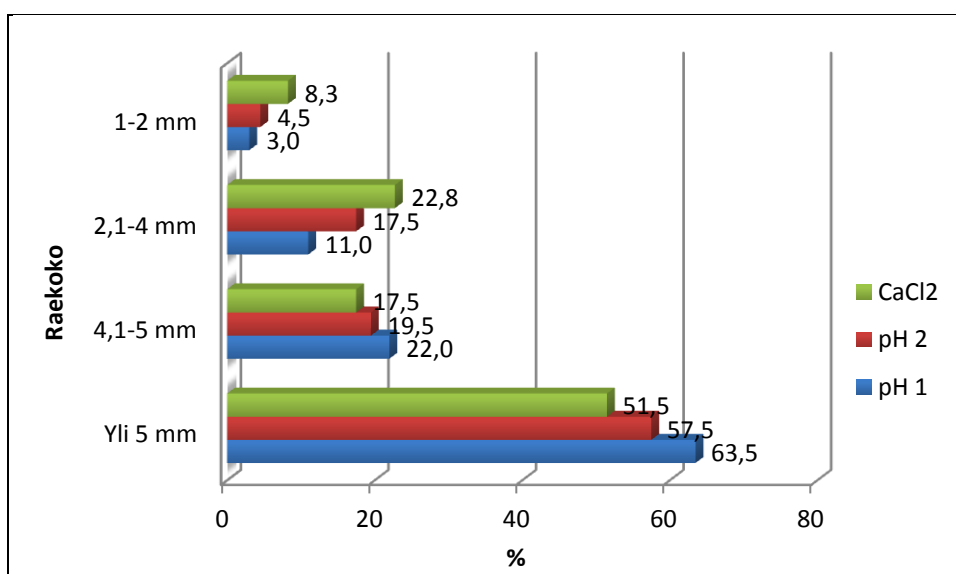
Maidon menekissä juuston kuiva-ainekiloa kohden oli eroa eri juoksetteiden välillä ($p \leq 0,05$), mutta pH-tavoitteiden ja CaCl₂:n välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ($p > 0,05$). Selitysaste (R^2) juoksetteiden osalta oli 37,71 %. CaCl₂:n kohdalla eri juoksetteiden väliset erot olivat tilastollisesti melkein merkitsevät ($p \leq 0,05$). Selitysaste (R^2) CaCl₂:n kohdalla juoksetteen osalta oli suuri, 78,31 %. (Kuvio 8.)

Kuviosta 8 näkee, että kuiva-ainesaannossa on tavoite pH 1 kohdalla selvästi muita suurempaa vaihtelua jokaisen juoksetteen kohdalla. Juoksete B:n osalta maidon menekki on ollut pienintä ajatellen kuiva-ainesaantoa. Käytännössä erot maidon menekissä juuston kuiva-ainekiloa kohden ovat kuitenkin pieniä, minkä osoittaa myös eri koeajoyhdistelmien välisten tulosten pieni keskijahonta (liite 5). Juoksete B:n kohdalla toteutuneiden juoksetteenlisäys pH arvojen suurehko ero (0,06 yksikköä) voi selittää osittain tavoite pH 1:n suurta sisäistä vaihtelua. Muiden juoksetteiden kohdalla toteutuneiden pH-arvojen ero on niin pieni, että se ei selitä vaihtelun suuruutta.

7.3 Raekoko

Jokaisesta koe- sekä vertailukattilasta otettiin massanlaskun aikana noin pari litraa hera-rakeistoseosta, josta määritettiin raekokojakauma prosentuaalisesti. Kuvioissa 9 - 11 on esitetty juoksete kohtaiset raekokojakaumat. Koeajoista ja niiden toistoista on laskettu keskiarvot, joiden pohjalta kuvaajat on muodostettu. Yli puolet rakeista tulisi olla kooltaan tavoitteen mukaisia eli yli 5 mm halkaisijaltaan. Tämä tavoite toteutuu jokaisen yhdistelmän kohdalla, mutta raekokojakaumissa on kuitenkin selkeitä eroja.

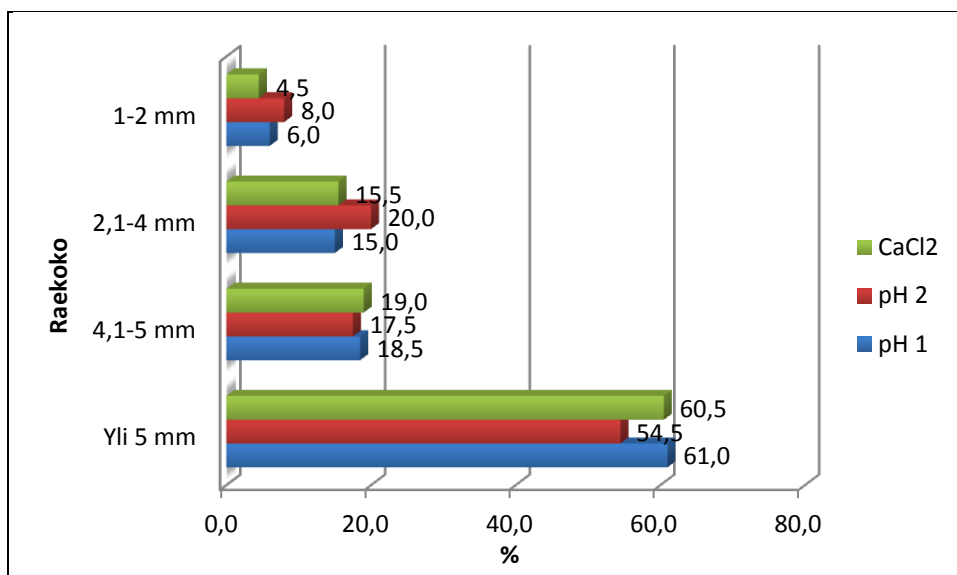
Jokaisen juoksetteen kohdalla tavoite pH 1 on saanut aikaan eniten suuria rakeita ja vähiten pieniä ei niin toivottuja rakeita. Tämä antaa myös osviittaa suuremmalle rasvattoman osan vesipitoisuudelle, joka kyseisen pH-tavoitteen kohdalla jo todettiin. Suuremmat rakeet sitovat enemmän vettä, jolloin juuston vesipitoisuus nousee eli rasvattoman osan vesipitoisuus on korkeampi.



Kuvio 9 Raekokojakaumat käytettäessä juoksete A:ta. pH 1:n kohdalla suurien rakeiden osuus on selkeästi suurempi kuin CaCl₂:n kohdalla.

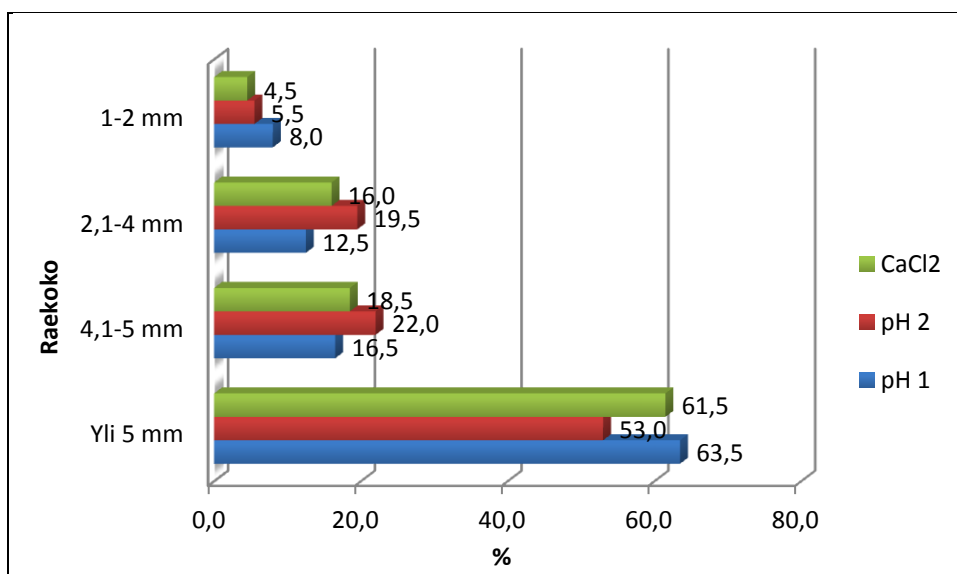
Juoksete A:n kohdalla tavoite pH 1 antoi selkeästi erilaisen raekokojakauman kuin CaCl₂ (kuvio 9). CaCl₂:n raekokojakaumassa pienten rakeiden osuus oli suurempi ja suurien rakeiden osuus pienempi kuin tavoite pH 1:n ja 2:n jakaumassa. Tavoite pH 1 erottui korkeammalla rasvattoman osan vesipitoisuustuloksellaan, mutta CaCl₂:n ja tavoite pH 2:n rasvattoman osan vesipitoisuustuloksissa ei ollut merkittävää eroa.

Juoksete B ja tavoite pH 2 antoivat alhaisimman rasvattoman osan vesipitoisuustuloksen, jonka osasyynä voidaan pitää muun muassa raekokoa (kuvio 10). Tavoite pH 2:n kohdalla pienien rakeiden osuus on suurin ja vastaavasti suurien rakeiden osuus pienin. Juoksete B:n osalta CaCl₂ ja tavoite pH 1 antoivat hyvin samanlaisen raekokojakauman. CaCl₂:n rasvattoman osan vesipitoisuustulos jäi siitä huolimatta hieman alhaisemmaksi kuin tavoite pH 1:n kohdalla.



