

ISSN 0355-1180

HELSINGIN YLIOPISTO

Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos

EKT-sarja 1488

AITOSUKLAA JÄÄTELÖPUIKON KUORRUTTEENA

Pirketta Heikkilä

Helsinki 2010

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Pirketta Heikkilä			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Aitosuklaa jäätelöpuikon kuorutteena			
Oppiaine — Läroämne — Subject Elintarviketeknologia (viljateknologia)			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterin tutkielma		Aika — Datum — Month and year Lokakuu 2010	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 51
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa keskityttiin jäätelöpuikkoihin, erilaisiin suklaakuorutteisiin ja elintarvikkeiden kuoruttamiseen suklaalla. Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin suklaan koostumukseen, nestemäisen suklaan virtausominaisuuksiin ja koostumuksen ja virtausominaisuuksien välisiin vuorovaikutuksiin. Kokeellisessa osassa tavoitteena oli selvittää, miten maitosuklaakuorutteen rasvapitoisuuden, emulgointiainepitoisuuden ja kuorutteen lämpötilanvaihtelut vaikuttavat kuorutteen viskositeettiin, myötöjännitykseen, jähmettymisaikaan ja jäätelöpuikon päälle jäävän kuorutteen määrään. Erityisesti pyrittiin selvittämään, miten jäätelöpuikon päälle jäävän kuorutteen määrää saadaan säädeltyä kuorutteen rasvapitoisuutta, emulgointiainepitoisuutta ja lämpötilaa muuttamalla.</p> <p>Tutkimuksen koeasetelma tehtiin Box-Behnken-mallilla. Selittäviksi muuttujiksi tutkimukseen valittiin kuorutteen rasvan määrä, emulgointiaineen määrä ja kuorutteen lämpötila jäätelöpuikkoja kuorutettaessa. Vastemuuttujina oli kuorutteen jähmettymisaika, viskositeetti, myötöjännitys ja jäätelöpuikon päälle jäävän kuorutteen määrä. Tulokset käsiteltiin regressioanalyysin avulla. Muuttujien välisiä vuorovaikutuksia tutkittiin vastepintamallilla. Vastemuuttujien välisiä korrelaatioita tutkittaessa käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa.</p> <p>Kuorutteen rasvan määrän lisääntyminen vähensi tilastollisesti merkitsevästi jäätelöpuikon päälle jäävän kuorutteen määrää, kuorutteen jähmettymisaikaa, viskositeettia ja myötöjännitystä. Emulgointiaineen määrän lisääminen kuorutteessa pienensi kuorutteen määrää jäätelöpuikon päällä, kuorutteen jähmettymisaikaa ja kuorutteen myötöjännitystä. Kuorutteen lämpötilan lisääminen jäätelöpuikkoja kuorutettaessa pienensi kuorutteen määrää ja viskositeettia. Kuorutteen jähmettymisaika sen sijaan piteni lämpötilaa lisättäessä.</p> <p>Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että jäätelöpuikkoja kastettaessa suklaakuorutteen lämpötila, rasvan määrä ja lesitiinin määrä vaikuttivat jäätelöpuikon päälle jäävän kuorutteen määrään. Vastepintamallinnuksen käyttö soveltui hyvin suklaakuorutteen määrän tutkimiseen. Sen avulla saatiin selvitettyä, miten jäätelöpuikon päälle jäävän kuorutteen määrää saadaan säädeltyä muuttamalla kuorutteen emulgointiainepitoisuutta, rasvapitoisuutta ja lämpötilaa.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Suklaa, kuorrute, jäätelö			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Helsingin yliopiston digitaalinen aineisto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information EKT-sarja 1488, julkinen 31.3.2014			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and forestry		Laitos — Institution — Department Department of Food and Environmental Sciences	
Tekijä — Författare — Author Pirketta Heikkilä			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Ice cream chocolate coating			
Oppiaine — Läroämne — Subject Food technology (Cereal technology)			
Työn laji — Arbetets art — Level M.Sc. Thesis		Aika — Datum — Month and year October 2010	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 51
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>The focus of the literature review of the study was on ice cream, different kinds of coatings used in the food industry and coating methods. In addition, the typical composition of chocolate, rheological properties of liquid chocolate and the interaction between the consistency and rheological properties were reviewed. The objective of the study was to find out how consistency and coating temperature affects viscosity, yield value, solidification time and the amount of the coating layer in ice cream stick. The idea was primarily to find out how the amount of the coating layer could be controlled.</p> <p>Variables selected in this study were the amount of fat and emulsifiers in the milk chocolate coating and the coating temperature. The amount of coating layer, solidification time of the coating and viscosities and yield values of liquid coating were measured. The experiment was planned using a Box-Behnken design. Results were calculated with regression analysis. Response surface methodology was used to estimate how the changes in fat amount, emulsifier amount and temperature affected the amount, solidification time, viscosity and yield value of coating.</p> <p>Increasing the amount of fat significantly decreased the amount, solidification time, viscosity and yield value of the coating. Increasing the amount of emulsifier decreased the amount, solidification time and yield value of the coating. Increasing temperature of the coating decreased the amount and viscosity of the coating, but increased solidification time of the coating.</p> <p>From the results, temperature, fat content and emulsifier content of the coating were found to affect the amount of the milk chocolate coating layer on an ice cream stick. Response surface methodology found to be suitable method for investigating the amount of chocolate coating. Methods to control the amount of coating layer were examined by means of response surface methodology.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Chocolate, coating, ice cream			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited The digital Repository of University of Helsinki, Helda			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information EKT Series 1488. Public 31.3.2014			

ESIPUHE

Tutkielma liittyy Suomen Nestlé Oy:n laajempaan kuorruteprojektiin. Tutkielma tehtiin yhteistyönä Suomen Nestlé Oy:n tuotekehityksen ja Helsingin yliopiston elintarvike- ja ympäristötieteiden laitoksen kanssa.

Haluan kiittää Suomen Nestlé Oy:n tuotekehitystiimiä ja erityisesti tutkielmani ohjaajia Marja Finskaa, Kirsi Jouppilaa, Tuula Sontag-Strohmiä ja professori Hannu Salovaaraa saamastani avusta. Lopuksi haluan kiittää myös perhettäni saamastani avusta, tuesta ja kannustuksesta.

Helsingissä, lokakuussa 2010

Pirketta Heikkilä

1	JOHDANTO	6
2	KIRJALLISUUSTUTKIMUS	8
2.1	Jäätelö	8
2.1.1	Jäätelöpuikkojen valmistus	10
2.1.2	Suklaakuorutteen	12
2.2	Suklaan virtausominaisuudet	14
2.2.1	Viskositeetti	15
2.2.2	Myötöjännitys	16
2.2.3	Suklaan viskositeetin ja myötöjännityksen määrittäminen	17
2.3	Suklaan ja suklaakuorutteen virtausominaisuuksiin vaikuttavat tekijät	19
2.3.1	Partikkelikoon vaikutus	19
2.3.2	Rasvan määrä ja laatu	20
2.3.3	Suklaan kosteuspitoisuus	22
2.3.4	Emulgointiaineiden laatu ja määrä	23
2.3.5	Lämpötilan vaikutus	25
2.4	Suklaalla kuoruttaminen	25
3	KOKEELINEN TUTKIMUS	28
3.1	Tutkimuksen tavoitteet	28
3.2	Materiaalit ja menetelmät	29
3.2.1	Esikokeet	29
3.2.2	Koeasetelma	33
3.2.3	Menetelmät	35
3.3	Tulokset	36
3.3.1	Kuorutteen määrä	36
3.3.2	Kuorutteen jähmettymisaika	38
3.3.3	Kuorutteen Casson-viskositeetti	40
3.3.4	Kuorutteen myötöjännitys	42
3.3.5	Tulosten vertailua	43
3.4	Pohdinta	44
4	PÄÄTELMÄT	48
	LÄHDELUETTELO	50

1 JOHDANTO

Suklaa on kompleksinen materiaali, jonka hallittavuus jäätelöpuikkojen tuotantolinjalla on hankalaa. Jotta hallittavuutta saataisiin parannettua, tulisi suklaan tuntemusta tuotekehityksessä syventää. Suklaatuntemuksen lisääntyessä olisi helpompi valita kullekin tuotteelle sopiva kuorrute ja määrittää tuotantoon erikseen jokaiselle suklaalla kuorrutetulle tuotteelle olosuhteet, joita niiden kuorruttaminen halutulla määrällä suklaata vaatii.

Jäätelöteollisuudessa puikkojen kuorruttamiseen käytetään yhdistelmäkuorrutteita, suklaapohjaisia yhdistelmäkuorrutteita ja aitosuklaakuorrutteita. Nämä kuorrutteet eroavat toisistaan raaka-aineiden suhteen. Aitosuklaakuorrutteiden koostumus on määritelty kunkin maan lainsäädännössä, ja pääosin se on samanlainen kuin suklaan koostumus. Suklaakuorrute eroaa suklaasta vain muutaman ainesosan määrän perusteella. Suomessa kauppa- ja teollisuusministeriön asetus kaakao- ja suklaatuotteista (2003) määrittelee, mitä raaka-aineita suklaassa ja suklaakuorrutteissa voidaan käyttää ja kuinka paljon.

Suklaakuorrute tuo jäätelöön ennen kaikkea makua. Lisäksi sen tehtävä on suojata jäätelöä varastoinnin aikana. Marshallin ym. (2003) mukaan suklaakuorrutteen tulee jähmettyä nopeasti kastettaessa, kiinnittyä hyvin jäätelön pintaan, muodostaa ohut kerros jäätelön ympärille, maistua hyvälle ja sulaa suussa vaivattomasti.

Pääraaka-aineita suklaassa ovat kaakaovoi, maito, kaakaojauhe, sokeri ja pienemmät ainesosat, kuten emulgointiaineet. Kunkin ainesosan määrä suklaan reseptissä vaikuttaa suklaan virtausominaisuuksiin, prosessointiolosuhteisiin ja lopputuotteen ominaisuuksiin (Fang ym. 1997). Suklaan virtausominaisuuksien tunteminen on tärkeää, sillä ne vaikuttavat mm. suklaan valmistusprosessiin, lopputuotteen rakenteeseen ja laatuun (Servais ym. 2002, 2004). Virtausominaisuuksia kuvataan usein viskositeetin ja myötöjännityksen avulla. Teollisuudessa suklaan virtauskäyttäytymistä mallintamaan on yleisimmin käytetty Casson-mallia (Beckett 2008).

Suklaan virtausominaisuuksia on mahdollista muokata halutunlaiseksi (Rector 2000). Virtausominaisuuksiin vaikuttavat useat asiat, kuten kiinteiden aineiden partikkelikoko, emulgointiaineiden lisääminen ja emulgointiaineiden määrä (Rector 2000; Kranjanolarn ja McCarthy 2006). Virtausominaisuuksiin vaikuttavat myös rasvan määrä ja laatu, suklaan vesipitoisuus ja lämpötila (Rector 2000; Beckett 2008).

Pienen viskositeetin omaavia suklaakuorrutteita on helppo käsitellä, ja ne soveltuvat hyvin pienten muodoltaan epätasaisten materiaalien kuorruttamiseen (Rector 2000).

Myötöjännitys määrää osaltaan sen, millaiseen käyttöön suklaa soveltuu, ja myötöjännityksen kontrollointi on suklaakuorrutteilla erittäin tärkeää. Pienen myötöjännityksen omaavaa suklaata tarvitaan esimerkiksi silloin, kun halutaan saada ohut kerros kuorrutetta tuotteen pinnalle (Beckett 2008). Mikäli myötöjännitys on liian korkea, suklaa jää materiaalin pintaan epätasaiseksi kerrokseksi. Tällöin osa materiaalista saattaa olla paksun kuorrutekerroksen peitossa, mutta osassa materiaalia ei välttämättä ole lainkaan kuorrutetta. Mikäli myötöjännitys taas on liian matala, suklaa virtaa pois materiaalin päältä, eikä tartu materiaalin pintaan (Rector 2000). Suklaakuorrutteen määrään ja virtausominaisuuksiin voidaan vaikuttaa mm. suklaan kiinteän aineen partikkelikoolla, emulgointiaineella ja emulgointiaineen määrällä (Karnjanolarn ja McCarthy 2006; Wichchukit ym. 2005).

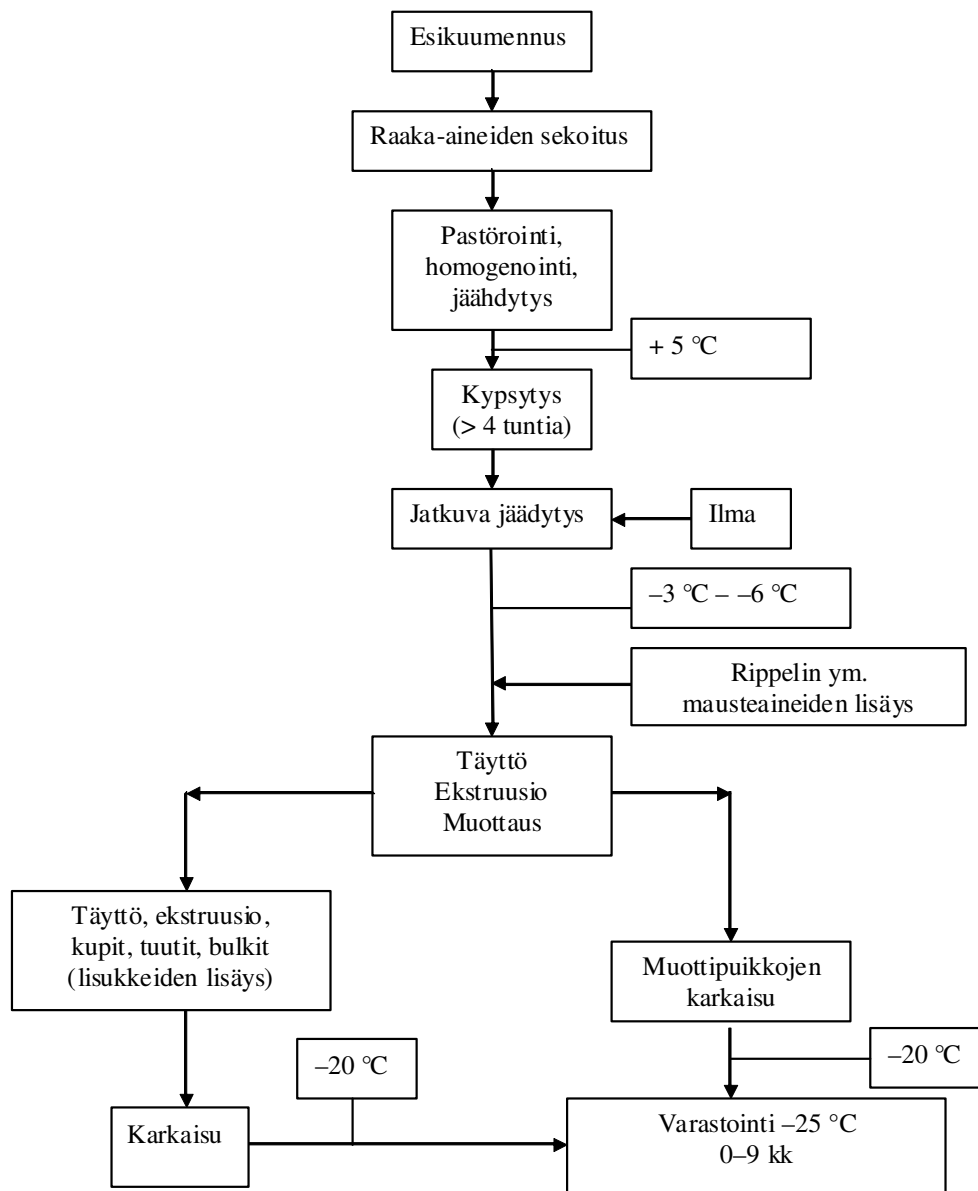
Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa keskityttiin jäätelöpuikkojen valmistamiseen, erilaisiin teollisuudessa käytettyihin suklaakuorrutteisiin ja suklaalla kuorruttamiseen. Lisäksi kirjallisuusosassa perehdyttiin suklaan koostumukseen, nestemäisen suklaan virtausominaisuuksiin ja koostumuksen ja virtausominaisuuksien välisiin vuorovaikutuksiin.

Kokeellisessa osassa tutkimuksen kohteena oli tehtaalla käytössä oleva maitosuklaakuorrute ja kahdeksan muuta rasva- ja emulgointiainepitoisuudeltaan toisistaan eroavaa maitosuklaakuorrutetta. Tavoitteena oli tutkia suklaakuorrutteen koostumuksen ja sen virtausominaisuuksien vaikutusta kuorrutteen jähmettymisaikaan ja kuorrutteen määrään ekstruudatun jäätelöpuikon päällä. Käytössä olevalle maitosuklaakuorruttele haluttiin löytää vaihtoehtoinen kuorrute, jonka avulla saataisiin suklaakuorrutteen määrää jäätelöpuikon päällä haluttaessa muutettua ilman, että kuorrutteen käsiteltävyys tuotannossa huonontuisi. Tavoitteena oli erityisesti selvittää, miten kuorrutteen määrää jäätelöpuikon päällä saataisiin pienennettyä.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Jäätelö

Jäätelön teollisessa valmistuksessa on useita eri valmistusvaiheita, joiden kontrollointi on tärkeää halutunlaisen lopputuotteen aikaansaamisen kannalta. Jäätelön valmistusprosessi sisältää tyypillisesti seuraavat vaiheet: raaka-aineiden sekoitus, pastörointi, homogenointi, jäähdytys, kypsytys, jatkuva jäädytys (vispaus), täyttö/pakkaus, karkaisu, varastointi ja jakelu (kuva 1).