Kuvio 10 Raekokojakaumat käytettäessä juoksete B:tä. pH 1 ja CaCl₂ ovat antaneet hyvin samanlaisen raekokojakauman

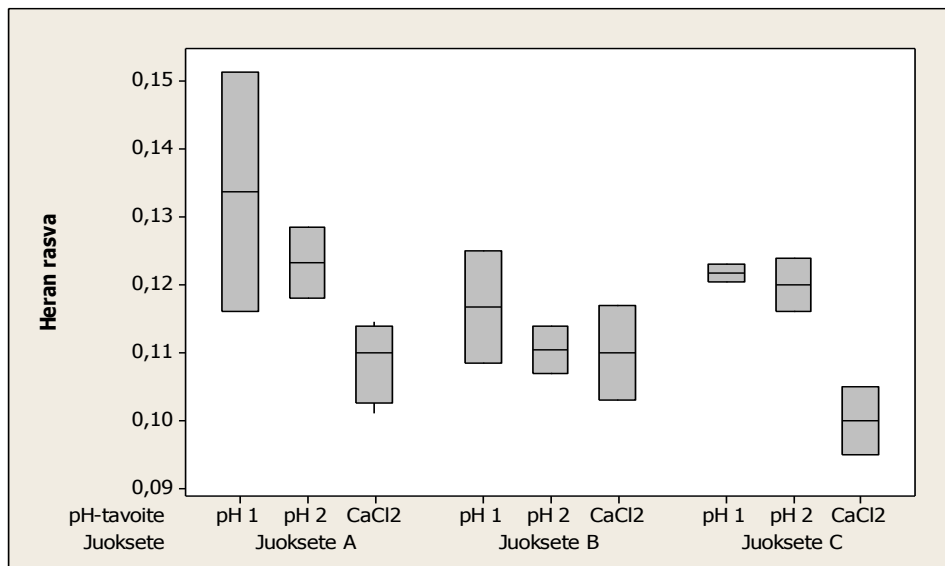
Juoksete C:n kohdalla tavoite pH 2:n raekokojakauma voi ainakin osittain selittää alhaista rasvattoman osan vesipitoisuustulosta, mutta CaCl₂:n ja tavoite pH 1:n raekokojakaumat eivät yksistään riitä selittämään eroa rasvattoman osan vesipitoisuustuloksissa (kuvio 11).



Kuvio 11 Raekokojakaumat käytettäessä juoksete C:tä. pH 2 erottuu suuremmalla pienien rakeiden määrällä pH 1:stä ja CaCl₂:sta.

7.4 Heran rasva- ja kuiva-ainepitoisuus

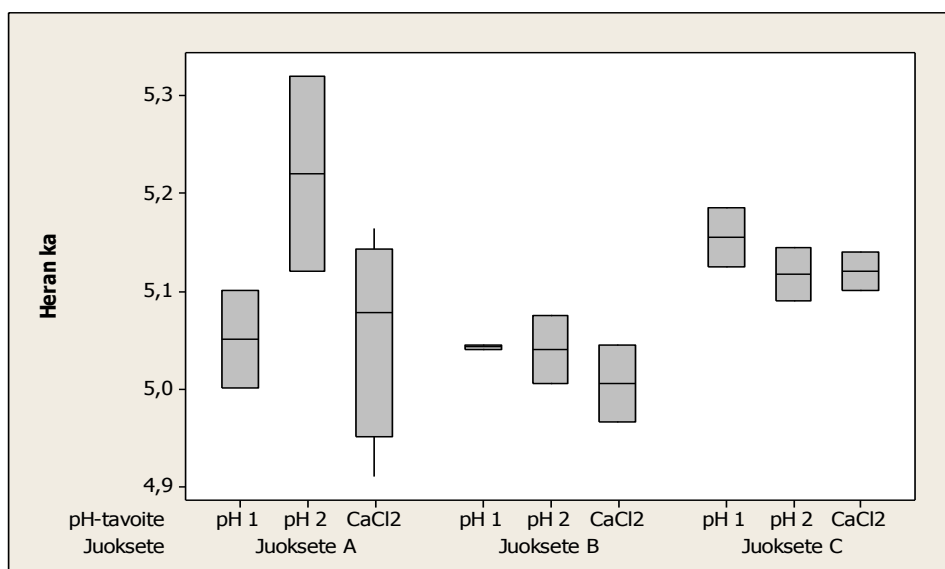
Jokaisesta koe- sekä vertailukattilasta otettiin laskuheranäyte, josta määritettiin heran rasva- ja kuiva-ainepitoisuus. Tällä haluttiin selvittää onko jonkin koe yhdistelmän osalta rasvan ja/tai kuiva-aineen hävikki heraan suurempi.



Kuvio 12 Eri koeajoyhdistelmien laskuheran rasvapitoisuudet. Juoksetteiden välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa laskuheran rasvapitoisuuksissa, mutta eri pH-tavoitteiden ja CaCl₂:n välillä on tilastollisesti melkein merkitsevä ero. pH 1:n kohdalla heran rasvapitoisuus on korkein ja CaCl₂:n kohdalla alhaisin.

Kuviossa 12 on esitetty eri juoksete ja pH sekä CaCl₂ yhdistelmien vaikutus heran rasvapitoisuuteen. Juoksetteiden välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa heran rasvapitoisuudessa ($p > 0,05$), mutta eri pH-tavoitteiden ja CaCl₂:n välillä oli tilastollisesti melkein merkitsevä ero ($p \leq 0,05$). Juoksetteenlisäyksen aikana vallitseva pH selittää (R^2) 37,81 % heran rasvapitoisuudesta. Juoksete A:n ja juoksete B:n sisällä erilaisilla juoksetteenlisäyksen pH-arvoilla ei havaittu tilastollisesti merkitsevää vaikutusta heran rasvapitoisuuteen ($p > 0,05$). Juoksete C:n kohdalla pH:lla oli kuitenkin tilastollisesti melkein merkitsevä vaikutus heran rasvapitoisuuteen ($p \leq 0,05$). Juoksete C:n kohdalla juoksetteenlisäyksen aikana vallitseva pH selittää 87,28 % heran rasvapitoisuudesta.

Kuviossa 12 jokaisen juoksetteen kohdalla toistuu sama ilmiö eli tavoite pH 1:n kohdalla heran rasvapitoisuus on korkeimmillaan ja CaCl₂ kohdalla alhaisimmillaan. Myös tuorejuuston rasva tulokset osoittivat, että jokaisen juoksetteen kohdalla tuorejuuston rasva jäi tavoite pH 1:n osalta alhaisimmaksi ja CaCl₂:n osalta tuorejuustossa oli korkein rasvapitoisuus. Tämä tulos menee yksiin Nelsonin, Lynchin ja Barbanon vuonna 2004 suorittaman tutkimuksen, hiilidioksidikäsittelyn vaikutus cheddarjuuston koostumukseen ja saantoon, kanssa. Heikin havaitsivat hiilidioksidikäsittelyn yhteydessä suurempaa rasvan hävikkiä heraan.



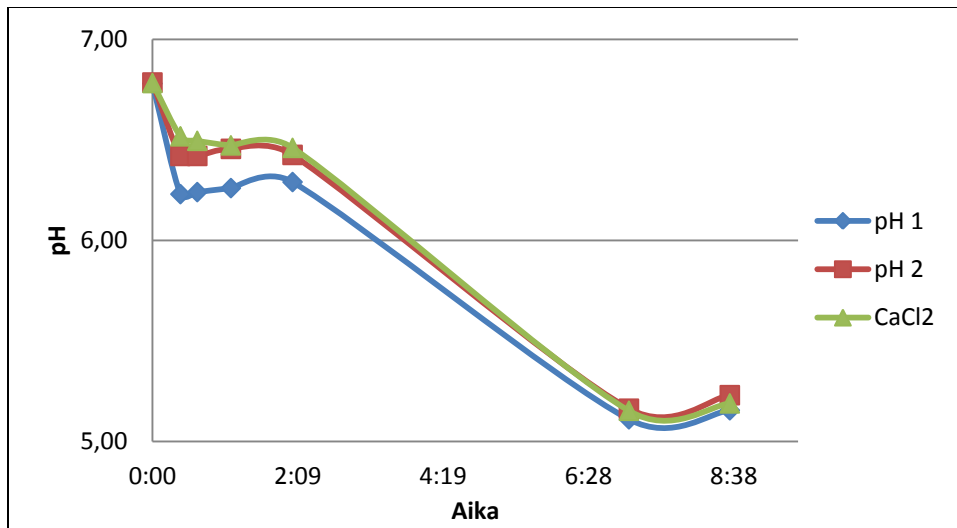
Kuvio 13 Eri koeajoyhdistelmien laskuheran kuiva-ainepitoisuudet. Juokseteiden ja eri koeajoyhdistelmien välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa laskuheran kuiva-ainepitoisuuksissa.

Juokseteiden eikä eri pH-tavoitteiden ja CaCl₂:n välillä havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa heran kuiva-ainepitoisuudessa ($p > 0,05$). Myös eri juokseteiden sisällä ei tuloksissa ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p > 0,05$). Heran kuiva-ainepitoisuuden vaihtelut olivat samansuuntaisia kuin saman koe yhdistelmän tuorejuuston kuiva-ainepitoisuudet juokseteiden A ja B kohdalla. Eli esimerkiksi juoksete A:n kohdalla tavoite pH yhden tuorejuuston kuiva-ainepitoisuus oli alhaisin ja vastaavasti kyseisen yhdistelmän heran kuiva-ainepitoisuus oli alhaisin. Ainoastaan juoksete C:n kohdalla oli havaittavissa kuiva-aine hävikkiä heraan. Eli esimerkiksi juoksete C:n kohdalla tavoite pH yhden osalta heran kuiva-ainepitoisuuden ollessa korkein, oli kyseisen yhdistelmän tuorejuuston kuiva-ainepitoisuus alhaisin. (Kuvio 13.)

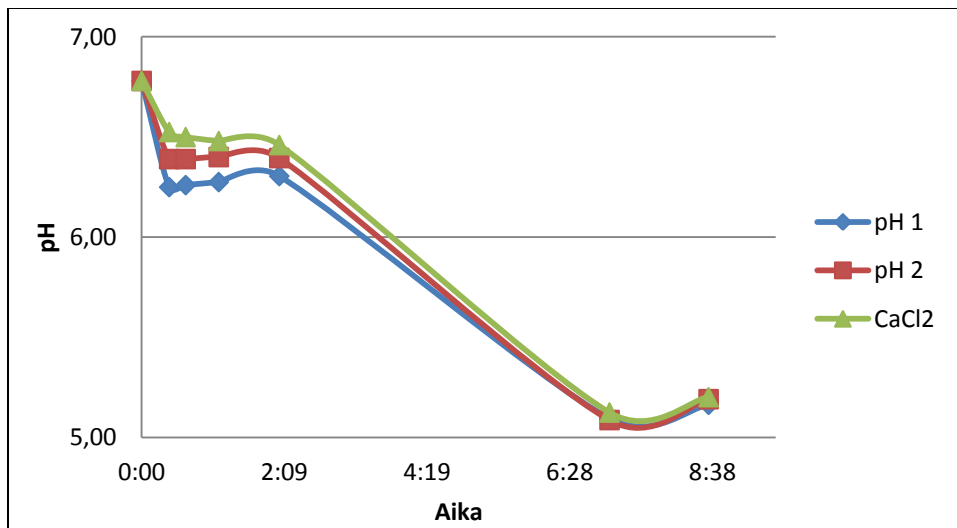
Erot eri koeajoyhdistelmien välillä, koskien heran rasva- ja kuiva-ainepitoisuuksien keskiarvotuloksia, olivat käytännössä kuitenkin hyvin pieniä. Tästä on osoituksena tulosten välinen hyvin pieni keskiahajonta. (Liite 5.)

7.5 pH:n muutos suhteessa aikaan

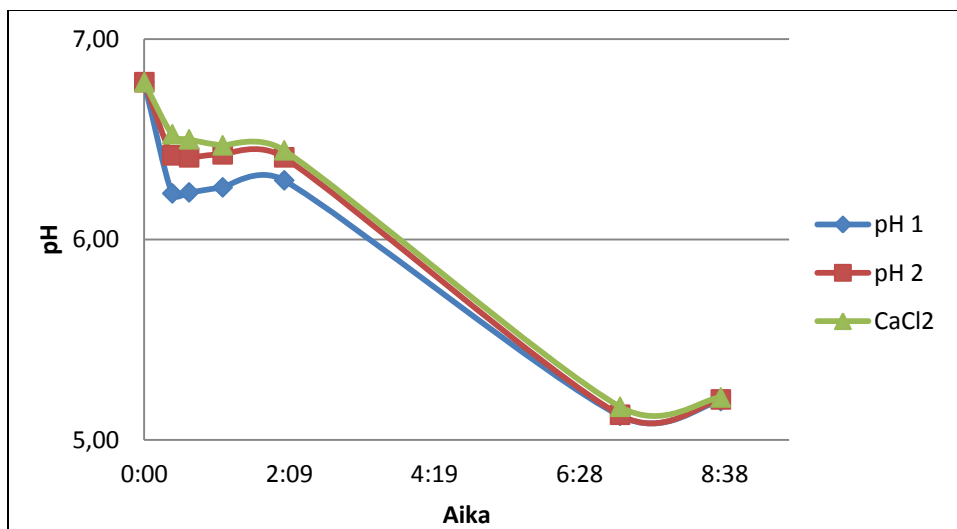
Kuvioissa 14 - 16 on esitetty eri koeajoyhdistelmien pH:n muutos suhteessa aikaan alkaen juustomaidosta ja päättyen tuorejuustoon suolauksen jälkeen. Käyrät on tehty käytettyjen juokseteiden mukaan, jotta eri pH-tavoitteiden ja CaCl₂:n väliset erot tulisivat paremmin esiin. Kuvioista voi huomata, että riippumatta käytetystä juokseteesta ja pH:n lähtötasosta tuorejuusto saavuttaa tunneloinnin aikana suurin piirtein saman pH-arvon. Eli ennen suolavettä juustojen pH-arvot ovat hyvin pitkälle samanlaiset ja vielä suolauksenkin aikana pH muuttuu samansuuntaisesti. Suurin osa syötetystä hiilidioksidista siis haihtuu tuorejuustosta ennen suolavettä ja juuston happaneminen etenee normaalisti.



Kuvio 14 pH:n muutos suhteessa aikaan käytettäessä juoksete A:ta.



Kuvio 15 pH:n muutos suhteessa aikaan käytettäessä juoksete B:tä.



Kuvio 16 pH:n muutos suhteessa aikaan käytettäessä juoksete C:tä.

7.6 Koejuustojen aistinvaraisen arvioinnin tulokset

Koe- sekä vertailukattiloiden juustoille suoritettiin kypsytysajan jälkeen aistinvaraiseen arviointiin perustuva myyntiinhyväksyntä sekä laajennettu kolmitesti.

7.6.1 1. koeajon myyntiinhyväksyntä

15.7.2011 valmistettujen koe- sekä vertailujuustojen myyntiinhyväksynnän tulokset on esitetty taulukossa 3. Ensimmäisen koekattilan arvostelujuustoa kommentoitiin tiiviiksi, pehmeäksi ja mauttomaksi. Toisen koekattilan arvostelujuustosta todettiin sen olevan pehmeä ja aavistuksen tahmea. Kolmannen koekattilan arvostelujuuston rakennetta kommentoitiin joustavaksi. Molempien vertailukattiloiden arvostelujuustojen makua arvosteltiin hieman karvaaksi, mutta vertailukattila neljä valittiin arvostelujuustoista massaltaan parhaimmaksi. Kaikki sekä koe- että vertailukattiloiden juustot todettiin 1-luokkaisiksi juustoiksi ja ne hyväksyttiin siten myytäväksi.

Taulukko 3 15.7.2011 valmistetuille koe- sekä vertailujuustoille suoritettujen myyntiinhyväksynnän tulokset. Tulosten mukaan kaikki koe- sekä vertailujuustot ovat 1-luokkaisia.

Kattila	Ulkonäkö	Rakenne	Maku/haju
Koe 1	3	3	3
Koe 2	5	3	5
Koe 3	5	5	5
Vertailu 4	5	5	5
Vertailu 5	5	5	3

7.6.2 2. koeajon myyntiinhyväksyntä

29.7.2011 valmistettujen koe- sekä vertailujuustojen myyntiinhyväksynnän tulokset on esitetty taulukossa 4. Arvostelujuustojen ulkonäössä ei ollut moitittavaa ja vertailukattiloiden juustot olivat myös rakenteeltaan moitteettomia. Ensimmäisen koekattilan arvostelujuuston rakennetta kuvailtiin hiukan pehmeäksi ja toisen sekä kolmannen koekattilan juustojen rakennetta tahmeaksi. Arvostelujuustot, joiden maussa oli huomautettavaa, olivat arvostelijoiden mielestä karvaita. Kaikki sekä koe- että vertailukattiloiden juustot todettiin 1-luokkaisiksi eli myyntikelpoisiksi.

Taulukko 4 29.7.2011 valmistetuille koe- sekä vertailujuustoille suoritettujen myyntiinhyväksynnän tulokset. Tulosten mukaan kaikki koe- sekä vertailujuustot ovat 1-luokkaisia.

Kattila	Ulkonäkö	Rakenne	Maku/haju
Koe 1	5	3	3
Koe 2	5	3	5
Koe 3	5	3	3
Vertailu 4	5	5	5
Vertailu 5	5	5	3

7.6.3 3. koeajon myyntiinhyväksyntä

12.8.2011 valmistettujen koe- sekä vertailujuustojen myyntiinhyväksynnän tulokset on esitetty taulukossa 5. Sekä koe- että vertailukattiloiden arvostelujuustot olivat ulkonäöltään moitteettomia. Kaikkien muiden arvostelujuustojen makua kuvailtiin karvaaksi, mutta toisen koekattilan arvostelujuustossa sitä ei havaittu. Molempien vertailukattiloiden arvostelujuustoa kuvailtiin rakenteeltaan pehmeiksi ja vertailukattila viiden arvostelujuustoa suolaiseksi. Kahden ensimmäisen koekattilan arvostelujuustojen rakennetta kuvailtiin voimaiseksi. Kaikki juustot todettiin 1-luokkaisiksi ja myyntikelpoisiksi.