Kuva 1. Jäätelön valmistuksen prosessikaavio (Bylund 1995).

Marshallin ja Arbucklen (2000) mukaan jäätelöteollisuuden menestystekijöitä ovat valmistuslaitteiden tehokkuus, valmistuslaitteiden hyötysuhde, pakastimien toimivuus ja kaikkien valmistusvaiheiden hallinta. Kontrollointia vaativia kohtia valmistusprosessissa ovat jäätelömassaan käytettyjen raaka-aineiden määrä, jäätelömassan vispaus, jäätelössä käytetyt lisukkeet, annoskoon hallinta, jäädytyksen aste, tikuttaminen, irrottaminen muotista tai pellistä, kuorruttaminen, kääreeseen tai pakkaukseen ja myyntieriin pakkaaminen ja varastointi.

Tyypillisesti jäätelön valmistuksessa käytetyt raaka-aineet ovat rasva, maidon rasvaton kuiva-aine, sokeri tai muut makeuttajat, emulgointi- tai stabilointiaineet, aromiaineet ja väriaineet. Valmistuksessa käytettyjä rasvoja ovat maito- ja kasvirasvat. Tyypillinen rasvapitoisuus on 10–15 % (Bylund 1995). Maitorasva voi olla peräisin täysmaidosta, kermasta tai voista. Maitorasva voidaan korvata osaksi tai kokonaan kovetetulla auringonkukkaöljyllä, kookosöljyllä, soijaöljyllä tai rypsiöljyllä.

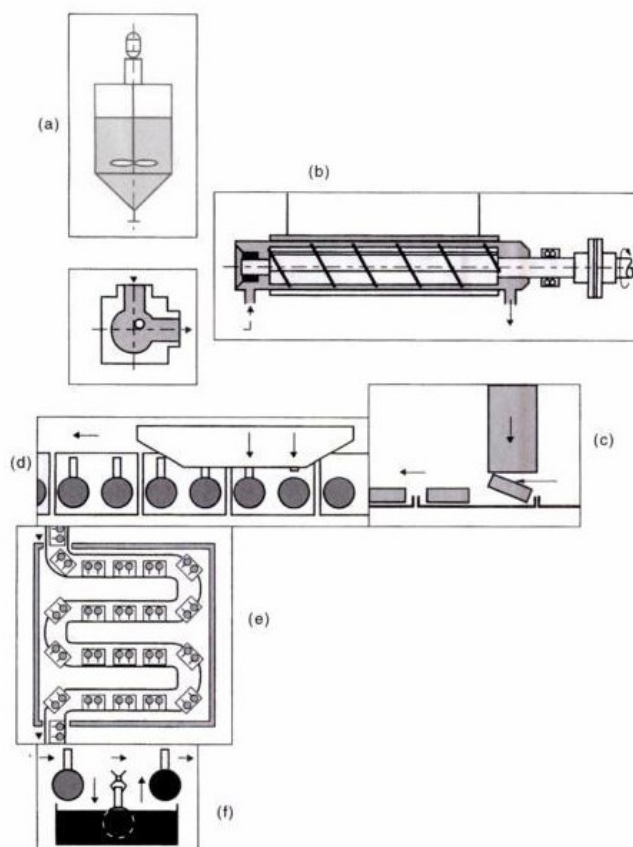
Maidon rasvattomalla kuiva-aineella on merkittävä vaikutus jäätelön ravitsemukselliseen laatuun ja rakenteeseen (Bylund 1995). Maidon rasvaton kuiva-aine koostuu proteiineista, laktoosista ja kivennäis ja hivenaineista, jotka ovat ravintoarvoltaan korkealuokkaisia ja parantavat jäätelön ravintosisältöä. Rakenteeseen maidon rasvaton kuiva-aine vaikuttaa sitomalla vesimolekyylejä ja korvaamalla vettä.

Sokeria käytetään tuomaan jäätelöön makeutta ja sillä säädetään jäätelön kuiva-ainemäärää ja jäätympisteen alenemaa, joka puolestaan vaikuttaa jäätelön aistittavaan rakenteeseen (Bylund 1995). Tyypillisesti jäätelön sokeripitoisuus on välillä 10–18 %. Emulgointiaineita käytetään vähentämään pintajännitystä ja parantamaan emulsion muodostusta. Emulgointiaineiden määrä on tyypillisesti 0,3–0,5 %. Niiden avulla saadaan myös stabiloitua emulsiota. Stabilointiaineet sitovat vesimolekyylejä niin, että ne eivät pääse liikkumaan vapaasti. Stabilointiainella on ratkaiseva merkitys jäätelön rakenteen säilymisessä. Stabilointiaineiden määrä on tyypillisesti 0,2–0,4 %. Aromiaineita käytetään tuomaan jäätelöön makua. Aromit lisätään tyypillisesti massan valmistusvaiheessa. Makua antamaan voidaan massaan lisätä myös pyreitä, hilloja, hedelmiä, pähkinöitä, kaakaojauhetta ym. Nämä ainekset lisätään yleensä vispauksen jälkeen. Väriaineita lisätään jäätelöön ulkonäön vuoksi. Ne tuovat jäätelölle makua vastaavaa väriä tai lisäävät värinvoimakkuutta.

2.1.1 Jäätelöpuikkojen valmistus

Jäätelöpuikoilla on kaksi pääasiallista valmistustapaa. Puikkoja valmistetaan joko muottimenetelmällä tai ekstruusiolla. Muottimenetelmässä jäätelömassa voidaan vispata osittain tai jättää vispaamatta kokonaan. Jäätelömassa ohjataan jäähdytettyihin muotteihin, muotin sisään asetetaan tikku ja tuotteen karkaisu suoritetaan muottikehällä loppuun. Karkaisun jälkeen jäätelö saadaan irti muotista lämmittämällä muottia hieman. Jäätynyt puikko voidaan tämän jälkeen kastaa kuorrutukseen. Valmis puikko pakataan tuotantolinjalla kääreeseen ja edelleen myyntierälaatikoihin. Myyntierälaatikot ohjataan lopulta pakkasvarastoon. Markkinoilla olevista jäätelöpuikoista muottimenetelmällä tehdään esimerkiksi eskimotyypiset puikot.

Ekstruusion avulla vispattu jäätelömassa saadaan haluttuun muotoon. Jotta muotoilu olisi mahdollista, pitää jäätelömassan olla jo osittain jäädytetty ennen ekstruusiota. Näin haluttu muoto saadaan säilymään karkaisutunneliin asti. Muotoa pystyy säätämään käyttämällä erilaisia suuttimia. Puikkoon saa jopa useita eri makuja ja värejä, kun suutin on monikerroksinen. Jäätelömassan paksuutta kontrolloidaan säätämällä leikkauskohtaa (Arbuckle 1986). Kuvassa 2 on kuvattu ekstruusiolla valmistetun jäätelöpuikon valmistusprosessia.



Kuva 2. Kaaviokuva esittää jätelöpuikkojen valmistusta ekstruusiomenetelmällä. Jätelömassa vispataan (a), kuljetetaan ekstruuderin läpi (b) halutun mallisiin suuttimiin, joiden päässä massa katkaistaan tarjottimille (c), tikutetaan ja kuljetetaan karkaisutunnelin läpi (e) kuljetinhihnalle (f), jossa jätelöpuikot voidaan kuorruttaa (Marshall ym. 2003).

Ekstruusiolla valmistetuissa puikoissa jätelömassa vispataan (a) noin $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen ja kuljetetaan ekstruuderilla vispauslaitteistosta tietyn mallisiin suuttimiin (b) (Marshall ym. 2003). Suuttimien päässä on lämmitetyt teräslangat, joiden avulla jätelömassa leikataan halutun paksuisiksi (c), pudotetaan jäähdytetyille tarjottimille ja tikutetaan (d). Tarjottimet kulkevat läpi noin -40 -celsiusasteisen karkaisutunnelin, jossa puikot jäähtyvät n. $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen. Tunnelin jälkeen tikut nostetaan kuljettimelle (e), jossa ne voidaan halutessa kastaa kuorrutteeseen (f). Kuljettimen jälkeen tapahtuu puikkojen pakkaus. Siitä puikot ohjataan pakkasvarastoon. Ekstruusiomenetelmällä tehdään yleensä ns. premium- tai superpremiumpuikkoja. Tällaisia puikkoja markkinoilla ovat mm. Classic-, Magnum- ja Soleropuikot.

2.1.2 Suklaakuorrutteen

Yleisesti suklaapohjaiset kuorrutteen jaotellaan yhdistelmäkuorrutteen, suklaapohjaisiin yhdistelmäkuorrutteen ja aitosuklaakuorrutteen. Yhdistelmäkuorrutteen koostuvat kasvirasvojen seoksesta, kaakaojauheesta, sokerista ja aromeista (Beckett 2008). Rasvapitoisuus yhdistelmäkuorrutteen on usein välillä 45–65 %. Suklaapohjaiset yhdistelmäkuorrutteen koostuvat suklaamassasta ja yhdestä tai useasta kasvirasvasta. Niiden rasvapitoisuus vaihtelee usein 40 %:sta 60 %:iin. Tyypillisesti aitosuklaakuorrute on suklaamassaa, jossa on suuremmat pitoisuudet kaakaovoita ja maitorasvaa kuin suklaassa.

Kussakin maassa on laissa määritetty se, millaisia tuotteita saadaan kutsua suklaaksi, aitosuklaakuorrutteen tai suklaanmakuiseksi kuorrutteen. Aitosuklaakuorrutteen lainsäädäntö on monesti hyvin samanlainen kuin suklaan vastaava. Aitosuklaakuorrutteen voivat olla tummaa suklaata, maitosuklaata tai valkosuklaata.

Tumman suklaan raaka-aineita ovat sokeri, kaakaojauhe, kaakaovoita ja pienemmät ainesosat kuten emulgointiaineet (Fang ym. 1997). Maitosuklaassa on näiden lisäksi maitojauhetta. Jotta suklaa on suutuntumaltaan hyvää, tulee kuiva-aineiden partikkelikoon olla n. 30 µm (Beckett 2008). Tätä suuremmat partikkelit tekevät suutuntuman karheaksi. Suklaalle tyypillinen suussa sulava vaikutus muodostuu, kun partikkelit peittyvät rasvalla.

Kun suklaa on nestemäisessä muodossa, se on sokerin, kaakaojauheen tai kaakao- ja maitojauheen suspensio jatkuvassa rasvafaasissa (Rector 2000). Rasvafaasi on kaakaovoita ja maitosuklaassa myös maitorasvaa. Koska nestemäisessä muodossa on mukana kiinteitä partikkeleita, suklaa on kaksifaasinen materiaali ja käyttäytyy ei-Newtonisesti.

Suomessa kauppa- ja teollisuusministeriön asetus kaakao- ja suklaatuotteista (2003) määrittelee sen, mitä raaka-aineita suklaassa voidaan käyttää ja kuinka paljon, jotta sitä vielä voidaan kutsua suklaaksi. Tämä kauppa- ja teollisuusministeriön kansallinen asetus pohjautuu Euroopan parlamentin ja neuvoston 23.6.2000 asettamaan EU-direktiiviin elintarvikkeena käytettävistä kaakao- ja suklaatuotteista (2000/36/EY).

Kauppa- ja teollisuusministeriön asetuksen (2003) mukaan tumma suklaa on valmistettu kaakaotuotteista ja sokerista. Tummassa suklaassa tulee kaakaon kuiva-aineen kokonaispitoisuuden olla vähintään 35 %. Lisäksi siinä on oltava vähintään 18 % kaakaovoita ja vähintään 14 % rasvatonta kaakaon kuiva-ainetta. Tummasuklaakuorrutteen on oltava vähintään 35 % kaakaokuiva-ainetta, vähintään 31 %

kaakaovoita ja vähintään 2,5 % rasvatonta kaakaokuiva-ainetta. Tummaan suklaaseen tai tummasuklaakuorrutukseen voidaan myös lisätä maitoa tai maidon kuiva-ainetta siten, että lopputuote sisältää enintään 5 % maidon kuiva-ainetta.

Maitosuklaa puolestaan on kauppa- ja teollisuusministeriön asetuksen (2003) mukaan tuote, joka on valmistettu kaakaotuotteista, sokereista ja maidosta tai maitotuotteista. Maitosuklaassa on oltava vähintään 25 % kaakaon kuiva-ainetta, vähintään 14 % maidon kuiva-ainetta, vähintään 2,5 % rasvatonta kaakaon kuiva-ainetta ja vähintään 3,5 % maitorasvaa. Maitosuklaan rasvaosuus koostuu kaakaovoista ja maitorasvasta. Kokonaisrasvapitoisuuden tulee olla vähintään 25 %. Maidon kuiva-aineen pitää olla saatu kuivaamalla osittain tai kokonaan täysmaitoa, kuorittua maitoa ja kermaa taikka kermaa, voita ja maitorasvaa. Maitosuklaakuorrutuksessa on kokonaisrasvapitoisuuden oltava vähintään 31 %.

Valkoinen suklaa on tuote, joka on valmistettu kaakaovoista, maidosta tai maitotuotteista ja sokereista. Valkosuklaassa tulee olla vähintään 20 % kaakaovoita ja vähintään 14 % maidon kuiva-ainetta, joka on saatu kuivaamalla osittain tai kokonaan täysmaitoa, kuorittua maitoa tai kermaa taikka kuivaamalla osittain tai kokonaan kermaa, voita tai maitorasvaa (KTM 2003). Maitorasvaa kuiva-aineesta on oltava vähintään 3,5 %.

Tummaan suklaaseen, maitosuklaaseen ja valkosuklaaseen lisättävä rasva saa olla vain maidosta peräisin olevia eläinrasvoja, ja näiden eläinrasvojen määrä saa olla enintään 40 % lopullisen tuotteen kokonaispainosta (KTM 2003). Perusraaka-aineiden lisäksi suklaatuotteisiin saa lisätä ainoastaan sellaisia aromeja, jotka eivät jäljittele suklaan tai maitorasvan makua. Suklaan lisäaineiden käytössä on noudatettava elintarvikkeiden lisäaineista erikseen säädettyä lakia.

Kaakaovoin ja maitorasvan lisäksi suklaatuotteisiin saa halutessaan käyttää kasvirasvoja kaakaovoin tai kaakaon kuiva-aineen pitoisuutta vähentämättä enintään 5 % (KTM 2003). Kasvirasvojen pitää sekoittua missä tahansa suhteessa kaakaovoihin. Niiden tulee sopia yhteen myös kaakaovoin fysikaalisten ominaisuuksien, kuten sulamispisteen, kiteytymislämpötilan ja sulamisnopeuden kanssa. Nordbergin (2003) mukaan tällaisia kasvirasvoja valmistetaan joko vaihtoesteröinnillä tai puhdistamalla sellaisista eksoottisista kasveista kuin illipe, palmu, sal, shea, kokokun gurgi ja mango. Suklaatuotteissa käytettävien kasvirasvojen on oltava lauriinihappoja sisältämättömiä kasvirasvoja, joissa

on POP-, POSt- ja StOSt-tyyppisiä monotyödyttymättömiä triasyyliglyseroleja (P = palmitiinihappo, O = öljyhappo, St = steariinihappo) (KTM 2003). Kyseiset kasvirasvat pitää valmistaa puhdistamalla tai fraktioimalla eikä triasyyliglyserolien rakennetta saa olla entsyymaattisesti muunnettu. Edellä mainittujen kasvirasvojen lisäksi kookosöljyn ja kookosrasvan käyttö on sallittu suklaassa, jota käytetään jäätelön ja vastaavien jäädytettyjen tuotteiden valmistamiseen.

Laissa määritettyjen säädösten lisäksi kuorrutteen koostumusta voidaan muokata niiden käyttötarkoituksen mukaan (Marshall ym. 2003). Esimerkiksi muottipuikoissa käytettävien kuorrutteen pitäisi sisältää enemmän sokeria ja vähemmän rasvaa kuin kuorrutteen, jotka on tarkoitettu ekstruudattuihin puikkoihin. Päävaatimuksena hyvälle suklaakuorruttele on sen kiinteiden aineiden, kuten kaakaopapujen, jauhaminen riittävän pieneen partikkelikokoon. Lisäksi vesipitoisuuden tulee olla kuorrutteessa alle 1 %.

2.2 Suklaan virtausominaisuudet

Suklaa on kompleksinen kaksifaasinen materiaali, joka koostuu useasta eri ainesosasta (Fang ym. 1997). Kunkin ainesosan määrä vaikuttaa suklaan virtausominaisuuksiin. Lisäksi ainesosien määrällä on vaikutusta prosessointiolosuhteisiin ja lopputuotteen ominaisuuksiin. Virtausominaisuuksia kuvataan usein kahdella eri parametrilla: myötöjännityksellä ja viskositeetilla (Beckett 2008).