Taulukko 5 12.8.2011 valmistetuille koe- sekä vertailujuustoille suoritetun myyntiinhyväksynnän tulokset. Tulosten mukaan kaikki koe- sekä vertailujuustot ovat 1-luokkaisia.

Koekattila	Ulkonäkö	Rakenne	Maku/haju
Koe 1	5	3	3
Koe 2	5	3	5
Koe 3	5	5	3
Vertailu 4	5	3	3
Vertailu 5	5	3	3

7.6.4 4. koeajon myyntiinhyväksyntä

26.8.2011 valmistettujen koe- sekä vertailujuustojen myyntiinhyväksynnän tulokset on esitetty taulukossa 6. Tulokset osoittavat, että lukuun ottamatta ensimmäisen koekattilan arvostelujuustoa kaikki sekä koe- että vertailukattilan juustot ovat virheettömiä. Ensimmäisen koekattilan juustoa kuvailtiin mauttomaksi, mutta ulkonäöltään ja rakenteeltaan moitteettomaksi. Kaikki juustot todettiin 1-luokkaisiksi ja hyväksyttiin myytäväksi.

Taulukko 6 26.8.2011 valmistetuille koe- sekä vertailujuustoille suoritetun myyntiinhyväksynnän tulokset. Tulosten mukaan kaikki koe- sekä vertailujuustot ovat 1-luokkaisia.

Koekattila	Ulkonäkö	Rakenne	Maku/haju
Koe 1	5	5	3
Koe 2	5	5	5
Koe 3	5	5	5
Vertailu 4	5	5	5
Vertailu 5	5	5	5

7.6.5 1. koeajon laajennettu kolmitesti

Taulukossa 7 on esitetty 15.7.2011 valmistetuille hiilidioksidikoejuustoille suoritettujen kolmitestien tulokset. Kolmitestien tulosten perusteella voidaan todeta, että 15.7.2011 hiilidioksidilla käsitellystä maidosta valmistetuilla juustoilla ja tavanomaisesti valmistetuilla juustoilla ei ole eroa eli vaihtoehdohypoteesi voidaan hylätä ja nollahypoteesi jää voimaan.

Taulukko 7 15.7.2011 valmistetuille hiilidioksidikoejuustoille suoritetun kolmitestin tulokset. Tulosten mukaan hiilidioksidilla käsitellystä maidosta valmistetuilla juustoilla ja tavanomaisesti CaCl₂:n avulla valmistetuilla juustoilla ei ole eroa.

Kolmitesti	Vastauksia	Oikeat vastaukset	Tilastollinen merkitsevyys
Koe 1	9	4	ei merkitsevä
Koe 2	9	1	ei merkitsevä
Koe 3	9	4	ei merkitsevä

Ensimmäisessä kolmitestissä vastaajien täytyi tunnistaa vertailukattilan juusto ensimmäisen koekattilan juustojen joukosta. 4/9 vastaajasta tunnisti vertailujuuston ja perustelivat valintaa rakenne ja maku eroilla. Kaksi oikein vastannutta totesivat, että koejuustot olivat vertailujuustoa pehmeämpiä ja tahmeampia. Koejuustojen rasvattoman osan vesipitoisuus olikin korkeampi kuin vertailujuuston. Yhden mielestä vertailujuusto oli karvaampi sekä kuivempi kuin koejuustot ja yksi piti vertailujuustoa rakenteeltaan kumimaisempana kuin koejuustoja. Oikein vastanneet olivat arvioineet asteikolla 0 - 3 eron suuruudeksi keskimäärin 1,25.

Myös toisessa kolmitestissä vastaajien täytyi tunnistaa vertailukattilan juusto koekattilan juustojen joukosta. Ainoastaan 1/9 vastaajasta tunnisti vertailujuuston toisen koekattilan juustojen joukosta. Tämä vastaaja ei kuitenkaan ollut kommentoinut valintaansa eikä arvioinut eron suuruutta.

Kolmannessa kolmitestissä vastaajien täytyi erottaa kolmannen koekattilan juusto vertailukattilan juustojen joukosta. Tässä onnistui 4/9 vastaajasta. Kaksi oikein vastannutta perustelivat valintaansa rakenne erolla. Toisen mielestä koejuusto oli vertailujuustoja joustavampi ja toisen mielestä ehkä hiukan sitkaampi. Yksi vastaaja piti koejuustoa mauttomampana kuin vertailujuustoja. Eron suuruudeksi asteikolla 0 - 3 annettiin keskimäärin 0,5.

7.6.6 2. koeajon laajennettu kolmitesti

29.7.2011 valmistetuille hiilidioksidikoejuustoille suoritettujen kolmitestien tulokset on esitetty taulukossa 8. Kolmitestien tulosten perusteella 29.7.2011 valmistetuilla kahden ensimmäisen koekattilan juustoilla ja niiden vertailukattilan juustoilla ei ole eroa, joten niiden osalta vaihtoehdotyhypoteesi voidaan hylätä ja nollahypoteesi jää voimaan. Kolmannen koekattilan ja sen vertailukattilan juustojen välillä havaittiin eroa 1 % merkitsevyystasolla.

Taulukko 8 29.7.2011 valmistetuille hiilidioksidikoejuustoille suoritetun kolmitestin tulokset. Koekattila 3:n juusto erosi tilastollisesti merkitsevästi vertailukattilan juustoista. Koejuustoa kuvailtiin vertailujuustoja pehmeämmäksi ja suolaisemmaksi.

Koekattila	Vastauksia	Oikeat vastaukset	Tilastollinen merkitsevyys
Koe 1	14	5	ei merkitsevä
Koe 2	14	4	ei merkitsevä
Koe 3	13	9	p≤0,01 merkitsevä

Ensimmäisessä ja toisessa kolmitestissä vastaajien täytyi tunnistaa vertailukattilan juusto koekattilan juustojen joukosta. Ensimmäisessä kolmitestissä tähän pystyi 5/14 vastaajasta ja toisessa 4/14 vastaajasta. Ensimmäisessä kolmitestissä oikein vastanneet perustelivat vastaustansa maku ja rakenne eroilla. Tunnistettavaa juustoa kuvailtiin muun muassa maultaan ”terävämmäksi” ja parhaimmaksi sekä rakenteeltaan napakammaksi ja pehmeämmäksi. Vertailukattilan juusto olikin rasvattoman osan vesipitoisuudeltaan korkeampi kuin koekattilan juustot. Eron suuruudeksi asteikolla 0 - 3 annettiin keskimäärin 1,6. Toisessa kolmitestissä eron suuruutta asteikolla 0 - 3 arvioitiin keskimäärin 1,5:ksi ja ainoastaan yksi oikein vastannut oli perustellut valintaansa. Vastaaja kuvaili tunnistettavaa vertailukattilan juustoa mauttomammaksi kuin koekattilan juustoja. Ero maussa voi olla seurausta juustojen erilaisista suolapitoisuuksista. Koekattilan juustoissa oli suurempi suolapitoisuus kuin vertailukattilan juustossa.

Kolmannessa kolmitestissä vastaajien täytyi edellisistä poiketen tunnistaa yksi koekattilan juusto kahdesta vertailukattilan juustosta ja tässä onnistui 9/13 vastaajasta eli juustojen välillä on merkitsevä ero. Kolme oikein vastannutta kuvaili tunnistettavaa juustoa massaltaan pehmeämmäksi ja yksi tahmeammaksi. Yksi kuvaili juustoa maultaan suolaiseksi ja kaksi vastaajaa kitkeräksi. Oikein vastanneet olivat arvioineet asteikolla 0 - 3 eron suuruudeksi keskimäärin 1,5. Koekattilan juustossa oli sekä korkeampi suolapitoisuus että rasvattoman osan vesipitoisuus.

7.6.7 3. koeajon laajennettu kolmitesti

12.8.2011 valmistettujen hiilidioksidikoejuustojen kolmitestien tulokset on esitetty taulukossa 9. Kolmitestien tulokset osoittavat, että 12.8.2011 valmistetuilla kahden ensimmäisen koekattilan juustoilla ja niiden vertailukattilan juustoilla ei ole eroa, mutta kolmannen koekattilan ja sen vertailukattilan juustojen välillä havaittiin eroa 5 % merkitsevyystasolla eli ero on melkein merkitsevä. Kahden ensimmäisen koekattilan kohdalla nollahypoteesi jää siis voimaan ja vaihtoehtohypoteesi hylätään.

Taulukko 9 12.8.2011 valmistetuille hiilidioksidikoejuustoille suoritetun kolmitestin tulokset. Koekattila 3:n juusto erosi tilastollisesti melkein merkitsevästi vertailukattilan juustoista. Vastaajien mielestä juustojen rakenteessa oli eroa.