Suklaa käyttäytyy ei-Newtonisten materiaalien tavoin. Tällöin viskositeetti riippuu siitä, kuinka nopeasti suklaa virtaa (Beckett 2008). Ei-Newtonista käyttäytymistä voidaan kuvata useilla malleilla, joita ovat mm. Bingham-, Herschel-Buckley- ja Casson-mallit (Chevalley 1999; Servais ym. 2004). Suklaan virtausominaisuuksia tutkittaessa näistä matemaattisista malleista on yleisimmin käytössä Casson-malli, joka kehitettiin alun perin kuvaamaan painomusteen virtausta (Beckett 2008). Casson-mallilla saadaan laskettua sekä viskositeetti että myötöjännitys, jotka molemmat ovat olennaisia suklaan valmistuksessa (Servais ym. 2004).

Suklaan virtausominaisuuksien mittausten perusteella on mahdollista muokata suklaata halutunlaiseksi ja kontrolloida suklaan laatua (Rector 2000). Tämä antaa suklaan valmistajille mahdollisuuden optimoida ja muokata prosessia ja minimoida kustannuksia.

2.2.1 Viskositeetti

Viskositeetti kuvaa lähinnä nesteen kykyä vastustaa muodonmuutosta. Yleisesti viskositeetti voidaan käsittää nesteen sisäisen kitkan mittayksiköksi (Nelson ja Beckett 1999). Virtaavassa nesteessä on voimia, jotka hidastavat molekyylien liikettä toistensa suhteen. Nesteellä voidaan ajatella olevan kaksi pintaa, joilla molemmilla on pinta-ala A , pintojen välillä on välimatka h ja pinnat liikkuvat toisiaan vasten nopeuksilla V_1 ja V_2 . Tällöin voidaan puhua leikkausnopeudesta γ (yhtälö 1).

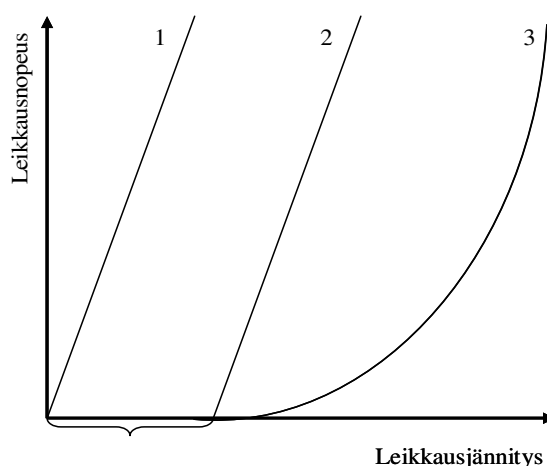
$$\gamma = (V_1 - V_2)/h \quad (1)$$

Voima, jota tarvitaan liikuttamaan yläpuolella olevaa pintaa alapuolella olevaa pintaa vasten, kutsutaan leikkausjännitykseksi τ tai σ . Näin viskositeetti (η) eli nesteen kitkakerroin saadaan jakamalla leikkausjännitys leikkausnopeudella (yhtälö 2).

$$\eta = \tau / \gamma \quad (2)$$

Dynaamisen viskositeetin yksikkö määritellään yhtälöstä $\eta = \tau / \gamma$ eli $\text{Pa} / \text{s}^{-1} = \text{Pa} \cdot \text{s}$.

Kun kuvataan leikkausnopeutta leikkausjännityksen funktiona, saadaan useammanlaisia käyriä riippuen siitä, millainen materiaali on kyseessä (kuva 3) (Chevalley 1999; Beckett 2008).



Kuva 3. Virtauskäyttäytyminen voi olla Newtonista (käyrä 1), Bingham-plastista (käyrä 2) tai ei-Newtonista (käyrä 3) (Chevalley 1999).

Newtonisesti käyttäytyvillä materiaaleilla viskositeetti on vakio ja virtauskäyrä lineaarinen (kuva 3, käyrä 1). Newtonisilla materiaaleilla leikkausjännityksen kaksinkertaistussa kaksinkertaistuu myös leikkausnopeus. Käyrällä 2 on kuvattu materiaalia, joka tarvitsee tietyn jännityksen ennen, kuin se lähtee virtamaan. Virtamaan lähdettyään materiaali kuitenkin käyttäytyy Newtonisesti eli viskositeetti on vakio ja virtauskäyrä lineaarinen. Tällaisia materiaaleja kutsutaan Binghamin nesteiksi. Suurin osa elintarvikkeista, kuten suklaa, kuuluvat ei-Newtonisiin nesteisiin, joita kuvataan käyrällä 3. Suklaa on leikkausohenevaa, eli mitä suurempi jännitys suklaaseen kohdistetaan, sitä ohuemmaksi se tulee.

Viskositeetti kuvaa suklaan käyttäytymistä virtaavassa tilassa (Rector 2000). Viskositeetti kertoo mm. siitä, kuinka paksua suklaa on. Kun tiedetään suklaan viskositeetti, saadaan määritettyä esimerkiksi suklaan käsittelyyn tarvittavien pumppujen mitoitus (Beckett 2008). Suklaan viskositeetin mittausta käytetään teollisuudessa yhtenä laadunvalvonnan työkaluna (Beckett 2001). Joissain tapauksissa sen avulla voidaan esimerkiksi kontrolloida suklaamassan käyttäytymistä kuorrutuslinjalla.

2.2.2 Myötöjännitys

Myötöjännitys on energia, joka tarvitaan materiaalin saattamiseksi virtaavaan tilaan (Beckett 2008). Myötöjännityksen avulla tiedetään, millaiseen käyttöön suklaa soveltuu (Rector 2000). Mikäli myötöjännitys on suuri, on suklaa erittäin paksua. Tällaista suklaata tarvitaan esimerkiksi, kun halutaan käyttää suklaata kirjailuun tuotteita koristeltaessa. Pienen myötöjännityksen omaavaa suklaata tarvitaan esimerkiksi silloin, kun halutaan saada ohut kerros kuorrutetta (Beckett 2008). Ziegler ym. (2001) tutkivat suklaan partikkelikokojakautuksen vaikutuksia suklaan aistinvaraisiin ominaisuuksiin. Partikkelikoon todettiin vaikuttavan koettuun suklaan paksuuteen, joka taas korreloi vahvasti Casson-myötöjännityksen kanssa. Casson-myötöjännityksen todettiin korreloivan tutkimuksessa hyvin aistinvaraisten arvioiden kanssa.

2.2.3 Suklaan viskositeetin ja myötöjännityksen määrittäminen

Ennen vuotta 2000 The International Office of Cocoa, Chocolate and Sugar Confectionery (IOCCC) -standardi suositteli Casson-mallin (yhtälö 3) käyttöä kuvaamaan suklaan virtausominaisuuksia.

$$\tau^{1/2} = \tau_{CA}^{1/2} + (\eta_{CA} \cdot \dot{\gamma})^{1/2} \quad (3)$$

Casson-mallin parametreja ovat Casson-viskositeetti (η_{CA}) ja Casson-myötöjännitys (τ_{CA}) (Chevalley 1975; 1999). IOCCC (1973) -standardia ja Cassonin yhtälön käyttämistä viskositeetin ja myötöjännityksen mallittamiseen on kritisoitu, ja parantamishdotuksia on tehty useissa tutkimuksissa (Aeschliman ja Beckett 2000; Chevalley 1991; Franke 1998; Servais ym. 2004).

IOCCC:n tutkimusryhmä suoritti sarjan tutkimuksia, joissa tutkittiin suklaan viskositeetin mittaustandardin (IOCCC 1973) yhdenpitävyyttä eri laboratorioiden välillä (Aeschliman ja Beckett 2000). Leikkausjännitysmittausten raportointi Casson-yhtälön käyttämisen sijaan paransi mittaustulosten yhdenpitävyyttä. Tutkimusryhmä suositteli, että ennen viskositeetin mittaamista suklaa temperoitaisiin 40 °C:seen, jotta varmistettaisiin sen oikea mittaustilämpötilä. Leikkausjännitystä mitattaisiin tietyillä leikkausnopeuksilla (2, 5, 10, 20 ja 50 s⁻¹), joiden mukaan tulokset ilmoitettaisiin. Casson-mallia ei tämän tutkimuksen perusteella tehdyn IOCCC (2000) -standardin mukaan suositella käytettävän, koska se ei kerro todellista virtauskäyttäytymistä. Myös muita malleja suositellaan käytettävän harkiten.

Mikäli virtauskäyttäytymistä halutaan mallittaa, IOCCC (2000) -standardi suosittelee käyttämään Winhab-mallia (yhtälö 4), koska kaikilla mallin parametreilla on fysikaalinen merkitys ja mittaukset tehdään leikkausnopeusvälillä, joka on mahdollista saavuttaa suurimmalla osalla kaupallisesti myytävistä viskometreistä.

$$\tau = \tau_0 + \eta_{\infty} \cdot \dot{\gamma} + (\tau_1 - \tau_0) \cdot [1 - \exp\{-\dot{\gamma} / \dot{\gamma}^*\}] \quad (4),$$

jossa τ on leikkausjännitys, τ_0 on myötöjännitys, η_{∞} on viskositeetti, joka on vakio suurimmalla osalla suklaita leikkausnopeudella $\geq 60-100$ s⁻¹, $\dot{\gamma}$ on leikkausnopeus, τ_1 on suurin leikkausjännitys ja $\dot{\gamma}^*$ on leikkausjännitys, jossa noin 63 % suurimmasta leikkausnopeudesta on saavutettu.

IOCCC (2000) -standardi suosittelee viskositeetin mittauksessa käytettävän viskometriä, jossa on samankeskinen sylinterikoetin. Sylinterikoettimen pään tulisi olla kartiomainen tai syventyvä. Mittaukset tehdään suklailla 40 °C:n lämpötilassa, ja niitä tulee tehdä vähintään kaksi kappaletta näytettä kohti. Ennen mittauksia näytteet on esikäsiteltävä IOCCC (2000) -standardin ohjeiden mukaan.

Viskositeetin tiedetään vaihtelevan suuresti riippuen siitä, kuinka kauan ennen mittausta näytteet on valmistettu ja millaisissa olosuhteissa niitä on säilytetty (IOCCC 2000). Jotta tulokset ovat vertailukelpoisia, tulee esikäsitteilyyn ja säilytykseen kiinnittää erityistä huomiota. Kiinteänä säilytetty suklaa sulatetaan 50 °C:ssa lämpökaapissa, mutta tässä lämpötilassa suklaata ei saa säilyttää yli kolmea tuntia. Kun suklaa on saavuttanut 50 °C:n lämpötilan, massa jäädytetään koko ajan sekoittaen 43 °C:seen. Seuraavaksi näyte kaadetaan viskometrin valmiiksi lämmitettyyn $40 \pm 0,1$ -asteiseen mitta-astiaan, jossa näyte temperoidaan mittaustilasta sekoittamalla näytettä vakioleikkausnopeudella $5\text{--}25 \text{ s}^{-1}$. Tämän jälkeen suoritetaan varsinainen mittaustulos.

Standardi suosittelee, että mittaukset tehdään vähintään leikkausnopeuksilla 2, 5, 10, 20 ja 50 s^{-1} (IOCCC 2000). Mikäli tuloksia halutaan mallittaa, tulee mittauksia olla nousevalla leikkausnopeusvälillä $2\text{--}50 \text{ s}^{-1}$ vähintään kymmenen kappaletta. Kokonaisuittain tulee olla vähintään 7 min, josta 3 min nousevalla leikkausnopeusvälillä $2\text{--}50 \text{ s}^{-1}$, 1 min leikkausnopeudella 50 s^{-1} ja 3 min laskevalla leikkausnopeusvälillä $50\text{--}2 \text{ s}^{-1}$.

Servais ym. (2003) kohdistivat tutkimuksessaan kritiikkiä Casson-mallin käyttöön suklaan laadun tarkkailussa. He ehdottivat uudenlaista mittaustapaa ja mallittamista otettavan käyttöön tulevaisuudessa. He suosittelivat virtauskäyrän määrittämistä IOCCC:n standardin mukaan 7 minuutin ajan leikkausnopeusvälillä $2\text{--}50 \text{ s}^{-1}$. Standardista poiketen tulisi leikkausnopeusvälillä $2\text{--}50 \text{ s}^{-1}$ ilmoittaa leikkausnopeuden 5 s^{-1} leikkausjännityslukema, ja leikkausnopeusväleillä $2\text{--}50 \text{ s}^{-1}$ ja $50\text{--}2 \text{ s}^{-1}$ ilmoittaa leikkausnopeuden 40 s^{-1} leikkausjännityslukemat. Näistä arvoista viskositeetti laskettaisiin niin, että 5 s^{-1} leikkausjännityslukema kerrotaisiin kymmenellä, 40 s^{-1} leikkausjännityslukema välillä $2\text{--}50 \text{ s}^{-1}$ kerrotaisiin 0,74:llä ja 40 s^{-1} leikkausjännityslukemien (väleillä $2\text{--}50 \text{ s}^{-1}$ ja $50\text{--}2 \text{ s}^{-1}$) erotus kerrotaisiin 1600:lla (s^{-2}).

Huolimatta Casson-malliin kohdistuvasta kritiikistä, käytetään sitä edelleen teollisuudessa kuvaamaan suklaan virtausominaisuuksia. Karnjanolarnin ja McCarthyn (2006) tutkimuksen mukaan Casson-mallin parametrien avulla voidaan hyvin ennustaa suklaakuorrutuksen paksumuutosta.

2.3 Suklaan ja suklaakuorrutteen virtausominaisuuksiin vaikuttavat tekijät

Suklaan virtausominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä on useita. Niiden tunteminen on tärkeää valmistusprosessin toimivuuden kannalta. Valmistusprosessin kautta virtausominaisuuksien on todettu vaikuttavan mm. suklaan rakenteeseen (Servais ym. 2002, 2004). Tarkkailemalla suklaan virtausominaisuuksia voidaan varmistaa valmistusprosessin toimivuus ja korkealaatuiset lopputuotteet. Suklaan koostumuksessa virtausominaisuuksiin vaikuttavat mm. kuiva-aineiden partikkelikoko, emulgointiaineiden lisääminen ja niiden määrät (Karnjanolarn ja McCarthy 2006; Rector 2000). Virtausominaisuuksiin vaikuttavat myös rasvan määrä, suklaan vesipitoisuus ja lämpötila (Beckett 2008; Rector 2000). Myös kuiva-aineen määrän tiedetään vaikuttavan viskositeettiin (Servais ym. 2004).

2.3.1 Partikkelikoon vaikutus

Suklaan kuiva-aineiden partikkelikoko vaihtelee usein välillä 15–35 μm riippuen siitä, minkä tyyppistä suklaata valmistetaan (Beckett 2008). Partikkelikoko vaikuttaa suklaan virtausominaisuuksiin nestemäisessä muodossa, suklaan rakenteeseen, makuun suussa ja lopputuotteen laatuun (Ziegler ja Hogg 1999). Pienien partikkeleiden käytön suklaan valmistuksessa on todettu parantavan suklaan aistinvaraisia ominaisuuksia (Ziegler ym. 2001).

Partikkelikoosta puhuttaessa käytetään usein suurinta partikkelikokoa, sillä partikkelikoon määrittäminen on kohtuullisen hankalaa (Beckett 2008). Todellisuudessa partikkelikoon jakaumasta muodostuu käyrä. Suklaan valmistaja yleensä tarkkailee partikkelikoon jakaumaa kontrolloidakseen laatua. Partikkelikoosta puhuttaessa on suhteellisen yleistä käyttää myös sellaista arvoa, jota pienempiä 90 % partikkeleista on. Näin määritellyn arvon on todettu korreloivan suhteellisen hyvin suutuntuman kanssa. Yli 30 μm :n partikkelikoko tuntuu suussa karheana ja alle 30 μm partikkelikoon omaavissa hiukkasissa jo 2–3 μm :n kokoero havaitaan suutuntumassa ja pehmeudessa.

Suklaan rakenteessa rasva ympäröi kiinteän aineen muodostamat partikkelit (Beckett 2008). Mikäli partikkelit ovat kooltaan pieniä, niiden pinta-ala suhteessa massaansa on suuri, ja siksi niiden pinnalle tarvitaan enemmän rasvaa. Partikkeleiden ollessa suuria niiden pinta-ala suhteessa massaansa on pieni, joten pinnalle tarvitaan vähemmän rasvaa.

Chevalleyn (1999) tutkimuksessa käytettiin kahta maitosuklaata, joissa oli erilainen partikkelikoko ja rasvapitoisuus. Tuloksena saatiin, että myötöjännitys suureni merkittävästi sen mukaan, mitä pienempää partikkelikokoa suklaassa käytettiin. Viskositeetti pysyi lähes muuttumattomana. Myös Rectorin (2000) mukaan pienentyvä partikkelikoko nostaa myötöjännitystä. Karnjanolarn ja McCarthy (2006) totesivat pienen partikkelikoon suklaiden omaavan suuremman viskositeetin kuin suuren partikkelikoon suklaat suuremman pinta-alan ja partikkeli-partikkeli-vuorovaikutuksen vuoksi.

2.3.2 Rasvan määrä ja laatu

Rasvan määrä ja rasvan laatu vaikuttavat olennaisesti suklaan virtausominaisuuksiin. Nordbergin (2006) mukaan käytetyn rasvan laatu vaikuttaa tuotteen sulamisominaisuuksiin, koostumukseen ja aromien vapautumiseen. Rasvan laatu vaikuttaa myös suklaan säilyvyysominaisuuksiin.

Suklaamassan rasva on pääosin kaakaovoita. Kaakaovoilla on olemassa kuusi erilaista kidemuotoa (Talbot 1999). Näiden kuuden eri kidemuodon sulamislämpötilat vaihtelevat välillä 16–36 °C. Kaakaovoi käyttäytyy Newtonisen nesteen tavoin, kun se on sulamispistettään suuremmassa lämpötilassa.

Kaakaovoin määrää säätelemällä saadaan muokattua suklaan viskositeettia. Jotta saataisiin taloudellisia säästöjä, kaakaovoin tilalle on alettu kehittää kaakaovoin korvaajia, jotka koostuvat maitorasvoista, kasvirasvoista ja kasviöljyistä, joilla on samanlaiset fysikaalis-kemialliset ominaisuudet kuin kaakaovoilla (Fang ym. 1997).

Beckettin (2008) mukaan rasvan määrän lisääminen saa suklaan virtaamaan paremmin. Kaakaovoin ja maitorasvan lisäyksellä on sama vaikutus suklaaseen, jos ne lisätään 40 °C:ssa. Campelinin ja Pavlasekin (1997) mukaan voiöljyn lisääminen suklaamassaan laskee suklaamassan viskositeettia, sillä maitorasva sisältää pieniä määriä fosfolipidejä, jotka toimivat kuten emulgointiaineet.

Rasvan määrän lisääminen hidastaa suklaan jähmettymistä ja pehmentää suklaan rakennetta (Beckett 2008). Virtausominaisuuksista rasvan määrän lisäys vaikuttaa enemmän viskositeettiin kuin myötöjännitykseen. Chevalleyn (1999) ja Rectorin (2000) mukaan viskositeetti ja myötöjännitys ovat kääntäen verrannollisia rasvapitoisuuteen.

Kaakaovoin ainutlaatuiset rakenne- ja aistinvaraiset ominaisuudet juontavat juurensa sen erityisestä rasvahapporakenteesta. Kaakaovoin kolme pääasiallista triasyyliglyserolirakennetta ovat POP, POS ja StOSt (Wennemark 2002).

Kaakaovoin korvaamiseksi kuorrutteissa on kehitetty erilaisia kasvirasvoja yhteisnimitykseltään CBA (engl. Cocoa Butter Alternatives) -rasvat (Talbot 1999). Nämä kaakaovoin tilalla käytettävät rasvat voidaan jakaa CBE (engl. Cocoa Butter Equivalent) -rasvoihin ja CBR (engl. Cocoa Butter Replacers) -rasvoihin. Kaakaovoin tilalla käytettäviä rasvoja ovat myös CBS (engl. Cocoa Butter Substitutes) -rasvat (Nordberg 2006). Kaakaovoin tilalla käytettävien rasvojen käyttäminen suklaassa on riippuvainen kunkin maan lainsäädännöstä.

CBE:t ovat kemialliselta rakenteeltaan ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan täysin samanlaisia kuin kaakaovoi, ja niitä voidaan käyttää tuotteissa aivan kuten kaakaovoitakin (Minifie 1980). Ne sekoittuvat missä tahansa suhteessa kaakaovoihin, eivätkä vaikuta millään tavalla suklaan sulamiseen, temperointiin tai jäähtymiseen. CBE:t on valmistettu vaihtoesteröinnillä, tai ne ovat puhdistettuja fraktioita sellaisista eksoottisista kasveista, kuten illipe, palmu, shea, mango, sal ja kokum (Nordberg 2006). Kun osa kaakaovoista korvataan CBE-rasvalla, ei sillä ole vaikutusta suklaamassan virtausominaisuuksiin (Talbot 1999).

CBR:t taas ovat fysikaalisilta ominaisuuksiltaan samanlaisia kuin kaakaovoi, mutta eivät kemialliselta rakenteeltaan (Minifie 1980). Niitä voidaan käyttää kaakaovoin korvaamiseen rajoitetummin riippuen niiden laadusta. CBR:t on valmistettu kovetetuista öljyistä, joita on valmistettu soijapavuista, rypsiä, palmu- tai puuvillansiemenistä (Nordberg 2006). Ne sisältävät pääasiassa 16:0-, 18:0- ja 18:1-cis- ja transrasvahappoja. Kaakaovoin tilalla käytettävien CBR-rasvojen on todettu laskevan suklaan sulamispistettä, jolloin suklaa pehmenee (Minifie 1980; Talbot 1999). Sivuvaikutuksia on huomattu suklaan maussa, mikäli valmistuksessa on käytetty CBR-rasvoja, sillä ne hapettuvat helpommin ja vaikuttavat myös tätä kautta suklaan mikrobiologiseen laatuun.

CBS-rasvat on valmistettu palmun ydinosasta tai kookoksesta (Nordberg 2006). CBS-rasvojen sulamisominaisuudet ja nopea kiteytyminen ovat hyviä ominaisuuksia esimerkiksi silloin, kun halutaan ohut kuorrute. Kyseiset rasvat sisältävät suuria pitoisuuksia lauriinihappoa, joka ei ole kaakaovoihin sekoittuva rasvahappo, joten yli 5 %:n käyttö suklaassa ei ole suositeltavaa. Lisäksi lauriinihappo (12:0) tuo mukanaan saippuamaista sivumakua.

Kookosrasvasta ja palmuöljystä valmistettujen rasvojen käyttö ei useiden maiden lainsäädäntöjen mukaan ole sallittua suklaassa, mutta sen sijaan suklaakuorrutteissa niiden käyttö on sallittua pieninä pitoisuuksina (Minifie 1980).

Fangin ym. (1997) tutkimuksessa käytettiin kolmea markkinoilla olevaa kaakaovoin korvaajaa (CBR), kahta lauriinihappopohjaista korvaajaa (Socolate ja Super YZ) ja yhtä eilauriinihappopohjaista kaakaovoin korvaajaa (maissiöljyä). He mittasivat CBR-rasvojen ja kaakao-CBR-seosten viskositeetteja lämpötila-alueella 15–85 °C. Kaakaovoin korvaajat käyttäytyivät kuten Newtoniset nesteet. Niiden viskositeetti ei ollut riippuvainen leikkausnopeudesta, mutta viskositeetti oli sen sijaan riippuvainen lämpötilasta. Kaakaovoin korvaajien aktivoitumisenergiat olivat lähes kaakaovoin luokkaa, ja näin ne myös reagoivat lämpötilaan samalla tavalla. Kaakaojauhe-Socolate ja kaakaojauhe-maissiöljyseosten viskositeetit olivat lähes samat kuin kaakaovoilla, joten niitä voidaan käyttää kaakaovoin tilalla suklaanvalmistuksessa. Sitä vastoin kaakaojauhe- Super YZ -seos ei soveltunut kaakaovoin korvaajaksi. Kaikille seoksille oli kuitenkin yhtenäistä se, että niiden myötörajat ja viskositeetti laskivat, kun lämpötila nousi.

2.3.3 Suklaan vesipitoisuus

Suklaan vesipitoisuus on normaalisti välillä 0,5–1,5 % (Minifie 1980). Veden lisäys vaikuttaa suklaan ominaisuuksiin (Beckett 2008). Jo 3–4 paino-%:n veden lisäys saa suklaan muuttumaan paksuksi tahnaksi, jonka viskositeetti on suuri. Kosteuden viskositeettia nostava vaikutus korostuu rasvapitoisuuden laskiessa (Chevalley, 1999). Kosteuden lisääntyminen saa myös myötöjännityksen kasvamaan huomattavasti (Rector 2000).

Korkean kosteuspitoisuuden omaavaa suklaata on hankala käsitellä, ja sen kanssa on lähes mahdotonta työskennellä. Korkean kosteuspitoisuuden omaavat suklaakuorrutteet ovat ongelmana muun muassa jäätelöteollisuudessa. Suklaan viskositeetti nousee, kun vesipitoisuus nousee, koska vesi liuottaa osan suklaamassan sisältämästä sokerista, ja sokerikiteiden pinnalle muodostuu siirappimainen kerros (Chevalley 1999). Emulgointiaineen lisääminen suklaaseen parantaa suklaan kosteuden kestävyyttä jonkin verran (Beckett 2008). Rectorin (2000) mukaan etenkin polyglyserolipolyrisiiniiolelaatti (PGPR) kumooa kosteuden vaikutusta. Polyglyseroliosa sitoo itseensä ylimääräisen kosteuden, jolloin vesi ei enää pääse kiinteisiin partikkeleihin.

2.3.4 Emulgointiaineiden laatu ja määrä

Emulgointiaineet, kuten lesitiini ja PGPR, ovat pinta-aktiivisia aineita, joita käytetään muokkaamaan nestemäisen suklaan ominaisuuksia (Beckett 2008). Emulgointiaineiden tehtävä on asettua kiinteiden partikkeleiden ja niitä ympäröivän rasvan rajapinnalle. Emulgointiaineiden lipofiilinen pää kiinnittyy rasvaan ja hydrofiilinen pää kiinnittyy sokeriin (Beckett 2008). Virtausominaisuuksien lisäksi emulgointiaineet voivat vaikuttaa suklaan kosteuden ja lämpötilan sietokykyyn (Minifie 1980; Schantz ja Linke 2001). Polyglyserolien estereitä käytetään suklaakuorutteissa nopeuttamaan kuorutteen kovenemista (Dziezak 1988).

Yleisin pinta-aktiivinen aine, jota suklaissa käytetään, on soijalesitiini. Soijalesitiini on fosfolipidien ja soijaöljyn sekoitus (Chevalley 1999). Lesitiinin 0,1–0,3 %:n lisäys saa aikaan samanlaisen viskositeettia alentavan vaikutuksen kuin saisi aikaan 10-kertainen kaakaovoin määrän lisääminen. Rectorin (2000) mukaan lesitiinin käyttö suklaassa mahdollisti kaakaovoimäärän vähentämisen 4–5 %:lla. Lesitiini vaikutti viskositeettia ja myötöjännitystä alentavasti aina 0,4 %:n pitoisuuksiin asti. Yli 0,5 %:n pitoisuuksissa myötöjännitys laski, mutta viskositeetti alkoi nousta (Vernier 1997; Rector 2000). Se, kuinka paljon lesitiiniä voidaan lisätä ennen kuin se vaikuttaa suklaata paksuntavasti, on riippuvainen suklaan partikkelien kokojakaumasta (Beckett 2008). Lesitiinin käytöllä suklaassa on vaikutusta myös suklaan hintaan, sillä kalliin kaakaovoin määrää voidaan pienentää, kun käytetään lesitiiniä (Minifie 1980).

Toinen käytössä oleva pinta-aktiivinen aine on polyglyserolipolyrisiinioleaatti (PGPR). PGPR:lla on suhteellisen pieni vaikutus viskositeettiin, mutta sillä on suuri vaikutus myötöjännitykseen (Rector 2000; Beckett 2008). Myötöjännityksen kontrollointi on Rectorin (2000) mukaan erityisen merkityksellistä suklaan loppukäytölle. PGPR:n 0,8 %:n lisäämisen on todettu pienentävän myötöjännityksen nolaa ja muuttavan suklaan Newtoniseksi nesteeksi (Beckett 2008). Lisäämällä vain 0,2 % PGPR:a suklaan myötöjännitys voi pienentyä puolet pienemmäksi kuin käyttämällä sama määrä lesitiiniä.

Lesitiinin ja PGPR:n käyttö niiden sekoituksena on hyvin yleistä (Beckett 2008). Schantz ja Rohm (2004) tutkivat lesitiinin ja PGPR:n sekä niiden määrien vaikutuksia maitosuklaamassan myötöjännitykseen ja viskositeettiin. Yhteenvedo tutkimuksen lesitiini- ja PGPR-pitoisuuksien vaikutuksista myötöjännitykseen ja viskositeettiin on esitetty taulukossa 1. Lesitiinimäärän lisääntyessä myötöjännitys laski aina pitoisuuteen 4 g/kg:n

asti, jonka jälkeen lesitiinimäärän lisääntyessä myötöjännitys nousi. PGPR vaikutti myötöjännitykseen lesitiiniä tehokkaammin, ja myötöjännitys pieneni PGPR-pitoisuuden noustessa. Viskositeettiin lesitiini vaikutti PGPR:a tehokkaammin erityisesti pienillä emulgointiainemäärillä. Yleisesti ottaen viskositeetti laski emulgointianepitoisuuden noustessa.

Taulukko 1. Emulgointiaineen ja sen pitoisuuden vaikutus maitosuklaamassan myötöjännitykseen ja viskositeettiin (Schantz ja Rohm 2004).

Emulgointiainepitoisuus (g/kg)	Lesitiini		Polyglyserolipolyrisiinioleaatti	
	Myötöjännitys (Pa)	Viskositeetti (Pa s)	Myötöjännitys (Pa)	Viskositeetti (Pa s)
0	79,6	12,3	79,6	12,3
1	19,5	4,18	16,1	7,2
2	11,8	3,63	7,49	5,89
3	10,2	3,28	4,23	4,89
4	9	3,04	2,31	4,67
5	9,15	2,89	1,62	4,23
6	9,59	2,79	1,44	3,98
7	10,3	2,71	1,09	3,76

Optimaalisinta on PGPR:n ja lesitiinin käyttö yhdessä (Rector 2000). Näin saadaan aikaan joustavat mahdollisuudet muokata suklaan reologisia ominaisuuksia. Schantz ja Rohmin (2004) tutkimuksessa viskositeetti laski eniten, kun käytettiin emulgointiainetta, jossa oli 70 % PGPR:a ja 30 % lesitiiniä. Tällaisen PGPR-lesitiinisuhteen käyttäminen sai aikaan n. 20 % pienemmän viskositeetin verrattuna tilanteeseen, jossa käytettiin saman verran pelkkää lesitiiniä. Myötöjännityksen minimi saavutettiin, kun käytettiin 30 % lesitiiniä ja 70 % PGPR:a riippumatta siitä, millaista suklaata tutkittiin. Viskositeetin minimi saavutettiin, kun tummassa suklaassa oli 50 % lesitiiniä ja 50 % PGPR:a ja maitosuklaassa 75 % lesitiiniä ja 25 % PGPR:a. Optimaalinen lesitiinin ja PGPR:n suhde riippuu prosessointiolosuhteista ja siitä, millaisia ominaisuuksia tuotteille halutaan. Lesitiini-PGPR-seosten käyttö mahdollistaa kuitenkin virtausominaisuuksien räätälöimisen suklaalla, suklaakuorrutteilla ja suklaapohjaisilla täytteillä. Rectorin (2000) mukaan, ehkä mielenkiintoisin PGPR:n ominaisuus on sen kyky osittain korvata kaakaovoita niin, että suklaa kuitenkin säilyttää halutun myötöjännityksen. Käyttämällä pieniä määriä PGPR:a emulgointiaineena suklaanvalmistaja voi vähentää kaakaovoin määrää suklaan reseptissä ja siitä huolimatta säilyttää halutut virtausominaisuudet suklaassa. Tämä tuo suklaan valmistajalle kustannussäästöjä. Esimerkiksi suklaan, jonka rasvapitoisuus oli 35 %,

myötöjännitys oli sama kuin suklaan, joka sisälsi 32 % rasvaa ja johon oli käytetty 0,1 % PGPR:a.

2.3.5 Lämpötilan vaikutus

Chevalleyn (1975) mukaan lämpötila vaikuttaa suklaan viskositeettiin niin, että lämpötilan noustessa viskositeetti laskee. Kun lämpötila on alle 35 °C, alkaa kaakaovoit osittain kiteytyä ja muodostuvat kiteet nostavat viskositeettia. Maitosuklaan maidon kuiva-aine taas alkaa muodostaa agglomeraatteja yli 40 °C:n lämpötilassa, jos suklaa ei sisällä emulgointiainetta. Vaikka maitosuklaa sisältäisikin emulgointiainetta, ei emulgointiaine kuitenkaan estä agglomeraattien muodostusta täydellisesti. Lämpötilan vaikutus myötöjännitykseen on päinvastainen kuin viskositeettiin, eli myötöjännitys nousee lämpötilan noustessa.

Kun nestemäisen suklaan lämpötila nousi, voitiin havaita kahdenlaisia ilmiöitä (Chevalley 1999). Ensinnäkin viskositeetti laski maitosuklaalla ja tummalla suklaalla, joiden rasvapitoisuus oli 34 % ja joissa ei ollut lesitiiniä. Viskositeetti laski myös 30 % rasvaa sisältäneellä maitosuklaalla ja tummalla suklaalla, kun suklaissa oli 0,15 % lesitiiniä. Viskositeetti oli kuitenkin hieman suurempi lesitiiniä sisältävillä maitosuklailla kuin maitosuklailla, joissa lesitiiniä ei ollut. Toinen havaittava seikka oli, että kun lämpötila nousi myötöjännitys suureni molemmilla maitosuklailla, mutta enemmän suklaalla, jossa lesitiiniä ei ollut. Tummalla suklaalla myötöjännitys suureni samalla tavalla kuin maitosuklaalla, kun se ei sisältänyt lesitiiniä. Lesitiiniä sisältävällä tummalla suklaalla myötöjännityksen suureneminen oli erittäin pientä lämpötilan noustessa eli tumman suklaan paksuuntumista saatiin kontrolloitua lesitiinin lisäyksellä melko hyvin.