Koekattila	Vastauksia	Oikeat vastaukset	Tilastollinen merkitsevyys
Koe 1	13	6	ei merkitsevä
Koe 2	13	4	ei merkitsevä
Koe 3	13	8	$p \leq 0,05$ melkein merkitsevä

Ensimmäisessä kolmitestissä 6/13 vastaajasta tunnisti vertailukattilan juuston kahdesta ensimmäisen koekattilan juustosta. Ainoastaan kaksi oikein vastannutta perusteli valintansa ja arvioi eron suuruuden. Yhden vastaajan mielestä tunnistettava juusto erottui rakenteeltaan muista juustoista, mutta ei kuvaillut miten. Yksi vastaaja arvioi tunnistettavan juuston erottuvan

kitkerämmällä maullaan. Eron suuruudeksi arvioitiin keskimäärin 1,5 asteikolla 0 - 3.

Toisessa kolmitestissä vertailukattilan juuston toisen koekattilan juustoista erotti 4/13 vastaajasta. Yksi vastaaja piti vertailukattilan juustoa maultaan puhtaampana ja rakenteeltaan kiinteämpänä kuin koekattilan juustoja. Yhden vastaajan mielestä tunnistettava eli vertailukattilan juusto oli mauttomampi kuin koekattilan juustot. Muut oikein vastanneet eivät perustelleet valintaansa. Keskimäärin eron suuruus arvioitiin 1,7:ksi asteikolla 0 - 3.

Kolmannessa kolmitestissä vastaajien täytyi erottaa yksi viimeisen koekattilan juusto kahdesta vertailukattilan juustosta. Tässä onnistui 8/13 vastaajasta. Kaksi oikein vastannutta kuvailivat tunnistettavaa juustoa pehmeämmäksi ja yksi puolestaan massaltaan kiinteämmäksi. Vertailukattilan juustojen rasvattoman osan vesipitoisuus oli korkeampi kuin koekattilan juuston, joten todennäköisesti koekattilan juusto on ollut rakenteeltaan kiinteämpi. Muut oikein vastanneet eivät kuvailleet eroa. Keskimäärin eron suuruus oli vastaajien mielestä 1,75 asteikolla 0 - 3.

7.6.8 4. koeajon laajennettu kolmitesti

Taulukossa 10 on esitetty viimeisen eli 26.8.2011 suoritettujen koeajon kolmitestien tulokset. Kolmitestien tulokset osoittavat, että 26.8.2011 valmistettujen koekattiloiden ja niiden vertailukattiloiden juustoilla ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa eli nollahypoteesi jää voimaan ja vaihtoehtohypoteesi voidaan hylätä.

Taulukko 10 26.8.2011 valmistetuille hiilidioksidikoejuustoille suoritettujen kolmitestien tulokset. Tulosten mukaan hiilidioksidilla käsitellyistä maidosta valmistetuilla juustoilla ja tavanomaisesti CaCl_2 :n avulla valmistetuilla juustoilla ei ole eroa.

Koekattila	Vastauksia	Oikeat vastaukset	Tilastollinen merkitsevyys
Koe 1	14	6	ei merkitsevä
Koe 2	14	8	ei merkitsevä
Koe 3	14	7	ei merkitsevä

Ensimmäisessä kolmitestissä 6/14 vastaajasta pystyi erottamaan vertailukattilan juuston kahdesta ensimmäisen koekattilan juustosta. Vertailukattilan juuston kuvailtiin erottuvan koekattilan juustoista rakenteen ja maun perusteella. Vertailukattilan juustoa kuvailtiin pehmeämmäksi ja maultaan poikkeavaksi sekä karvaaksi. Ero arvioitiin asteikolla 0 - 3 keskimäärin 1,1:ksi.

Toisessa kolmitestissä vastaajien täytyi erottaa toisen koekattilan juustojen joukosta vertailukattilan juusto. Tässä onnistui 8/14 vastaajasta, jotka perustelivat valintaansa sekä maku että rakenne eroilla. Kaksi vastaaja kuvasi tunnistettavaa eli vertailukattilan juustoa kuivemmaksi. Vertailukattilan juustoa kuvattiin myös kovaksi ja sitkeäksi sekä mauttomammaksi kuin koekattilan juustoja. Yksi vastaaja piti koekattiloiden juustoja karvaampi-

na kuin vertailukattilan juustoa. Oikein vastanneet arvioivat eron suuruudeksi keskimäärin 1 asteikolla 0 - 3.

Viimeisessä eli kolmannessa kolmitestissä 7/14 vastaajasta erotti viimeisen koekattilan juuston vertailukattilan juustoista. Viiden vastaajan mielestä koekattilan juusto erottui pehmeämmällä rakenteellaan ja yksi piti rakennetta kumimaisena. Koekattilan juuston makua kuvailtiin myös mauttomaksi, hiukan kitkeräksi ja suolaiseksi. Lisäksi yksi vastaaja totesi maistaneensa siinä valon makua. Yhden vastaajan mielestä vertailukattilan juustoissa oli todettavissa pistävää makua. Keskimäärin eron suuruudeksi arvioitiin 1,7 asteikolla 0 - 3. Koekattilan juustossa rasvattoman osan vesipitoisuus oli vertailukattilan juustoja selkeästi korkeampi ja myös suolaluolos oli hieman korkeampi.

7.7 Virhelähteet

Teollisessa mittakaavassa suoritettujen koeajojen toistettavuus ei ole helppoa. Prosessissa tulevat häiriöt ja satunnaiset vaihtelut eivät mahdollista täysin samanlaisten keittojen toteutusta. Tässä työssä jouduttiin hyväksymään muun muassa pienet vaihtelut maidon juoksetteenlisäyslämpötilassa ja massan laskulämpötilassa sekä esikypsytyksajassa ja keittoajassa. Nämä vaihtelut voivat olla yksi virheellisten tulosten lähde. Lämpötilat pysyivät kuitenkin halutuissa rajoissa ja niiden tämän kaltainen vaihtelu on prosessissa hyvin tyypillistä. Prosessissa tapahtuvat häiriöt näkyvät helposti keittoajan ylityksinä. Näissä koeajoissakaan ei säästyty täysin sellaisilta häiriöiltä, joilla on vaikutusta keiton etenemiseen. Keittoajoissakin on siis pientä vaihtelua eri kattiloiden välillä, noin 1 - 10 minuuttia. Keitot eivät kuitenkaan menneet yhdenkään kattilan kohdalla niin pitkiksi, että sen perusteella koeajo voitaisiin hylätä. Teollisessa mittakaavassa suoritettujen koeajojen myös rajoittivat koeajojen ja toistojen määrää. Isommalla toistojen määrällä olisi saatu enemmän luotettavuutta tuloksiin.

Koeajot veivät kattiloiden erilleen ajon seurauksena niin paljon aikaa, että kaikkien kokeiden ja toistojen suorittaminen saman päivän aikana olisi ollut mahdotonta. Koeajot suoritettiin siis neljänä eri päivänä kahden viikon välein. Tästä johtuen jokaisena koeajopäivänä käytössä oli eri maitoerä. Oletuksena oli, että tällä ajanjaksolla maidon koostumuksessa ei ehtisi tapahtua merkittävää vaihtelua. On kuitenkin otettava huomioon, että maidon koostumuksessa on voinut olla vaihtelua ja maidon pH vaihteli koeajoissa 6,74:stä 6,83:een, mikä voi johtua muun muassa eripituisista varastointiajoista.

Kaikissa koeajoissa käytettiin samanlaista hapatetta ja hapatteenlisäysmäärää. Hapatteelle oli tavanomaisen käytännön mukaan suoritettu aktiivisuuskoe. Jokaisessa koeajossa käytössä olleen hapatteen aktiivisuuskokeen tulos oli hyvin samanlainen ja halutun kaltainen. Aktiivisuuskokeen tulos on kuitenkin ainoastaan suuntaa antava eikä se aina ole täysin luotettava. Hapatteen aktiivisuudessa on siis voinut olla vaihtelua, josta ei tiedetä ja tämä on yksi mahdollinen virhelähde tuloksissa.

Edellisten lisäksi on otettava huomioon, että koeajoissa käytetyllä kaasun-syöttötekniikalla ei ollut mahdollista saavuttaa joka kerta täysin samanlaisia juoksetteenlisäys pH-arvoja. Pyrkimyksenä oli päästä mahdollisimman lähelle tavoitetta, niin että vaihtelu olisi maksimissaan $\pm 0,05$ yksikköä tavoitteesta. Tässä onnistuttiin pääasiassa hyvin, mutta pienelläkin vaihtelulla voi olla merkittävää vaikutusta juokseteaktiivisuuteen ja sen kautta tuloksiin.

Koska Valio Oltermanni[®] juustoja ei puristeta mekaanisesti, niiden pinta ei ole yhtä tiivis kuin mekaanisesti puristetuilla juustoilla. Vaihtelu pintojen tiiviydessä tuo myös vaihtelua suola- ja rasvattoman osan vesipitoisuustuloksiin. Suolauksessa pinnan tiiviyys vaikuttaa merkittävästi siihen kuinka paljon heraa puristuu ulos ja suolaa siirtyy juustoon suolauksen aikana. Pinnan tiiviyden lisäksi tuloksiin vaikuttaa juuston sijainti suolaushäkissä.

7.8 Yhteenveto tuloksista

Rasvattoman osan vesipitoisuuden osalta kaikki koe yhdistelmät pysyivät sallituissa rajoissa eli yksikään yhdistelmä ei erottunut muista negatiivisesti. Juoksete B:n rasvattoman osan vesipitoisuustulokset jäivät alhaisemmaksi kuin muiden juokseteiden, mutta olivat tavoite pH 1:n ja CaCl_2 :n osalta lähimpänä rasvattoman osan vesipitoisuustavoitetta. Tavoite pH 2:n kohdalla rasvattoman osan vesipitoisuus jäi hieman alhaiseksi. Muiden juokseteiden kanssa tavoite pH 1:n kohdalla rasvattoman osan vesipitoisuus oli hieman koholla, kun puolestaan tavoite pH 2 kohdalla tulokset olivat lähellä tavoitetta.

Kuiva-aineen rasvatuloksissa ei eri koe yhdistelmien välillä ollut merkittäviä eroja. Tulokset olivat hyvin lähellä kuiva-aineen rasvatavoitetta. Myös kuiva-aineen rasvatulosten kohdalla juoksete B erottautui muista juokseteista. Juoksete B:n kohdalla kuiva-aineen rasvatulokset olivat muihin juokseteisiin nähden hieman koholla. Jokaisen juoksetteen kohdalla tavoite pH 1:n antamat kuiva-aineen rasvatulokset jäivät tavoite pH 2:n ja CaCl_2 :n antamia tuloksia alhaisemmiksi.

Juoksete B:n kohdalla rasvan ja rasvattoman kuiva-aineen siirtymätulokset olivat parhaimmat. Erityisesti juoksete B:n ja CaCl_2 :n antama korkea yhteistulos poikkesi muista selkeästi, mutta tulos ei ole täysin luotettava. Juoksete B ja tavoite pH 1 saavuttivat toiseksi parhaimman tuloksen rasvan siirtymässä. Rasvattoman kuiva-aineen siirtymän osalta tavoite pH 1 pärjäsi jokaisen juoksetteen kohdalla parhaiten, jos ei oteta huomioon juoksete B:n ja CaCl_2 :n antamaa poikkeavaa tulosta. Juoksete C antoi alhaisimmat lukemat rasvan siirtymässä.

Saanto määritettiin maidon menekin mukaan sekä juustokiloa että juuston kuiva-ainekiloa kohden. Maidon menekki juustokiloa kohden oli juoksete A:n ja juoksete C:n kohdalla tavoite pH 1:n osalta pienintä. Juoksete B:n kohdalla pienin maidon menekki oli CaCl_2 :n osalta ja toiseksi pienin tavoite pH 1:n osalta. Eniten maitoa kului juustokiloa kohden jokaisen juoksetteen kohdalla tavoite pH 2:n osalta. Maidon menekissä juuston kuiva-

ainekiloa kohden oli nähtävissä sama suuntaus. Vähiten maitoa kului juoksete B:n osalta ja myös pH 1 erottui edukseen.

Raekokojakaumat olivat jokaisen juoksetteen kohdalla hyvin samansuuntaiset. Tavoite pH 1 vastasi raekokojakaumaltaan parhaiten CaCl_2 :n raekokojakaumaa juoksete B:n kohdalla. Jokaisen juoksetteen kohdalla tavoite pH 1 sai aikaan suhteessa enemmän suuria rakeita. Tämä näkyi myös tavoite pH 1:n antamissa rasvattoman osan vesipitoisuustuloksissa.

Heran rasvapitoisuuksissa oli eri pH-tavoitteiden ja CaCl_2 :n välillä niin suuria eroavaisuuksia, että niiden välillä vallitsee tilastollisesti melkein merkitsevä ero. Jokaisen juoksetteen kohdalla toistuu sama ilmiö eli tavoite pH 1:n kohdalla heran rasvapitoisuus on korkeimmillaan ja CaCl_2 kohdalla alhaisimmillaan. Heran kuiva-aineen määrissä ei eri yhdistelmien välillä ollut niin suuria eroja, että niillä olisi ollut tilastollista merkitsevyyttä.

Sekä koe- että vertailukattiloiden pH-tulokset kattilamaidosta pakkausvaiheessa olevaan juustoon osoittivat, että riippumatta käytetystä juoksetteesta ja pH:n lähtötasosta tuorejuusto saavuttaa tunneloinnin aikana suurin piirtein saman pH-arvon. Juustojen pH-arvot ovat siis hyvin pitkälle samanlaiset ennen suolavettä ja vielä suolauksenkin aikana pH muuttuu samansuuntaisesti.

Kypsytyksajan jälkeen suoritetuissa myyntiinhyväksynnöissä kaikki valmistetut sekä koe- että vertailukattiloiden juustot todettiin 1-luokkaisiksi ja myyntiin sopiviksi. Myyntiinhyväksynnän lisäksi juustoille suoritettiin laajennetut kolmitestit. Laajennettujen kolmitestien perusteella hiilidioksidikäsitelystä maidosta valmistetut juustot eivät erotu selkeästi vertailu eli kalsiumkloridilisäyksellä valmistetuista juustoista. Koejuustot, jotka erottuivat joko tilastollisesti merkitsevästi tai tilastollisesti melkein merkitsevästi vertailujuustoista olivat rasvattoman osan vesipitoisuus- tai suolatulokseltaan poikkeavia. Poikkeamat rasvattoman osan vesipitoisuus- ja suolatuloksissa voivat johtua virhelähteissä eritellyistä syistä.

8 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää juustomaitoon tehtävän kalsiumkloridilisäyksen korvaamista juustomaidon hiilidioksidikäsitteilyllä. Tavoitteena oli löytää sopiva juoksetteenlisäys pH:n ja juoksetteen yhdistelmä optimaalisen juoksettuman aikaansaamiseen ilman kalsiumkloridilisäystä. Hiilidioksidikoeajojen yhteydessä tehtiin paljon erilaisia määrittäyksiä sekä saatiin paljon hyviä tuloksia, joiden avulla voidaan tehdä päätelmiä siitä millainen juoksetteen ja pH:n yhdistelmä on optimaalinen.

Koeajojen tulokset pohjautuvat tilastollisiin merkitsevyyksiin. Useimmat tulokset erosivat toisistaan niin vähän, että eri juoksetteiden, tavoite pH-arvojen ja CaCl₂:n tai näiden yhdistelmien välille ei löytynyt tilastollista merkitsevyyttä. Tätä voidaan pitää hyvänä asiana, joka kertoo siitä, että kalsiumkloridilisäyksen korvaaminen hiilidioksidikäsitteilyllä on täysin mahdollista. Koeajojen toistojen määrää kasvattamalla tulosten luotettavuutta olisi voitu lisätä, mutta todennäköisesti erot eri koeajoyhdistelmien välillä pysyisivät hyvin samanlaisina.

Hiilidioksidia täytyi syöttää juustomaitoon tavoite pH 2:n kohdalla keskimäärin 2,5 kiloa ja tavoite pH 1:n kohdalla keskimäärin 6 kiloa. Mitä tasaisemmin hiilidioksidi syötettiin juustomaitovirtaan, sen vähemmän hiilidioksidia kului. Eli hiilidioksidi tulee syöttää juustomaitoon tasaisesti koko maidon kattilaan oton ajan.

Tavoite pH-arvoista pH 1 onnistui korvaamaan jokaisen testatun juoksetteen kohdalla kalsiumkloridin paremmin kuin tavoite pH 2. Jokaisen juoksetteen kohdalla kalsiumkloridin korvaaminen on mahdollista hiilidioksidin avulla ja erityisesti hyviä tuloksia antaa tavoite pH 1:n kaltainen juoksetteenlisäys pH. Juokseteista parhaimmat, jopa joiltakin osin nykyistä tilannetta paremmat tulokset antoi juoksete B. Useiden vasteiden kohdalla juoksete B yhdessä tavoite pH 1:n kanssa, oli tuottoisin ja korvasi parhaiten kalsiumkloridilisäyksen. Juoksetteenlisäys pH:n tulee olla siis mieluummin tavoite pH 1:n mukainen tai vähintään kokeessa testattujen pH-tavoitteiden välimaastosta. Tavoite pH 1:llä kannattaa vielä ajaa uusia koeajoja, jolloin tulosten luotettavuus paranee.

Heran rasvapitoisuus tulokset sekä aiemmat tutkimukset antoivat viitteitä siitä, että hiilidioksidikäsitteilyllä voi olla rasvan hävikkiä kasvattavaa vaikutusta. Lisäkokeilla on siis tärkeää selvittää onko hiilidioksidikäsitteilyllä selkeästi vaikutusta rasvan hävikkiin ja jos, niin kuinka merkittävästi. Heran jatkokäsittelyn kannalta heran koostumuksella on merkitystä, joten hiilidioksidikäsitteilyn vaikutukset heraan kannattaa selvittää lisäkokeissa näitä koeajoja tarkemmin. Eniten harmia heran jatkokäsittelyn kannalta tuo heran rasvapitoisuus ja sen lisääntynyt määrä herassa ei siis ole toivottavaa. Olettamuksena on, että hiilidioksidikäsitteilyllä ei ole merkittävää vaikutusta heran käsittelyyn ja heran pH:n oletetaan hiilidioksidin haihtumisen vuoksi pysyvän samalla tasolla kuin ennenkin. Toisaalta, jos hiilidioksidikäsitteily vaikuttaa heran maitohaponmäärään laskevasti, voi heran pH sekä laktoosipitoisuus olla korkeampi.