2.4 Suklaalla kuorruttaminen

Myötöjännityksen kontrollointi on erittäin tärkeää suklaalla kuorruttamisessa (Rector 2000). Mikäli myötöjännitys on liian suuri, suklaa jää materiaalin pintaan epätasaiseksi. Tällöin osa materiaalista saattaa olla paksun kuorrutteen peitossa, mutta osassa materiaalia ei välttämättä ole kuorrutetta lainkaan. Mikäli myötöjännitys taas on liian pieni, suklaa valuu pois materiaalin päältä, eikä tartu materiaalin pintaan lainkaan. Pienen viskositeetin

suklaita on helppo käsitellä, ja ne soveltuvat hyvin pienten muodoltaan epätasaisten materiaalien kuorruttamiseen.

Wichchukit ym. (2005) tutkivat 0,1 % ja 0,3 % lesitiiniä sisältäneen maitosuklaakuorrutteen ja 0,1 % ja 0,3 % synteettistä lesitiiniä sisältäneen maitosuklaakuorrutteen viskositeettia ja kuorrutteen paksuutta verrattuna maitosuklaaseen ilman emulgointiainetta menetelmällä, jossa he kastoivat akryylilevyä maitosuklaakuorrutteeeseen. Riippumatta siitä, oliko käytössä soijalesitiini vai synteettinen lesitiini, suklaan emulgointiainepitoisuuden noustessa 0 %:sta 0,3 %:iin kuorrute oheni 60 %. Samalla myös Cassonin myötöjännitysarvot laskivat 15 Pa:sta 1,9 Pa:iin ja Cassonin viskositeetti-arvot 14,6 Pa s:sta 6,0 Pa s:iin

Karnjanolarn ja McCarthy (2006) tutkivat suklaakuorrutteen määrää Wichchukitin ym. (2005) kehittämällä menetelmällä. Kuorrutteena heillä oli maitosuklaa, jossa oli käytetty kahta eri partikkelikokoa, kahta eri emulgointiainetta ja kuutta eri emulgointiainepitoisuutta. Hienomman partikkelikoon kuorrutteet olivat viskositeetiltaan suurempia ja kuorrutteen määrät olivat suurempia kuin partikkelikooltaan karkeampien suklaiden viskositeetit ja kuorrutemäärät. Lesitiiniä sisältävien kuorrutteiden määrät olivat suurempia kuin PGPR:a sisältävien kuorrutteiden määrät. Yleisesti ottaen lesitiiniä sisältävien kuorrutteiden viskositeetit olivat matalampia kuin PGPR:a sisältävien kuorrutteiden viskositeetit suurilla leikkausnopeuksilla. PGPR-kuorrutteiden viskositeetit taas olivat matalampia kuin lesitiiniä sisältävien kuorrutteiden viskositeetit pienillä leikkausnopeuksilla. PGPR sisältävien kuorrutteiden määrät pienenevät sitä mukaa kuin PGPR-pitoisuus kuorrutteessa suurenee. Lesitiiniä 0,1 % sisältävän kuorrutteen määrä oli suurempi kuin enemmän lesitiiniä sisältävien kuorrutteiden määrät. Kun kuorrute sisälsi 0,2 % lesitiiniä, oli kuorrutemäärä suurempi kuin 0,3 % lesitiiniä sisältävän kuorrutteen määrä. Kun kuorrutteessa oli 0,5 % lesitiiniä, oli kuorrutteen määrä sama kuin 0,2 % lesitiiniä sisältävällä kuorrutteella. Lesitiiniä 0,4 % sisältävän kuorrutteen määrä ei eronnut merkitsevästi 0,5 % lesitiiniä sisältävän kuorrutteen määrästä. Kun kuorrutteessa ei ollut lainkaan emulgointiainetta, oli sen määrä suurempi kuin minkään emulgointiainetta sisältävän kuorrutteen määrä.

Marshallin (2003) mukaan useat tekijät vaikuttavat suklaakuorrutteiden käyttämiseen jäätelönvalmistusprosessissa. Mitä korkeampi on kuorrutteen lämpötila, sitä vähemmän kuorrutetta jää jäätelöpuikon pintaan. Jäätelön sulaminen kuitenkin asettaa rajoituksia kuorrutteen käyttölämpötilaan, sillä jäätelön sulamista ei saisi tapahtua kuorrutusprosessissa. Mikäli jäätelön lämpötila on normaalia pienempi, pitää kuorrutteen

olla normaalia lämpimämpää, jotta tietty kuorutteen paksuus saataisiin säilytettyä. Mitä korkeampi kuorutteen lämpötila on, sitä pidemmän ajan kuorutteen jähmettyminen kestää. Kuorutteen paksuus on verrannollinen kastoajan pituuteen, joten jäätelön nopea kasto kuorutteeseen on todella tärkeää. Myös kosteuden pitäminen minimissään on tärkeää, sillä kosteuden lisääntyminen vaikuttaa viskositeettiin ja samalla kuorutteen määrään suurentavasti.

Suklaakuorutteen ominaisuudet riippuvat pitkälti siitä, mitä rasvoja sen koostumuksessa on käytetty ja millaiset ovat näiden rasvojen ominaisuudet (Nordberg 2006). Jos kuorutteen hidas jähmettyminen on ongelma jäätelön kuoruttamisessa, voidaan kuorutteen jähmettymistä nopeuttaa vaihtamalla pehmeän ja kovan rasvan suhdetta (Marshall 2003). Kun suklaakuorutteita käytetään jäätelön kuoruttamiseen, on kookosrasvan käytöllä suklaan reseptiikassa edullisia vaikutuksia verrattuna kaakaovoin vaikutuksiin (Nordberg 2006). Kookosrasvan käytöstä on hyötyä etenkin, kun halutaan kuorutteen olevan ohut ja jähmettyvän nopeasti. Hogenbirkin (1988) mukaan suklaakuorutteen optimaalinen viskositeetti on alle 0,5 Pa s ja myötöjännitys 0,5–1 Pa, kun kuorutetaan jäätelöpuikkoja.

3 KOKEELINEN TUTKIMUS

3.1 Tutkimuksen tavoitteet

Kokeellinen tutkimus koostui kahdesta osasta: esikokeista ja varsinaisista kokeista. Kirjallisuuden perusteella tutkittaviksi muuttujiksi esikokeisiin valittiin rasvan määrä ja laatu sekä emulgointiaineen määrä. Esikokeiden tavoitteena oli tutkia, mitkä muuttujista vaikuttavat eniten suklaakuorutteen koostumukseen ja millaisia määriä kutakin muuttujaa olisi mielekästä suklaakuorutteen käytössä. Esikokeessa rajattiin lämpötilat, joita käytettiin varsinaisessa tutkimuksessa kastokokeita tehtäessä. Varsinaisten kokeiden tavoitteena oli löytää keinot, joiden avulla kuorutteen määrää jäätelöpuikon päällä saataisiin säädeltyä kuorutteen rasvan määrää, emulgointiaineen määrää ja lämpötilaa muuttamalla. Tavoitteena oli erityisesti selvittää, miten kuorutteen määrää jäätelöpuikon päällä saataisiin pienennettyä. Lisäksi haluttiin tarkastella, vaikuttaako viskositeettiarvojen ja myötöjännitysarvojen vaihtelu kuorutteen määrään jäätelöpuikon päällä. Varsinaisiin kokeisiin valitut muuttujat olivat maitosuklaakuorutteen rasvan määrä, emulgointiaineen määrä ja kuorutteen lämpötila. Kullekin muuttujalle valittiin esikokeiden perusteella kolme tasoa. Tutkimuksessa käytettiin Box-Behnken-koesuunnitelmaa ja tulokset käsiteltiin regressioanalyysin avulla. Kokeissa mitattiin kuorutteen jähmettymisaikaa, jäätelöpuikon päälle jääneen kuorutteen määrää, kuorutteen viskositeettia ja myötöjännitystä. Vastepintamallien avulla arvioitiin, miten nykyisen kuorutteen koostumusta tulisi muuttaa, jotta kuorutteen määrää jäätelöpuikon päällä saataisiin muutettua. Mallien avulla arvioitiin myös, missä lämpötilassa kuorutteita tulisi käsitellä, jotta päästäisiin parhaaseen lopputulokseen. Lisäksi arvioitiin, miten kuorutteen koostumuksen ja lämpötilojen muutokset vaikuttivat kuorutteen jähmettymisaikaan, myötöjännitykseen ja viskositeettiin.

3.2 Materiaalit ja menetelmät

3.2.1 Esikokeet

Esikokeiden tutkimusmateriaaleina olivat teollisuudessa tällä hetkellä käytössä oleva maitosuklaakuorrute ja kahdeksan maitosuklaakuorrutetta, joiden rasvan ja emulgointiaineen määriä oli muokattu. Kuorrutevalmistaja teki tutkimuksessa käytetyt kuorrutteet. Kuorrutteita säilytettiin kiinteänä 5 °C:ssa ja ne sulatettiin lämpökaapissa 45 °C:n lämpötilassa 1vrk:n ajan ennen kokeiden aloittamista. Jäätelöpuikkona oli ekstruudattu vaniljajäätelöpuikko, jonka lämpötila oli kastettaessa –15 °C.

Esikokeissa käytettiin kahdeksaa erilaista kuorrutetta. Muuttuvina tekijöinä kuorrutteissa olivat rasvan määrä, rasvakoostumus ja lesitiinin määrä. Kuorrutteiden rasvan määrä, rasvakoostumus ja lesitiinin määrä on esitetty taulukossa 2.

Taulukko2. Laboratorio-olosuhteissa valmistetut aitosuklaakuorrute-esikoenäytteet.

Näyte	Rasvan määrä (%)	Rasvakoostumus	Lesitiinin määrä (%)
1	43	kaakaovoi, maitorasva, cbe-rasva	0,2
2	45	kaakaovoi, maitorasva, cbe-rasva	0,2
3	47	kaakaovoi, maitorasva, cbe-rasva	0,2
4	49	kaakaovoi, maitorasva, cbe-rasva	0,2
5	43	kaakaovoi, maitorasva, cbe-rasva	0,4
6	43	kaakaovoi, maitorasva, cbe-rasva	0,6
7	43	kaakaovoi, maitorasva, kookos 33	0,2
8	43	kaakaovoi, maitorasva, cbe-rasva	0,2

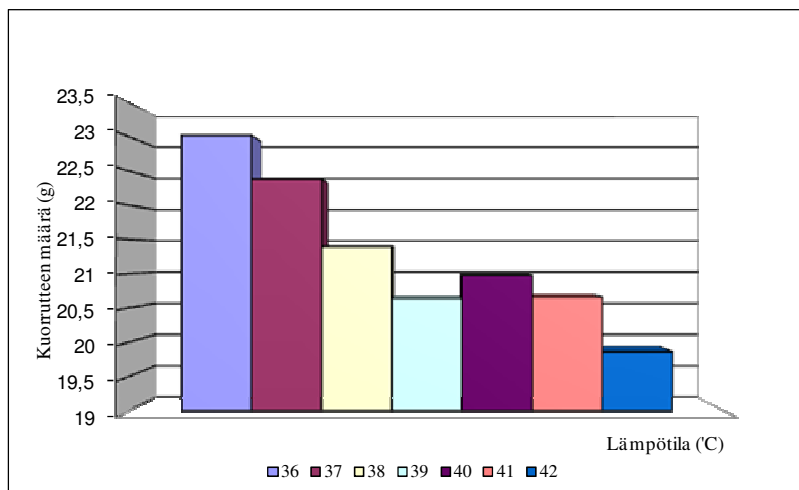
Näyte 1 oli nykyisin käytössä oleva kuorrute, joka toimi esikokeissa vertailunäytteenä kuorrutteille 2–6. Näytteissä 2–6 kuorrutteiden pohjana käytettiin nykyisen kuorrutteen massaa tuotantolinjalta. Näytteet 7 ja 8 valmistettiin alusta loppuun laboratoriossa. Näyte 1 sisälsi rasvaa 43 %, lesitiiniä 0,2 % ja rasvakoostumukseltaan kaakaovoita, maitorasvaa ja CBE-rasvaa. Näytteissä 2, 3 ja 4 rasvan määrä muuttui, mutta rasvakoostumus ja lesitiinin määrä pysyivät samana kuin näytteessä 1. Näytteet 5 ja 6 olivat kuorrutteita, joissa lesitiinin määrä muuttui, mutta rasvan määrä ja rasvakoostumus pysyivät samoina kuin näytteessä 1. Näyte 7 valmistettiin kokonaan laboratoriossa, koska sen rasvakoostumusta muutettiin verrattuna nykyisin käytössä olevaan kuorrutteeseen, eikä nykyisen kuorrutteen pohjamassaa tämän vuoksi voitu käyttää. Näyte 8 toimi vertailunäytteenä näytteelle 7, ja

myös se valmistettiin kokonaan laboratorio-olosuhteissa, jotta kuorutteen koostumus kokonaisuudessaan olisi verrannollinen laboratoriossa valmistetun näytteen 7 kanssa. Näyte 7 sisälsi rasvaa 43 % ja lesitiiniä 0,2 %, kuten sen vertailunäytteenä toiminut näyte 8, mutta rasvakoostumukseltaan nämä näytteet erosivat siten, että näytteessä 7 CBE-rasva korvattiin kookosrasvalla.

Kastokokeissa ekstruudattuja jäätelöpuikkoja temperoitiin vähintään tunnin ajan -20°C :n lämpötilassa. Kukin puikko koodattiin ja punnittiin. Punnittuja ja temperoituja puikkoja kastettiin kuhunkin suklaakuorrutenäytteeseen. Ennen kaston aloittamista kuorrutenäyte sekoitettiin huolellisesti ja temperoitiin haluttuun lämpötilaan. Kaston jälkeen jäätelöpuikkoja pidettiin ilmassa, kunnes kuorrute jähmettyi eli suklaata ei enää valunut puikon päältä. Kuorutteen jähmettymisen jälkeen puikot punnittiin. Tämän jälkeen puikot laitettiin -20°C :seen pakastimeen. Kastoja tehtiin 5 kpl/kuorrutenäyte ja punnitustulosten keskiarvo laskettiin.

Esikokeessa 1 kuorutteiden lämpötilaa nostettiin aste kerrallaan 36°C :sta 42°C :seen. Lämpötilat valittiin tuotantolinjalta kerätyn tiedon perusteella. Punnittuja ja temperoituja jäätelöpuikkoja kastettiin näytteeseen 1 eri lämpötiloissa ($36, 37, 38, 39, 40, 41$ ja 42°C) ja näiden tulosten perusteella valittiin varsinaisten kastokokeissa käytettävät 3 eri kuorutteen lämpötilaa.

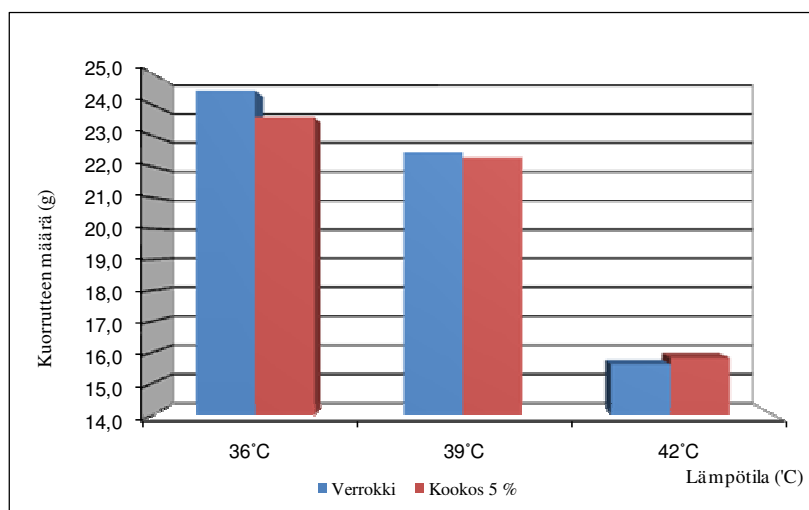
Kuvassa 4 on esitetty lämpötilan vaikutus kuorutteen määrään ekstruudatun jäätelöpuikon päällä. Lämpötilan noustessa kuorutteen määrä jäätelöpuikon päällä pieneni lukuunottamatta lämpötiloja 40 ja 41°C . Lämpötilassa 40°C kuorutteen määrä oli poikkeuksellisesti suurempi kuin 39°C :ssa. Kuorutteen määrä oli sama lämpötiloissa 41 ja 39°C , mutta kuorutteen määrä pieneni taas huomattavasti lämpötilasta 39°C lämpötilaan 42°C . Lämpötilan nousu 36°C :sta 42°C :seen pienensi kuorutteen määrää jäätelöpuikon päällä yli 14 %. Lämpötila siis vaikutti olennaisesti kuorutteen määrään jäätelöpuikon päällä. Koska koko lämpötilaväli haluttiin pitää tutkimuksessa mukana jatkossa, valittiin varsinaisiin kokeisiin lämpötilat $36, 39$ ja 42°C .



Kuva 4. Kuorutteen lämpötilan vaikutus kuorutteen määrään jäätelöpuikon päällä (esikoe 1). Kuorutteen määrä on 5 puikon keskiarvotulos.