Hiilidioksidikäsitteilyllä ei havaittu vaikutusta juustojen happanemiseen. Alemmasta lähtötason pH:sta huolimatta koekattiloiden juustot saavuttivat tunneloinnin aikana hyvin samansuuntaiset pH-arvot kuin vertailukattiloiden juustot. Tästä voi päätellä, että suurin osa syötetystä hiilidioksidista haihtuu tuorejuustosta ennen suolavettä ja juuston happaneminen etenee normaalisti. Näin oli myös odotettavissa aikaisempien aiheesta tehtyjen selvitysten perusteella.

Koejuustojen koostumuksen ja saannon lisäksi selvitettiin juustojen aistinvaraisia ominaisuuksia kypsytysajan jälkeen. Aistinvaraisten arviointien, sekä myyntiinhyväksynnän että laajennetun kolmitestin, perusteella voidaan todeta, että hiilidioksidikäsitellystä maidosta valmistetut juustot eivät eroa kalsiumkloridilisäyksellä valmistetuista juustoista. Mikään tietty koe-yhdistelmä ei erottunut aistinvaraisissa arvioinneissa selkeästi muista. Juustoille on hyvä suorittaa aistinvarainen arviointi myös säilyvyysajan jälkeen, jolloin nähdään onko käsitteilyllä ollut vaikutusta juustojen säilyvyyteen tai makuun pitemmällä aikavälillä. Tätä arviointia ei ehditty tähän opinnäytetyöhön ottamaan mukaan.

Tulosten perusteella kalsiumkloridin korvaaminen hiilidioksidikäsitteilyllä on siis täysin mahdollista. Tällä hetkellä hiilidioksidin käyttö kalsiumkloridin korvaajan tulee kuitenkin noin seitsemän kertaa kalliimmaksi kuin kalsiumkloridi. Laskelmassa on käytetty koeajoissa käytettyjä hiilidioksidin ja kalsiumkloridin määriä sekä niiden hintoja. Voidaan kuitenkin olettaa, että hiilidioksidin käyttömäärän kasvaessa hiilidioksidia pystytään ostamaan edullisempaan hintaan, jolloin hiilidioksidista tulee kilpailukykyisempää. Lisäksi hiilidioksidin käyttö on yksinkertaisempaa ja vaivattomampaa kuin kalsiumkloridin, jos sen käyttömäärä kasvaa niin isoksi, että se voidaan ostaa säiliöautokuljetuksena. Kalsiumkloridi toimitetaan tehtaalle tuhannen litran kertakäyttökonteissa ja yksi kontti tyhjentyy noin kahden tuotantopäivän aikana. Hiilidioksidin annostelu ei kuitenkaan onnistu nykyisillä kalsiumkloridilinjoilla, vaan kaasun annostelua varten on rakennettava oma järjestelmänsä ja liitettävä se automaatiikkaan. Hiilidioksidin käyttöönotto vaatii siis investointeja, jotka tuovat omat lisäkustannuksensa.

LÄHTEET

- AGA. 2010a. Hiilidioksidin ominaisuudet. Viitattu 30.5.2011.
http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/gasschool_co2_prop
- AGA. 2010b. Hiilidioksidin käyttökohteet. Viitattu 30.5.2011.
http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/gasschool_co2_sol
- Aho, J. & Hildèn, T. 2007. Maidon matkassa. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Application Note: pH in Cheese Production n.d. Mettler-Toledo GmbH. Viitattu 17.11.2011.
http://www.elscolab.com/marketing/Mettler_Cheese.pdf
- Bylund, G. 1995. Dairy Processing Handbook. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB.
- Bylund, G. 2003. Dairy Processing Handbook. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB.
- Holopainen, M. & Pulkkinen, P. 2008. Tilastolliset menetelmät. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Kammerlehner, J. 1986. Juustonvalmistusteknologia. Suom. Tapani Kivellä ja Reijo Vihma. Helsinki: Valio Oy.
- Kelly, A.L., Huppertz, T. & Sheehan, J.J. 2008. Pre-treatment of cheese milk: principles and developments. Dairy Science Technology. 88 (4–5), 549–572. Viitattu 18.4.2011.
http://www.dairyjournal.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/dst/pdf/2008/04/dst88s4516.pdf
- Kristensen, J.M. Buch. 1999. Cheese Technology – A Northern European Approach. Aarhus: International Dairy Books.
- Kärki, M. 12.12.2011. Opinnayteto.docx. Vastaanottaja Koivisto Kaisaleena. [sähköpostiviesti]. Viitattu 16.12.2011.
- Kärki, M. 2011. Valmistespesifikaatio: Oltermannit ja Turunmaat. Valio Oy.
- Nelson, B.K., Lynch, J.M. ja Barbano, D.M. 2004. Impact of Milk Preacidification with CO₂ on the Aging and Proteolysis of Cheddar Cheese. Journal of Dairy Science. 87 (11), 3590–3600.
- Nelson, B.K., Lynch, J.M. ja Barbano, D.M. 2004. Impact of Milk Preacidification with CO₂ on Cheddar Cheese Composition and Yield. Journal of Dairy Science. 87 (11), 3581–3589.

Neuvoston asetus (ETY) 1898/87 art. 2, maidon ja maitotuotteiden kaupan pitämisessä käytettävien nimitysten suojelemisesta.

Montilla, A., Calvo, M. & Olano, A. 1995. Manufacture of cheese made from CO₂-treated milk. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A. 200 (4), 289–292.

Milk Works – verkkopalvelu n.d. Viitattu 18.4.2011.
<http://www.milkworks.fi>

Ollikainen, P. 1984. Hiilidioksidin käyttö edamjuuston valmistuksessa. Valio Oy.

Takala, A. 16.5.2011. Ratkaisuja CO₂ käyttöön. Vastaanottaja Koivisto Kaisaleena. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 7.11.2011.

Takala, A. 7.11.2011. Hiilidioksidin syöttölaitteet. Vastaanottaja Ylikauma Juhani. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 7.11.2011.

Tapaila, M. 2005. Juustot ja jauheet. Teoksessa Saarela, A-M. Määttä, S. Hyvönen, P. von Wright, A., Elintarvikeprosessit. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja B 3/2005. Tampereen Yliopistopaino Oy Juvenes Print. s. 39–56

Tapaila, M. 2007. Juuston happanemisen perusteet. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Tapaila, M. 2010a. Juustontuotanto-opintojakson muistiinpanot. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Tapaila, M. 2010b. Lisäykset. Juustontuotanto-opintojakson verkkoaineisto. Hämeen ammattikorkeakoulu, Moodle. Viitattu 18.4.2011.
<https://moodle2.hamk.fi/>

Tapaila, M. 2010c. Juustonvalmistus. Juustontuotanto-opintojakson verkkoaineisto. Hämeen ammattikorkeakoulu, Moodle. Viitattu 18.4.2011.
<https://moodle2.hamk.fi/>

Työterveyslaitos. 2011. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet – turvallisuusohjeet. Hiilidioksidi. Viitattu 30.5.2011.
<http://www.ttl.fi/ova/hiilidioksidi.html>

Van Hekken, D.L., Holsinger, V.H. ja Tomasula, P.M. 2001. Application of high pressure carbon dioxide for accelerated manufacture of hard cheese. United States Department of Agriculture patents. Viitattu 18.4.2011.
<http://ddr.nal.usda.gov/bitstream/10113/6730/1/IND43975318.pdf>

Valio Oy 2012. Valio Oltermanni® tuotteet. Viitattu 18.1.2012.
<http://www.valio.fi/oltermanni/>

Valio Oy 2011. Tuotokuva Valio Oltermanni® juustosta Valion Oy:n internetsivuilla. Viitattu 18.4.2011.
<http://www.valio.fi/tuotteet/juustot/valio-oltermanni-1/>

Walstra, P., Geurts, T.J., Noomen, A., Jellema, A. & van Boekel, M.A.J.S. 1999. Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes. New York: Marcel Dekker, Inc.

LAAJENNETUN KOLMITESTIN LOMAKE

ARVIOIJA: _____

PÄIVÄMÄÄRÄ: _____ /
20____

TUOTEKOODI: _____

TUOTEKOODI: _____

Arvioitavanasasi on kolme näytettä, joista kaksi on samanlaista. Tehtävänäsi on rengastaa poikkeava näyte. Arvaa, jollet tiedä.