Esikokeessa 2 temperoituja jäätelöpuikkoja kastettiin näytteisiin 7 ja 8. Lämpötiloiksi valittiin esikokeen 1 perusteella 36, 39 ja 42 °C. Esikokeessa 2 tutkittiin, miten kookosrasvaa sisältävä näyte 7 erosi vertailunäytteestä 8 eli vaikuttiko CBE-rasvan korvaaminen kookosrasvaseoksella kuorutteen määrään jäätelöpuikon päällä. Näiden tulosten perusteella valittiin kuorutteen rasvakoostumus varsinaisiin kokeisiin.

Kuvassa 5 on esitetty kookosrasvan vaikutus kuorutteen määrään lämpötiloissa 36, 39 ja 42 °C. Kookosrasva pienensi vain vähän kuorutteen määrää jäätelöpuikon päällä lämpötiloissa 36 ja 39 °C. Lämpötilan ollessa 42 °C vaikutus oli päinvastainen, ja kookosrasvaa sisältäneen kuorutteen määrä puikon päällä oli suurempi kuin CBE-rasvaa sisältäneellä näytteellä.

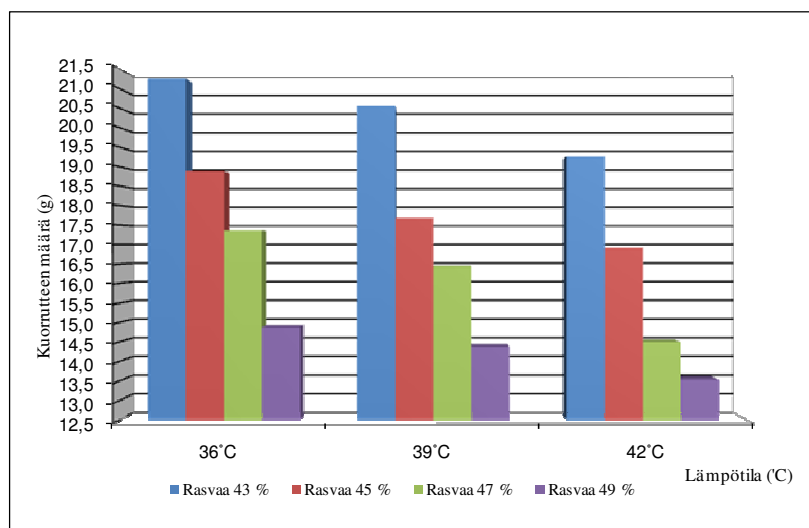


Kuva 5. Kookosrasvan ja lämpötilan vaikutus kuorutteen määrään jäätelöpuikon päällä (esikoe 2).

Kookosrasvan ei todettu pienentävän kuorrutteen määrää jäätelöpuikon päällä juuri yhtään, joten kookosrasvaa sisältävää näytettä ei otettu mukaan varsinaiseen tutkimukseen. Näin varsinaisten kokeiden kuorrutenäytteet sisälsivät kaakaovoita, maitorasvaa ja CBE-rasvaa.

Esikokeessa 3 jäätelöpuikkoja kastettiin rasvapitoisuudeltaan erilaisiin kuorrutteisiin 1, 2, 3 ja 4 kolmessa esikokeen 1 perusteella valitussa lämpötilassa ja tutkittiin, miten rasvan määrä kuorrutteessa vaikuttaa kuorrutteen massaan jäätelöpuikon päällä. Näiden tulosten perusteella varsinaisiin kokeisiin valittiin 3 rasvapitoisuutta.

Kuvassa 6 on esitetty kuorrutteen rasvapitoisuuden vaikutus kuorrutteen määrään jäätelöpuikon päällä lämpötiloissa 36, 39 ja 42 °C. Rasvapitoisuuden lisäys pienensi kuorrutteen määrää jäätelöpuikon päällä kuorrutteen lämpötilasta riippumatta 30 %.



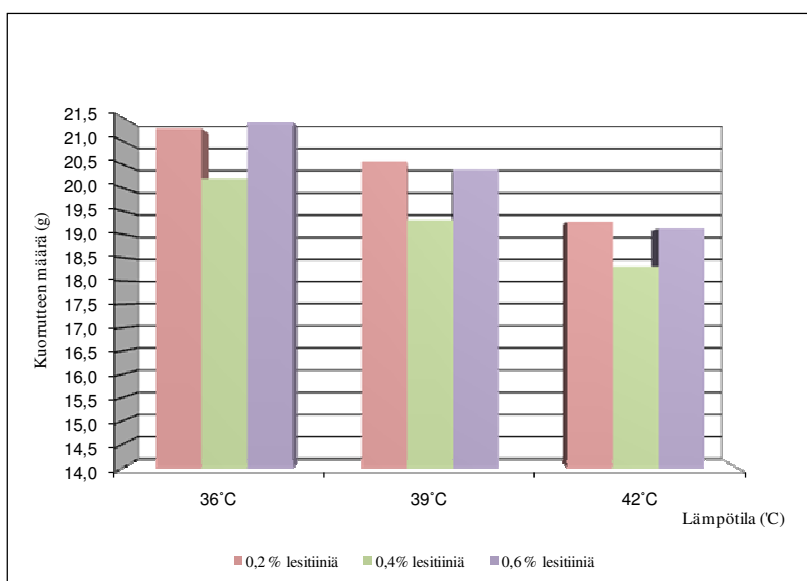
Kuva 6. Kuorrutteen rasvapitoisuuden ja lämpötilan vaikutus jäätelöpuikon päällä olevaan kuorrutteen määrään (esikoe 3).

Rasvapitoisuus vaikutti merkittävästi kuorrutteen määrään. Varsinaisessa tutkimuksessa vertailukohtana haluttiin pitää nykyisin käytössä oleva kuorrute, joka sisälsi rasvaa 43 %. Tämän lisäksi varsinaisiin kokeisiin valittiin 45 ja 47 % rasvaa sisältävät kuorrutteet. Rasvaa 49 % sisältävän kuorrutteen arveltiin olevan jo liian rasvainen ja kallis kuorrute, joten se jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Esikokeessa 4 jäätelöpuikkoja kastettiin esikokeen 1 perusteella valituissa kolmessa eri lämpötilassa kuorrutteisiin 1, 5 ja 6, joissa oli eri lesitiinipitoisuudet. Esikokeessa tutkittiin, miten lesitiinin määrä vaikutti kuorrutteen määrään jäätelöpuikon päällä. Näiden tulosten

perusteella ja kirjallisuuteen nojautuen varsinaisiin kokeisiin valittiin kolme lesitiinipitoisuutta.

Lesitiinin lisäys 0,2 %:sta 0,4 %:iin pienensi kuorrutteen määrää jäätelöpuikon päällä lämpötilasta riippumatta n. 5 % (kuva 7). Kun lesitiinipitoisuus oli 0,6 %, kuorrutteen määrä jäätelöpuikon päällä suureni verrattuna 0,4 % lesitiiniä sisältäneen kuorrutteen määrään. Lesitiiniä 0,6 % sisältäneen kuorrutteen määrä jäätelöpuikon päällä oli lähes sama kuin, jos kuorrutteessa käytettiin 0,2 % lesitiiniä lämpötilasta huolimatta.



Kuva 7. Kuorrutteen lesitiinipitoisuuden vaikutus kuorrutteen määrään jäätelöpuikon päällä (esikoe 4).

Lesitiinin määrä vaikutti 0,4 %:iin saakka kuorrutteen määrää pienentävästi. Koska 0,6 % lesitiiniä sisältävä kuorrute vaikutti kuorrutteen määrää suurentavasti, päätettiin 0,6 % sisältävä näyte jättää pois varsinaisesta tutkimuksesta. Vertailukohtana haluttiin edelleen pitää nykyisin käytössä oleva kuorrute, joka sisältää 0,2 % lesitiiniä, joten varsinaisen tutkimuksen näytteiden lesitiinipitoisuuksiksi valittiin 0,2; 0,3 ja 0,4 %.

3.2.2 Koeasetelma

Koeasetelma tehtiin Box-Behnken-mallin mukaisesti. Selittäviä muuttujia kokeessa oli kolme X_1 = rasvapitoisuus, X_2 = lesitiinipitoisuus ja X_3 = lämpötila. Kullakin selittävällä

muuttujalla oli perustaso 0 ja perustason molemmin puolin yhtä suurin välein tasot –1 ja 1 (taulukko 3).

Taulukko 3. Kokeen selittävät muuttujat ja niiden tasot.

Selittävä muuttuja		–1	0	1
X1	Rasvan määrä (%)	43	45	47
X2	Lesitiinin määrä (%)	0,2	0,3	0,4
X3	Lämpötila (°C)	36	39	42

Box-Behnken-koeasetelman mukaisesti tehtiin 15 koetta, jotka ovat esitetty taulukossa 4. Taulukossa 4 esitettyä koejärjestystä muutettiin, jotta kutakin kuorrutetta temperoitaisiin vain kerran kastokokeita tehdessä. Näin kuorrutteiden lämpötilahistoria olisi samanlainen ja tulokset olisivat vertailukelpoisia. Koejärjestystä muokattiin myös niin, että koostumukseltaan samanlaisia tai samassa lämpötilassa tehtäviä kokeita tehtiin peräkkäin, jotta kastokokeiden teko olisi mahdollisimman sujuvaa. Kokeiden järjestys oli 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 1, 9, 10, 13, 14, 15.

Taulukko 4. Varsinaisen tutkimuksen koeasetelma, jossa X1 on rasvan määrä (%), X2 lesitiinin määrä (%) ja X3 kuorrutteen lämpötila (°C).

Koe	X1	X2	X3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	-1	0	-1
4	-1	0	1
5	0	-1	-1
6	0	-1	1
7	0	1	-1
8	0	1	1
9	1	-1	0
10	1	1	0
11	1	0	-1
12	1	0	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

3.2.3 Menetelmät

Kuorrutenäytteiden ja jäätelöpuikkojen esivalmistelut tehtiin kuten esikokeissakin. Jäätelöpuikot kastettiin kuorrutteisiin, joiden lämpötilat olivat koeasetelman mukaisia. Kastokokeissa mitattiin kuorrutteen jähmettymisaikaa ja jäätelöpuikon päälle jäävän kuorrutteen määrää. Jähmettymisajan mittaus aloitettiin heti, kun puikko nostettiin kuorrutealtaasta ja mittaus päätettiin, kun kuorrutteen valuminen puikon päältä loppui. Jäätelöpuikko punnittiin ennen kuorrutteeseen kastaamista ja kuorrutteeseen kaston jälkeen. Kuorrutteen määrä saatiin näiden painojen erotuksesta. Jähmettymisaikaa ja kuorrutteen määrää mitattaessa tehtiin kolme rinnakkaista näytettä ja tulokset ilmoitettiin niiden keskiarvona.

Kuorrutteiden Casson-viskositeetit ja -myötöjännitykset määritettiin Anton Par Rheolab QC -viskometrillä (Itävalta) IOCCC (2000) -standardimenetelmää soveltaen. Laite valittiin viskositeetin ja myötöjännityksen mittaukseen, koska kuorrutteen lämpötila saatiin sen avulla säädetyksi halutunlaiseksi. IOCCC (2000) -standardimenetelmässä viskositeetin ja myötöjännityksen mittaus tehdään 40 °C:n lämpötilassa. Tässä tutkimuksessa Casson-viskositeetit ja -myötöjännitykset määritettiin koeasetelman mukaisissa lämpötiloissa (taulukko 2), koska haluttiin tutkia, miten lämpötila vaikuttaa kuorrutteen viskositeettiin ja myötöjännitykseen ja antavatko viskositeetti ja myötöjännitys kuvaa kuorrutteen massasta puikon päällä. Koska tutkimuksissa edelleen yleisimmin käytetään Casson-mallia standardin suosittelman Winhab-mallin sijasta, käytettiin tässä tutkimuksessa viskositeetin ja myötöjännityksen mallittamisessa Casson-mallia (yhtälö 3). Viskositeetit ja myötöjännitykset ilmoitettiin kahden mittauksen keskiarvotuloksena.

Selittävien muuttujien ja vastemuuttujien välisiä vaikutuksia tutkittiin vastepintamenetelmällä. Vastepintamenetelmä on tilastollisten ja matemaattisten menetelmien yhdistelmä, jota käytetään prosessien kehittämisessä ja optimoinnissa (Myers ja Montgomery 2002). Vastepintamenetelmää on käytetty elintarviketuotannossa mm. maidon reseptiikan optimointiin (Castro ym. 2004), fermentoidun maidon ominaisuuksien ja prosessimuuttujien tutkimiseen (Kristo ym. 2003) ja suklaamaidon aistinvaraisten ominaisuuksien optimointiin (Hough ym. 1997). Vastepintamenetelmätulokset ja regressioanalyysi tehtiin Matlab-ohjelman avulla. Laskennassa käytettiin muuttujien oikeita arvoja. Mallin selitysasteen ollessa merkitsevä tutkittiin, mitkä selittävät muuttujat vaikuttivat vastemuuttujaan merkitsevästi $\leq 5\%$:n ($p \leq 0,05$) riskitasolla. Vastemuuttujina olivat kuorrutteen jähmettymisaika, kuorrutteen määrä, kuorrutteen Casson-viskositeetti ja

-myötöraja. Vastemuuttujien väliset korrelaatiokertoimet laskettiin SPSS for Windows 15.0-ohjelmalla. Korrelaatioita tutkittaessa käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa ja sen merkitsevyyttä $\leq 5\%$:n ($p \leq 0,05$) riskitasolla.

3.3 Tulokset

3.3.1 Kuorrutteen määrä

Koesarjan mukaan tehdyissä jäätelöpuikkojen kastokokeissa suurin määrä kuorrutetta jäi jäätelöpuikon päälle näytteellä, joka sisälsi 43 % rasvaa ja 0,2 % lesitiiniä kastolämpötilassa 39 °C (koe 1, taulukko 5). Kyseinen kuorrute oli tutkimuksen vertailunäyte. Pienin määrä kuorrutetta jäi puikon päälle rasvaa 47 % ja lesitiiniä 0,3 % sisältäneellä näytteellä lämpötilassa 42 °C (koe 12, taulukko 5). Kuorrutteiden määrän vaihtelu oli pienimmän ja suurimman määrän välillä 5,3 g.

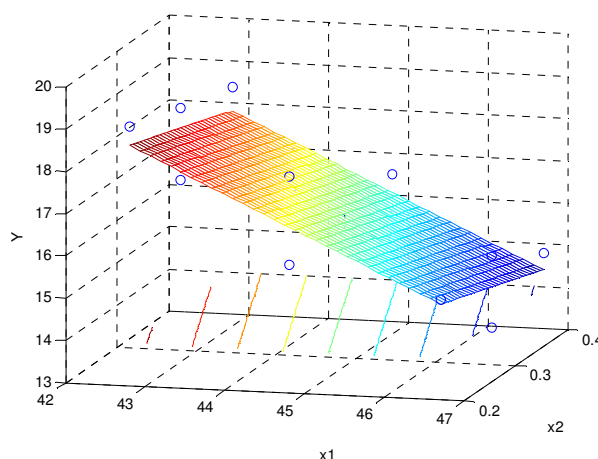
Taulukko 5. Kaikkien kokeiden mittaustulokset. Kuorrutteen massa ja jähmettymisaikatulokset ovat kolmen kaston keskiarvotuloksia. Viskositeetti ja myörtöjännitystulokset ovat kahden mittauksen keskiarvotuloksia. Esillä ovat myös mittaustulosten keskihajonnat.

Koe	Rasva (%)	Lesitiini (%)	Lämpötila (°C)	Kuorrutteen massa (g)	Jähmettymisaika (s)	Viskositeetti (Pa s)	Myörtöjännitys (Pa)
1	43	0,2	39	19,1 ± 0,2	15,7 ± 0,6	0,583 ± 0,006	1,891 ± 0,009
2	43	0,4	39	18,4 ± 0,4	13,3 ± 0,6	0,513 ± 0,001	1,146 ± 0,009
3	43	0,3	36	18,7 ± 0,9	13 ± 0	0,618 ± 0,015	1,182 ± 0,127
4	43	0,3	42	17 ± 0,3	14,7 ± 0,6	0,472 ± 0,005	1,127 ± 0,030
5	45	0,2	36	18,1 ± 0,6	12,7 ± 0,6	0,502 ± 0,016	1,19 ± 0,095
6	45	0,2	42	16 ± 0,2	13,3 ± 0,6	0,379 ± 0,000	1,277 ± 0,006
7	45	0,4	36	16,5 ± 0,4	11,7 ± 0,6	0,468 ± 0,013	0,906 ± 0,088
8	45	0,4	42	15,5 ± 0,1	13 ± 0	0,356 ± 0,010	0,85 ± 0,037
9	47	0,2	39	15,4 ± 0,4	11,7 ± 0,6	0,346 ± 0,001	0,891 ± 0,022
10	47	0,4	39	14,8 ± 0,6	11,7 ± 0,6	0,352 ± 0,005	0,525 ± 0,028
11	47	0,3	36	15,6 ± 0,5	10 ± 0	0,39 ± 0,004	0,652 ± 0,040
12	47	0,3	42	13,9 ± 0,2	11 ± 0	0,301 ± 0,004	0,605 ± 0,033
13	45	0,3	39	16,1 ± 0,2	12,7 ± 0,6	0,411 ± 0,011	0,963 ± 0,086
14	45	0,3	39	16,3 ± 0,3	12,7 ± 0,6	0,419 ± 0,009	0,886 ± 0,074
15	45	0,3	39	16,3 ± 0,1	13 ± 0,6	0,438 ± 0,005	0,753 ± 0,019

Kun vastepintamallin avulla tutkittiin, miten lesitiinin määrä, rasvan määrä ja kuorrutteen lämpötila vaikuttavat jäätelöpuikon päälle jäävän kuorrutteen määrään, oli regressioanalyysillä saadun mallin selitysaste 95,19 %. Suuri osa kuorrutteen määrän vaihtelusta selittyi mallilla. Kuorrutteen määrään vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi kaikki kolme selittävää muuttujaa: rasvan määrä ($p = 0,000$), lesitiinin määrä ($p = 0,007$) ja

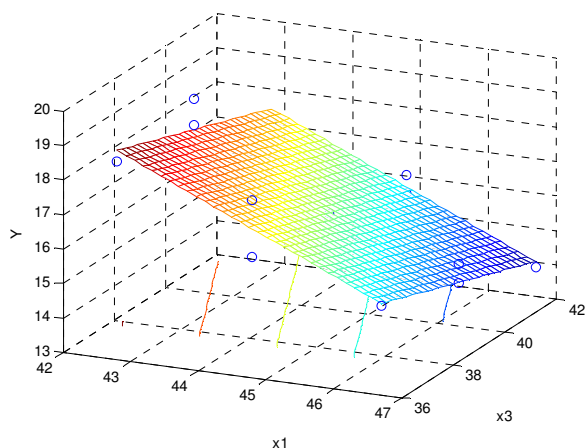
lämpötila ($p = 0,000$). Kun malliin otettiin mukaan yhdysvaikutukset, ei mikään muuttuja eikä muuttujien välinen yhdysvaikutus vaikuttanut kuorutteen määrään tilastollisesti merkitsevästi.

Kuorutteen määrä pieneni, kun rasvan ja lesitiinin määrää lisäntyi kuorutteessa (kuva 9). Mallin mukaan pienin kuorutteen määrä saavutettiin, kun kuorutteessa oli 0,4 % lesitiiniä ja 47 % rasvaa. Suurin määrä kuorutetta oli, kun kuorutteessa oli rasvaa 43 % ja lesitiiniä 0,2 %.



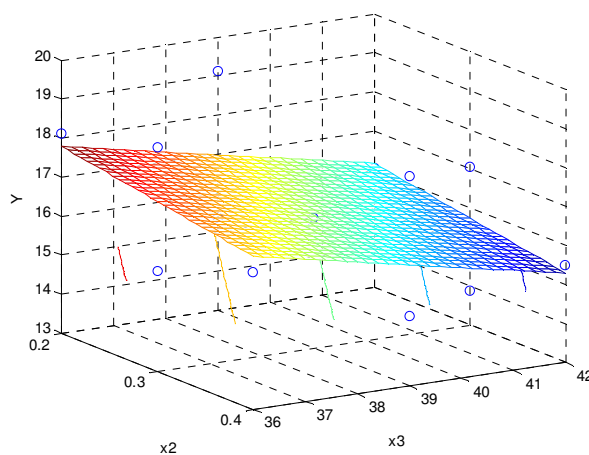
Kuva 9. Vastepintakuva kuorutteen rasvan määrän (%) (X1) ja lesitiinin määrän (%) (X2) vaikutuksesta kuorutteen massa (g) (Y).

Rasvan määrän lisääntyessä ja kuorutteen lämpötilan noustessa kuorutteen määrä pieneni (kuva 10). Mallin mukaan pienin kuorutteen määrä saavutettiin, kun rasvan määrä oli 47 % ja lämpötila 42 °C. Kuorutteen määrä oli suurin, kun kuorutteessa oli rasvaa 43 % ja lämpötila oli 36 °C.



Kuva 10. Kuorrutteen määrä (g) (Y) suhteessa rasvan määrään (%) (X1) ja lämpötilaan (°C) (X3).

Myös lesitiinin määrän ja lämpötilan lisääntyessä kuorrutteen määrä pieneni (kuva 11). Mallin mukaan pienin kuorrutteen määrä saavutettiin, kun lesitiinin määrä oli 0,4 % ja kuorrutteen lämpötila 42 °C. Suurin kuorrutteen määrä oli, kun lesitiiniä oli 0,2 % ja lämpötila oli 36 °C.



Kuva 11. Kuorrutteen määrä (g) (Y) lesitiinin määrän (%) (X2) ja lämpötilan (°C) (X3) funktiona.

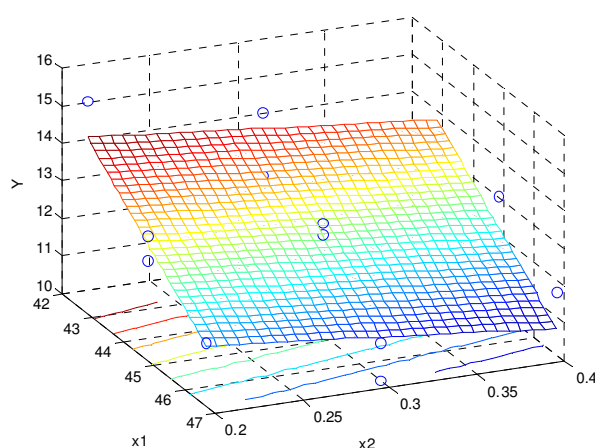
3.3.2 Kuorrutteen jähmettymisaika

Koesarjan mukaisissa kastokokeissa vaihteluväli pienimmän jähmettymisaajan saaneen kuorrutteen ja suurimman jähmettymisaajan saaneen kuorrutteen oli 5,7 sekuntia. Pienin jähmettymisaika oli kokeessa 11 kuorrutteella, joka sisälsi rasvaa 47 % ja lesitiiniä 0,3 %

lämpötilassa 36 °C (taulukko 5). Suurin jähmettymisaika oli kokeessa 1 43 % rasvaa ja 0,2 % lesitiiniä sisältäneellä kuorrutteella 39 °C:n lämpötilassa.

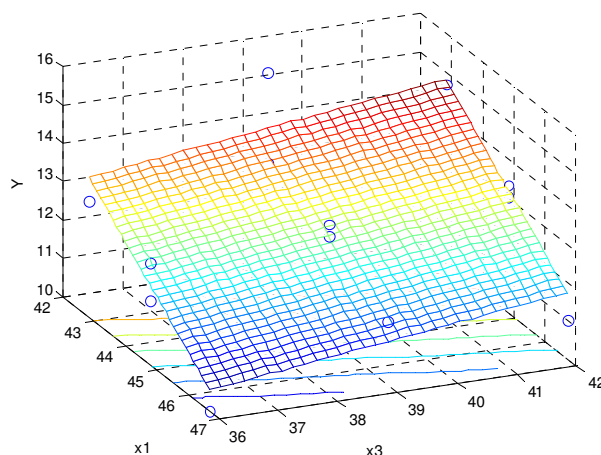
Tutkittaessa kuorrutteen jähmettymisajan päävaikutuksia regressioanalyysin avulla mallin selitysaste oli 86,2 %. Rasvan määrä ($p = 0,000$), lesitiinin määrä ($p = 0,048$) ja lämpötila ($p = 0,016$) vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi kuorrutteen jähmettymisaikaan. Merkitseviä muuttujien välisiä yhdysvaikutuksia ei ollut.

Jähmettymisaika lyheni sitä mukaa, kun rasvan ja lesitiinin määrää kuorrutteessa lisääntyi (kuva 12). Mallin mukaan jähmettymisaika oli lyhin, kun rasvaa oli kuorrutteessa 47 % ja lesitiiniä 0,4 %. Jähmettymisaika oli pisin, kun kuorrutteessa oli 43 % rasvaa ja 0,2 % lesitiiniä.



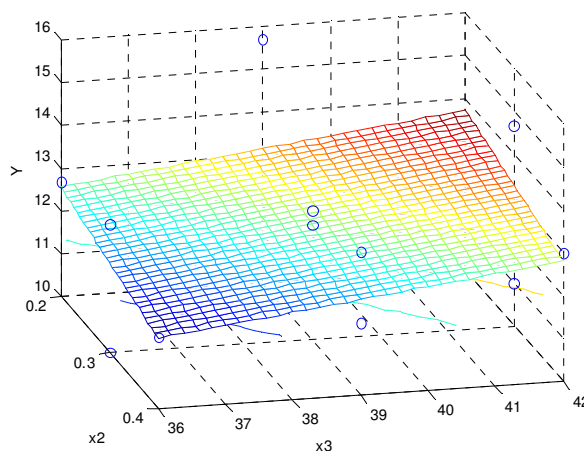
Kuva 13. Kuorrutteen jähmettymisaika (s) (Y) rasvan määrän (%) (X1) ja lesitiinin määrän (%) (X2) funktiona.

Rasvan määrän lisääminen lyhensi jähmettymisaikaa. Mitä matalampi lämpötila kuorrutteella oli, sitä lyhyempi oli jähmettymisaika (kuva 14). Lyhin jähmettymisaika oli kuorrutteella, jossa oli 47 % rasvaa 36 °C:n lämpötilassa. Pisin jähmettymisaika mallin mukaan oli, kun kuorrutteessa oli rasvaa 43 % lämpötilassa 42 °C.



Kuva 14. Kuorrutteen jähmettymisaika (s) (Y) rasvan määrän (%) (X1) ja lämpötilan (°C) (X3) funktiona.

Lesitiinin määrää lisättäessä kuorrutteen jähmettymisaika lyheni (kuva 15). Lämpötilan lisääminen taas pidensi jähmettymisaikaa. Mallin mukaan lyhin jähmettymisaika oli, kun lesitiinin määrä oli 0,4 % ja lämpötila 36 °C. Jähmettymisaika oli pisin, kun kuorrutteessa oli 0,2 % lesitiiniä lämpötilassa 42 °C.



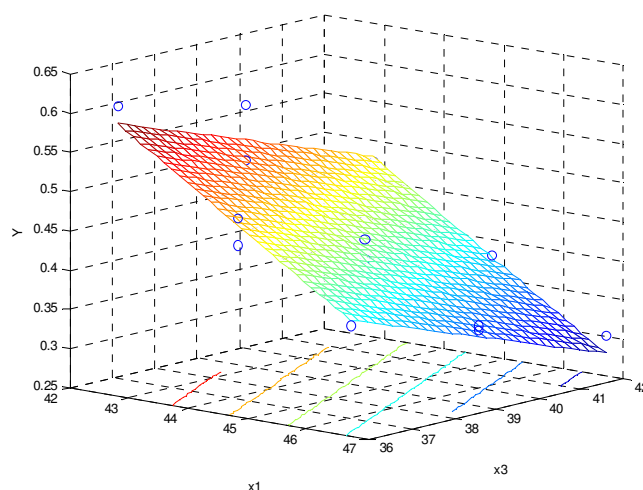
Kuva 15. Lesitiinin määrän (%) (X2) ja lämpötilan (°C) (X3) vaikutus kuorrutteen jähmettymisaikaan (s) (Y).

3.3.3 Kuorrutteen Casson-viskositeetti

Viskositeettimittauksissa pienin viskositeetti 0,302 Pa s oli kokeessa 12 (taulukko 5). Kyseinen kuorrute sisälsi 47 % rasvaa ja 0,3 % lesitiiniä. Mittaus tehtiin 39 °C:n lämpötilassa. Suurin viskositeetti 0,619 Pa s oli kokeessa 3, jossa kuorrute sisälsi 43 % rasvaa ja 0,3 % lesitiiniä ja kuorrutteen lämpötila oli 36 °C.

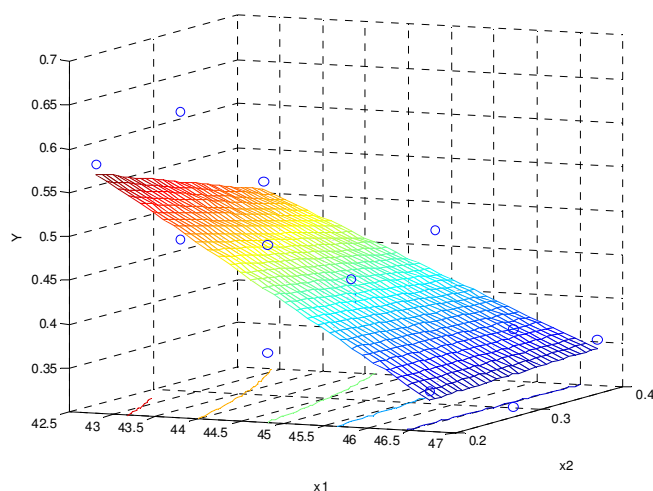
Tutkittaessa kuorrutteen viskositeetteja vastepintamenetelmän avulla päävaikutusten selitysaste oli 96,3 %. Rasvan määrä ($p = 0,000$) ja lämpötila ($p = 0,000$) vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi Casson-viskositeettiin. Lesitiinin määrän p -arvo oli 0,0508, jolloin tulos oli tilastollisesti lähes merkitsevä. Kun malliin otettiin mukaan yhdysvaikutukset, oli selitysaste 98,3 %, ja yksittäisistä muuttujista rasvan määrän ($p = 0,009$) ja lesitiinin määrän ($p = 0,041$) vaikutus oli merkitsevä. Muuttujien välisistä yhdysvaikutuksista rasvan määrän ja lesitiinin määrän yhdysvaikutus ($p = 0,037$) oli merkitsevä.

Kun rasvan määrää ja lämpötilaa nostettiin, viskositeetti pieneni (kuva 17). Viskositeetti oli suurimmillaan, kun kuorrutteessa oli rasvaa 43 % ja kuorrutteen lämpötila 36 °C. Pienimmillään viskositeetti oli, kun kuorrutteessa oli rasvaa 47 % ja lämpötila 42 °C.



Kuva 17. Kuorrutteen Casson-viskositeetti (Pa s) (Y) rasvan määrän (%) (X1) ja lämpötilan (°C) (X3) suhteen.

Rasvan määrää lisättäessä viskositeetti pieneni (kuva 18). Lesitiinin määrä vaikutti viskositeettiin pienissä rasvapitoisuuksissa, mutta ei suurissa. Mallin mukaan pienin viskositeetti oli, kun rasvan määrä oli 47 % ja lesitiinin määrä 0,2 %. Suurin viskositeetti vastaavasti oli rasvan määrän ollessa 43 % ja lesitiinin määrän 0,2 %.

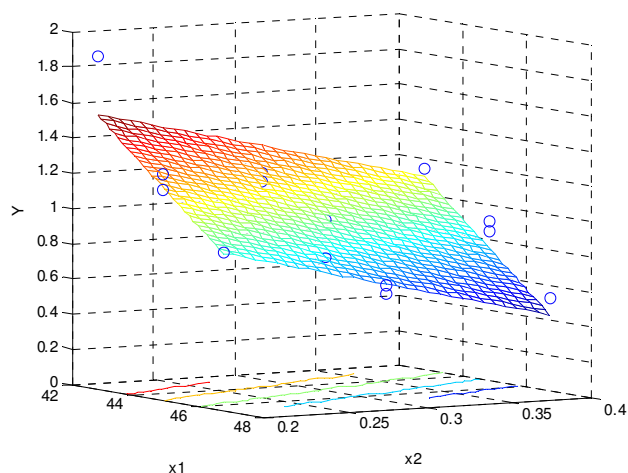


Kuva 18. Casson-viskositeetti (Pa s) (Y) rasvan määrän (%) (X1) ja lesitiinin määrän (%) (X2) funktiona.

3.3.4 Kuorutteen myötöjännitys

Koesarjan mukaisissa mittauksissa pienin myötöjännitys (0,526 Pa) oli kokeen 10 kuorutteella 39 °C:n lämpötilassa. Kyseinen kuorrute sisälsi rasvaa 47 % ja 0,4 % lesitiiniä. Suurin myötöjännitys 1,892 Pa oli kokeen 1 vertailunäytteenä toimineella kuorutteella, joka sisälsi rasvaa 43 % ja lesitiiniä 0,2 %. Mittaus suoritettiin 39 °C:n lämpötilassa.

Kuorutteen myötöjännitykseen vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi rasvan määrä ($p = 0,000$) ja lesitiinin määrä ($p = 0,002$), kun tarkasteltiin päävaikutuksia. Selitysaste mallille oli tällöin 82 %. Merkitseviä muuttujien välisiä yhdysvaikutuksia ei ollut. Rasvan määrän ja lesitiinin määrän lisääntyessä myötöjännitys pieneni (kuva 20). Suurin myötöjännitys oli mallin mukaan, kun rasvan määrä oli 43 % ja lesitiinin määrä 0,2 %. Pienin myötöjännitys kuorutteella oli, kun rasvapitoisuus oli 47 % ja lesitiinin määrä 0,4 %.



Kuva 20. Rasvan määrän (%) (X1) ja lesitiinin määrän (%) (X2) vaikutus myötöjännitykseen (Pa) (Y).