Kuvaile, miten poikkeava näyte eroaa kahdesta samanlaisesta ja ilmoita eron suuruus seuraavan asteikon (0-3) mukaan:

- 0 = ei eroa
- 1 = pieni, juuri havaittava ero
- 2 = selvä ero
- 3 = erittäin selvä ero

Huom. Voit käyttää arvioinnissa myös osapisteitä +, - ja ½

RENGASTA POIKKEAVA NÄYTE:	_____
ERON SUURUUS (0-3):	□
ERON KUVAILU	_____ _____

Arvioi vielä, kuinka hyvin seuraavat näytteet vastaavat kyseisen tuotteen aistittavaa laatu-tavoitetta (spesifikaatiota). Asteikko on

- 5 = Yhdenmukainen spesifikaation kanssa
- 4 = Erittäin lievä poikkeama spesifikaatiosta
- 3 = Lievä poikkeama spesifikaatiosta
- 2 = Selvä poikkeama spesifikaatiosta
- 1 = Erittäin selvä poikkeama spesifikaatiosta

1. _____ □ *Mahdollisen poikkeaman kuvailu:* _____

2. _____ □ *Mahdollisen poikkeaman kuvailu:* _____

KOLMITESTIN TILASTOLLINEN TAULUKKO

Vasemmanpuoleinen sarake (n) ilmaisee arvioijien kokonaismäärän ja seuraavat sarakkeet vähimmäismäärän oikeita vastauksia, jotta ero näytteiden välillä olisi tilastollisesti merkitsevä (riskitasot 5 %, 1 % ja 0,1 %).

Oikeiden vastausten määrä tilastollisesti merkitsevän eron toteamiseksi eri merkitsevyystasoilla			
n	* 5 %	** 1 %	*** 0,1 %
7	6	6	7
8	6	7	8
9	6	7	8
10	7	8	9
11	7	8	9
12	8	9	10
13	8	9	10
14	9	10	11
15	9	10	11
16	10	11	12
17	10	11	12
18	10	11	12
19	11	12	14
20	11	13	14
21	12	13	15
22	12	13	15
23	12	14	15
24	13	14	16
25	13	15	17
26	14	15	17
27	14	16	18
28	15	16	18
29	15	17	19
30	16	17	19

VASTETAULU HIILIDIOKSIDIKOKEIDEN TULOISTA

Juoksete	Tavoite		Juuston rasva		Juuston suola		Juuston pH		Juuston suolausta jälkeen		RKAAs		Saanto, Saanto,		
	pH	CaCl ₂	ka	suola	pH	Ennen suolausten	KAR	ROV	Rs	RKAAs	kg	kg	juustoa l/juuston	Heran Heran	
Juoksete C	pH 1	16,74	50,82	1,33	5,13	5,22	32,93	59,06	95,7	99,1	795,6	10,11	19,90	5,13	0,121
Juoksete C	pH 2	16,93	51,31	1,70	5,13	5,21	32,99	58,61	92,5	95,6	760,4	10,57	20,61	5,15	0,124
Juoksete A	pH 2	17,18	51,57	1,21	5,19	5,25	33,31	58,47	95,1	96,9	769,9	10,44	20,25	5,12	0,129
Juoksete C	CaCl ₂	17,16	51,51	1,18	5,15	5,21	33,31	58,53	95,2	97,0	772,4	10,42	20,22	5,10	0,105
Juoksete A	CaCl ₂	17,02	51,31	1,23	5,20	5,21	33,17	58,68	95,3	97,7	780,4	10,32	20,12	5,08	0,101
Juoksete B	pH 2	17,61	52,50	1,26	5,11	5,22	33,55	57,65	94,2	95,2	754,3	10,68	20,34	5,01	0,107
Juoksete B	pH 1	16,86	51,12	1,45	5,12	5,16	32,98	58,80	92,3	95,7	771,5	10,44	20,42	5,04	0,125
Juoksete A	pH 1	16,45	50,36	1,86	5,12	5,17	32,67	59,42	89,8	94,4	769,4	10,47	20,78	5,00	0,152
Juoksete B	CaCl ₂	17,50	51,99	1,23	5,15	5,22	33,66	58,19	101,4	102,0	816,8	9,86	18,97	4,97	0,103
Juoksete A	CaCl ₂	17,12	51,30	1,23	5,16	5,21	33,38	58,77	93,2	94,9	770,7	10,50	20,47	4,91	0,113
Juoksete C	pH 1	15,71	49,89	1,81	5,11	5,16	31,48	59,45	85,5	94,0	774,4	10,39	20,83	5,19	0,123
Juoksete C	pH 2	16,32	50,69	1,46	5,12	5,19	32,19	58,92	87,2	92,8	760,4	10,59	20,88	5,09	0,116
Juoksete A	pH 2	16,67	51,06	1,17	5,14	5,21	32,65	58,73	90,0	93,7	767,1	10,48	20,53	5,32	0,118
Juoksete C	CaCl ₂	16,27	50,45	1,60	5,19	5,21	32,25	59,18	87,9	93,3	768,6	10,47	20,76	5,14	0,095
Juoksete A	CaCl ₂	16,23	50,19	1,42	5,18	5,19	32,34	59,46	88,7	93,7	776,9	10,36	20,64	5,08	0,115
Juoksete B	pH 2	16,72	51,47	1,30	5,07	5,17	32,48	58,27	92,2	97,1	784,9	10,26	19,93	5,08	0,114
Juoksete B	pH 1	16,79	51,19	1,16	5,08	5,16	32,81	58,67	95,2	98,8	806,4	9,98	19,50	5,05	0,109
Juoksete A	pH 1	16,33	50,41	1,37	5,11	5,14	32,39	59,27	92,7	98,0	807,9	9,96	19,77	5,10	0,116
Juoksete B	CaCl ₂	16,87	51,35	1,2	5,11	5,19	32,85	58,52	94,6	97,9	797,8	10,09	19,66	5,05	0,117
Juoksete A	CaCl ₂	16,90	51,49	1,26	5,09	5,15	32,83	58,38	90,1	93,3	758,1	10,62	20,63	5,17	0,108

HIILIDIOKSIDIKOKEIDEN TULOSTEN TILASTOLLINEN MERKITSEVYYS

	ROV	KAR	Maitoa / juusto kg	Maitoa / juus- ton kkg	Heran rasva	Heran ka	Rs	RKAs
Juokseteet	0,030	0,226	0,257	0,018	0,621	0,119	0,104	0,112
Tavoite pH/CaCl ₂	0,034	0,326	0,107	0,659	0,018	0,397	0,722	0,589
Tavoite pH 1	0,075	0,584	0,988	0,831	0,606	0,165	0,774	0,941
Tavoite pH 2	0,145	0,758	0,775	0,168	0,242	0,276	0,586	0,638
CaCl ₂	0,447	0,694	0,019	0,022	0,359	0,474	0,242	0,118
Juoksete A	0,206	0,517	0,382	0,857	0,155	0,269	0,916	0,782
Juoksete B	0,168	0,815	0,328	0,351	0,743	0,667	0,376	0,344
Juoksete C	0,411	0,785	0,141	0,720	0,045	0,586	0,954	0,734

HIILIDIOKSIDIKOKEIDEN TULOSTEN KESKIARVOT JA KESKIHAJONNAT

	KAR		ROV		Saanto, maitoa l/juusto kg		Saanto, maitoa l/juuston kalg		Rs		IRKAS		Heran ka		Heran rasva	
	Keski-arvo	Keski-hajonta	Keski-arvo	Keski-hajonta	Keski-arvo	Keski-hajonta	Keski-arvo	Keski-hajonta	Keski-arvo	Keski-hajonta	Keski-arvo	Keski-hajonta	Keski-arvo	Keski-hajonta	Keski-arvo	Keski-hajonta
Juoksete A tavoite pH 1	32,5	0,2	59,3	0,1	10,2	0,4	20,3	0,7	91,3	2,1	96,2	2,5	5,05	0,07	0,13	0,03
Juoksete A tavoite pH 2	33,0	0,5	58,6	0,2	10,5	0,0	20,4	0,2	92,6	3,6	95,3	2,3	5,22	0,14	0,12	0,01
Juoksete A CaCl2	32,9	0,5	58,8	0,5	10,5	0,1	20,5	0,2	91,8	3,0	94,9	2,0	5,06	0,11	0,11	0,01
Juoksete B tavoite pH 1	32,9	0,1	58,7	0,1	10,2	0,3	20,0	0,7	93,8	2,1	97,3	2,2	5,05	0,01	0,12	0,01
Juoksete B tavoite pH 2	33,0	0,8	58,0	0,4	10,5	0,3	20,1	0,3	93,2	1,4	96,2	1,3	5,05	0,05	0,11	0,00
Juoksete B CaCl2	33,3	0,6	58,4	0,2	10,0	0,2	19,3	0,5	98,0	4,8	100,0	2,9	5,01	0,06	0,11	0,01
Juoksete C tavoite pH 1	32,2	1,0	59,3	0,3	10,3	0,2	20,4	0,7	90,6	7,2	96,6	3,6	5,16	0,04	0,12	0,00
Juoksete C tavoite pH 2	32,6	0,6	58,8	0,2	10,6	0,0	20,7	0,2	89,9	3,7	94,2	2,0	5,12	0,04	0,12	0,01
Juoksete C CaCl2	32,8	0,7	58,9	0,5	10,4	0,0	20,5	0,4	91,6	5,2	95,2	2,6	5,12	0,03	0,10	0,01
Keskihajonta	0,3		0,4		0,2		0,4		2,4		1,7		0,07		0,01	

JUUSTOM AidON TIEDOT

Juustomaito

Koeajo	Litraa	pH	Rasva	Proteiini
15.7.2011	~8050	6,83	1,73	3,4
29.7.2011	~8050	6,79	1,75	3,43
12.8.2011	~8050	6,74	1,77	3,5
26.8.2011	~8050	6,77	1,77	3,49