3.3.5 Tulosten vertailua

Taulukossa 6 on yhteenveto vastepintamallinnuksen tuloksista ja tulosten merkitsevyydestä. Rasvan määrä vaikutti tilastollisesti merkitsevästi kaikkiin vastemuuttujiin. Kun rasvapitoisuus nousi, kuorutteen määrä kasvoi ja jähmettymisaika, viskositeetti ja myötöjännitys kasvoivat. Lesitiinin määrä vaikutti tilastollisesti merkitsevästi kuorutteen määrään, jähmettymisaikaan ja myötöjännitykseen. Lesitiinipitoisuuden kasvaessa kuorutteen määrä, jähmettymisaika ja myötöjännitys pienenevät. Lämpötilan vaikutus oli tilastollisesti merkitsevää kuorutteen määrään, jähmettymisaikaan ja viskositeettiin. Kun lämpötila nousi, kuorutteen määrä pieneni ja viskositeetti laski mutta jähmettymisaika piteni. Lesitiinin määrän vaikutus viskositeettiin ja lämpötilan vaikutus myötöjännitykseen eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Taulukko 6. Yhteenveto kuorutteen ominaisuuksien vaikutuksista ja vaikutusten suunnista vastemuuttujiin sekä niiden merkitsevyyden asteet (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$).

	Kuorutteen määrä	Jähmettymisaika	Viskositeetti	Myötöjännitys
Rasvapitoisuus	kun rasva % ↑ ***	kun rasva % ↑ ***	kun rasva % ↑ ***	kun rasva % ↑ ***
	kuorutteen määrä ↓	jähmettymisaika ↓	viskositeetti ↓	myötöjännitys ↓
Lesitiinipitoisuus	kun lesitiini % ↑ **	kun lesitiini % ↑ *		kun lesitiini % ↑ **
	kuorutteen määrä ↓	jähmettymisaika ↓		myötöjännitys ↓
Lämpötila	kun lämpötila ↑ ***	kun lämpötila ↓ *	kun lämpötila ↑ ***	
	kuorutteen määrä ↓	jähmettymisaika ↓	viskositeetti ↓	

Kuorrutteen määrä korreloi positiivisesti jähmettymisaian, viskositeetin ja myötöjännityksen kanssa (taulukko 7). Tämä tarkoittaa sitä, että mitä pidempi oli jähmettymisaika ja mitä suurempia olivat viskositeetti ja myötöjännitys, sitä suurempi oli myös kuorrutteen määrä.

Jähmettymisaika korreloi positiivisesti viskositeetin ($p = 0,962$) ja myötöjännityksen ($p = 0,814$) kanssa (taulukko 7). Tällöin viskositeetin ja myötöjännityksen kasvaessa myös jähmettymisaika piteni.

Taulukko 7. Pearsonin korrelaatiokertoimet 5 %:n ($p \leq 0,05$) riskitasolla.

	Kuorrutteen määrä	Jähmettymisaika	Viskositeetti	Myötöjännitys
Kuorrutteen määrä		0,681	0,962	0,814
Jähmettymisaika			0,600	0,814

3.4 Pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten suklaakuorrutteen koostumuksen muuttaminen vaikutti jäätelöpuikon päälle jäävän kuorrutteen määrään. Erityisen kiinnostuneita oltiin siitä, miten kuorrutteen määrää saataisiin pienennettyä nykyisestään. Viskositeetin ja myötöjännityksen avulla oli tarkoitus tarkastella, vaikuttaako niiden muutokset kuorrutteen määrään jäätelöpuikon päällä ja voiko viskositeetin ja myötöjännityksen avulla arvioida suklaakuorrutteen laadun vaihteluja kuorruute-erien välillä. Vastepintamallien avulla oli tavoitteena tutkia, miten suklaakuorrutteen koostumusta ja lämpötilaa muuttamalla voidaan vaikuttaa jäätelöpuikon päälle jäävän kuorrutteen määrään. Tutkimus oli osa suurempaa projektia, jonka tarkoituksena oli parantaa suklaakuorrutteiden käsiteltävyyttä koko tuotantoketjun aikana. Erityisesti kuorrutteiden lämpötilanhallintaan ja niiden käsittelyssä käytettävien laitteiden toimivuutta haluttiin parantaa tasaisemman tuotantolaadun takaamiseksi ja hävikin pienentämiseksi.

Tutkimuksen perusteella kuorrutteen rasvapitoisuuden lisäys vaikutti kuorrutteen määrään sitä pienentävästi. Rasvapitoisuuden lisäys myös laskee viskositeettia ja myötöjännitystä. Kirjallisuuden perusteella rasvan määrän lisäys saa suklaan virtaamaan paremmin (Beckett 2008) ja vaikuttaa näin viskositeettiin ja myötöjännitykseen niitä pienentävästi (Chevalley

1999; Rector 2000). Tutkimuksen tulokset rasvapitoisuuden nostamisen vaikutuksista viskositeettiin ja myötöjännitykseen ovat siis yhteneväisiä kirjallisuuden kanssa.

Tässä tutkimuksessa lesitiinipitoisuuden kasvaessa kuorutteen määrä jäätelöpuikon päällä pieneni. Wichchukit ym. (2005) saivat tutkimuksessaan myös tuloksen, jossa emulgointiaineen lisääminen pienensi kuorutteen määrää. Heidän tutkimuksessaan emulgointiainepitoisuuden noustessa 0 %:sta 0,3 %:iin kuorutteen määrä pieneni 60 % Tämän tutkimuksen esikokeissa käytettäessä 0,2; 0,4 ja 0,6 % lesitiiniä sisältäneitä kuorutteita, kuorutteen määrä pieneni 0,2 %:sta 0,4 %:iin, mutta 0,6 % sisältävän kuorutteen määrä oli jo suurempi kuin 0,4 % sisältäneen kuorutteen määrä. Vastaavanlaisen tuloksen tutkimuksessaan sai myös Karnjanolarn ja McCarthy (2006). Heidän tutkimuksessa kuorutteen määrä pieneni lesitiinipitoisuuden noustessa 0 %:sta 0,3 %:iin, mutta kun lesitiinin määrä edelleen nostettiin, ei kuorutteen määrä enää pienentynyt. Virtausominaisuuksista lesitiinin todettiin tässä tutkimuksessa vaikuttavan vain myötöjännitykseen. Lesitiinipitoisuuden noustessa myötöjännitys laski. Wichchukitin ym. (2005) tutkimuksessa emulgointiainepitoisuuden noustessa sekä myötöjännitys että viskositeetti laskivat.

Hogenbirkin (1988) mukaan suklaakuorutteen optimaalinen viskositeetti on alle 0,5 Pa s ja myötöjännitys 0,5–1 Pa, kun kuorutetaan jäätelöpuikkoja. Tässä tutkimuksessa viskositeetti oli alle 0,5 Pa s kokeissa 5–15. Myötöjännitysarvot olivat välillä 0,5–1 kokeissa 7–15 (taulukko 5). Tutkimuksen perusteella viskositeetti- ja myötöjännitysarvot eivät ole parhaat mahdolliset nykyisin käytössä olevalla kuorutteella (koe 1, taulukko 5). Tutkimustulosten perusteella näyttää siltä, että viskositeetin ja myötöjännityksen mittaamisella saadaan tietoa siitä, miten kukin kuorrute käyttäytyy kuorruteprosessissa. Kun rasvan määrää lisättiin, viskositeetti ja myötöjännitys laskivat ja myös kuorutteen määrä jäätelöpuikon päällä pieneni. Suklaakuorutteen viskositeetti ja myötöjännitys vaikuttivat kuorutteen määrään jäätelöpuikon päällä, sillä kuorutteen määrä korreloi positiivisesti viskositeetin ja myötöjännityksen kanssa.

Kastokokeiden tulosten perusteella pienin kuorutteen määrä oli kokeessa 12 (taulukko 5). Kokeen 12 kuorrute sisälsi 47 % rasvaa, 0,3 % lesitiiniä ja kuorutteen lämpötila oli 42 °C. Vastepintamallin perusteella kuorutteen määrä pieneni sitä mukaa, kun lesitiinin ja rasvan määrä kuorutteessa suureni. Kun kuorutteen määrää mallinnettiin lesitiinin ja rasvan määrän avulla, pienin kuorutteen määrä saavutettiin, kun kuorutteessa oli 0,4 % lesitiiniä ja 47 % rasvaa. Kun kuorutteen määrää mallinnettiin lämpötilan avulla, kuorutteen määrä pieneni lämpötilan noustessa. Tuloksista voidaan päätellä, että pienin kuorutteen määrä

saavutettaisiin, mikäli suklaakuorutteen lämpötila olisi 42 °C, lesitiinin määrä 0,4 % ja rasvan määrä 47 %, sillä kaikkien selittävien muuttujien kertoimet olivat negatiivisia (taulukko 8). Kuorutteen määrän pienentyminen lämpötilan noustessa on todettu myös aiemmin (Marshall 2003). Suurin määrä kuorutetta kastokokeissa oli kokeessa 1, jossa näytteenä oli nykyisin käytössä oleva kuorrute lämpötilassa 39 °C. Suklaakuorutteen koostumus ja lämpötilan vaihtelu vaikuttivat odotetusti jäätelöpuikon päälle jäävän kuorutteen määrään. Vaihtelemalla kuorutteen koostumusta ja lämpötilaa tutkimusasetelman mukaisesti saatiin eroa kuorutteen määrässä yli 5 g (27 %), joka on käytännössä todella suuri heitto ajatellen tasaista tuotantolaatua. Tuotantolinjalla tehty lämpötilaseuranta osoitti suklaakuorutteen lämpötilan vaihtelevan jopa 6 °C. Tästä tutkimuksesta saadut tulokset lämpötilan vaikutuksesta kuorutteen määrään osoittavat sen, että lämpötila tulisi saada hallintaan tuotantolinjalla, jotta kuorutteen määrää saadaan kontrolloitua paremmin. Tuotantolinjalla kuluu suklaata enemmän kuin tuotetietojen perusteella pitäisi. Lämpötilan kontrollointi uusien laitteiden avulla parantaisi tuotantolaatua ja vähentäisi tuotantolinjalla tapahtuvaa suklaan ylikulutusta pienentäen näin myös linjalla tapahtuvan hävikin muodostusta.

Kuorutteen jähmettymisaika otettiin tutkimukseen mukaan käytännöllisistä syistä. Tuotantolinjalla jähmettymisaika on yksi kriittisistä kuorutteen ominaisuuksista. Tuotantolinjalla kuorutteen pitää jähmettyä nopeasti, jotta se ei enää tuotteen pakkausvaiheessa olisi kostea ja sotkisi näin sekä jäätelöpuikon tikkua että pakkauskäärettä. Kaikki kolme tutkimukseen valittua selittävää muuttujaa vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi kuorutteen jähmettymisaikaan. Lesitiinin määrän lisääntyminen vaikutti odotetusti jähmettymisaikaa pienentävästi. Tuotantolinjalla on huomattu, että kuorutteen lämpötilan nousu vaikuttaa jähmettymisaikaa pidentävästi, joten myös lämpötilan nousun vaikutus jähmettymisaikaa pidentävästi oli odotettua. Rasvan määrän suureneminen lyhensi kuorutteen jähmettymisaikaa. Tutkimuksessa pisin jähmettymisaika oli nykyisin käytössä olevalla kuorutteella, joten suklaakuorutteen lesitiinin määrän ja rasvan määrän muuttaminen parantavat tilannetta tuotantolinjalla. Tässä tutkimuksessa jäätelöpuikon kastaminen kuorutteeseen tehtiin käsin ja jähmettymisaika mitattiin sekuntikellolla alkaen heti kaston päätyttyä ja loppuen siihen, kun kuorrute lakkasi valumasta, joten mittausaika riippui kastajan ja kellottajan yhteistyön ja reaktioiden pelaavuudesta kunkin puikon kaston yhteydessä. Uskotaan, että tarkempi mittaustapa saattaisi vähentää eroja kuorutteen jähmettymisajassa. Tutkimustulosten luotettavuutta kuitenkin lisättiin sillä, että rinnakkaisia mittauksia tehtiin kolme kappaletta, kun mitattiin kuorutteen jähmettymisaikaa ja kuorutteen määrää jäätelöpuikon päällä ja

tulokset ilmoitettiin niiden keskiarvona ja laskettiin kastojen keskihajonnat. Viskositeetti- ja myötörajamittaukset tehtiin kahtena rinnakkaismittauksena ja tulos ilmoitettiin niiden keskiarvona. Kastokokeissa käytetyt jäätelöpuikot otettiin yhdestä tuotantoajosta, jotta koon vaihtelu puikoissa olisi minimaalinen.

Lämpötilahallinnalla päästään tuloksiin kuorrutteen määrän vaihtelun pienentämisessä, vaikka kuorrutteen rasvan määrää tai lesitiinin määrää ei muutettaisikaan. Pelkän kuorrutteen koostumuksen muuttaminen ei kokonaisuuden kannalta tuo haluttua lopputulosta, jos lämpötila ei ole hallinnassa, sillä vaikka kuorrutteen määrä pienenisikin uuden koostumuksen myötä, ei tuotannossa tapahtuvaa kuorrutteen määrän vaihtelua kuitenkaan saada poistumaan ennen kuin lämpötila saadaan pysymään vakiona. Kuorrutteen koostumuksen muuttaminen tuo lisähyötyä määrän pienentämiseen sen jälkeen, kun lämpötila on saatu paremmin hallintaan. Tämä tutkimus osoittaa, että lämpötilahallinnan ollessa kontrollissa, saadaan kuorrutteen määrää pienennettyä rasvan määrää ja lesitiinin määrää muuttamalla. Rasvan määrän ja lesitiinin määrän lisääminen pienentää kuorrutteen määrää jäätelöpuikon päällä.

Aiempiä tutkimuksia suklaakuorrutteen koostumuksen vaikutuksista jäätelöpuikon päälle jäävään kuorrutteen määrään ei löytynyt. Tämä hankaloitti tutkimusasetelman laatimista ja se tehtiinkin pitkälti maalaisjärjen ja tuotekehityksen käytännön tapojen mukaan. Teoriaosiossa käsiteltyjen tutkimusten suklaamassat ja suklaakuorutteet olivat koostumukseltaan erilaisia kuin tässä tutkimuksessa käytetty kuorrute, joten niissä saatuja tuloksia ei sinällään pysty tämän tutkimuksen tuloksiin vertaamaan. Olisi ollut todella mielenkiintoista päästä vertailemaan kuorrutteen määrää koskevia tutkimustuloksia aiemmin tehtyjen tutkimusten tuloksiin. Uskotaan, että aihetta on kyllä tutkittu, mutta tutkimukset ovat yritysten sisäistä tietoa, joita ei ole julkaistu. Kukin kuorrute on erilainen ja kuorrutteen koostumus vaikuttaa kuorrutteen määrään merkittävästi. Tutkimustuloksia ei välttämättä suoranaisesti voi ottaa käyttöön erityyppisiin kuorutteisiin, kuten valkosuklaa- ja tummasuklaakuorutteisiin, sillä niiden raaka-aineet ovat erilaisia. Myös maitosuklaakuorutteiden raaka-aineissa ja niiden määrissä on eroja, joten jotta saadaan luotettavia tutkimustuloksia, pitää kukin kuorrute tutkia erikseen. Jonkinnäköisiä suuntaviivoja kuitenkin voi jo tämän tutkimuksen tuloksista saada.

4 PÄÄTELMÄT

Lämpötilalla oli vaikutusta jäätelöpuikon päälle jäävän kuorrutteen määrään. Lämpötilan hallinta onkin tärkeää jäätelöpuikkojen kuorutusprosessissa. Kuorrutteen lämpötila pääsee tällä hetkellä vaihtelemaan toimeksiantajan tehtaassa jäätelöpuikkojen kuorutusprosessissa päivän aikana. Tämän heittelyn pienentäminen lämpötilan hallintaa parantavien laitteiden avulla saisi aikaan tasaisempaa lopputuotetta ja tasaisi näin myös kuorrutteen kulutusta. Nostamalla lämpötilaa saatiin kuorrutteen määrää jäätelöpuikon päällä pienennettyä. Kuorrutteen lämpötilan nostamisessa pitää kuitenkin ottaa huomioon, että jäätelö on lämpöherkkä materiaali. Kuorrutteen lämpötila ei saa nousta liian suureksi, jottei jäätelö sula kuorutusprosessin aikana.

Kuorrutteen määrää jäätelöpuikon päällä saatiin pienennettyä myös lisäämällä rasvan ja lesitiiniin määrää kuorrutteessa. Rasva ja lesitiini ovat kuitenkin kalliita raaka-aineita, joten niiden lisääminen kuorrutteeseen suurissa määrin ei välttämättä ole taloudellisesti kovin kannattavaa. Rasvan määrän lisäys vaikuttaa myös kuorrutteen ravintosisältöön. Tämä näkökulma tulisi ottaa huomioon rasvan määrää lisättäessä, jos energiamäärää ei haluta lisätä. Kun rasvan määrän lisäys pienentää kuorrutteen määrää, olisi oleellista selvittää, onko määrän pienemisestä hyötyä myös energiamäärän pienentymiseen vai kumoaako enemmän energiaa sisältävä kuorrute kuorrutteen määrän pienentymisen niin, että vaikka kuorrutetta jäätelöpuikon päällä olisikin vähemmän, olisi kuorrute kuitenkin energiamäärältään suurempi.

Rasvan ja lesitiinin määrän lisäys pienensi kuorrutteen määrän lisäksi kuorrutteen jähmettymisaikaa. Tämä on tuotantoprosessin onnistumisen kannalta hyvä asia, sillä rasvan ja lesitiinin määrän lisääminen pienentäisi kuorrutteen hitaasta jähmettymisestä aiheutuvia ongelmia tuotteita pakattaessa. Kun kuorrute jähmettyisi nopeammin kuin nykyisin käytössä oleva kuorrute, vähenisi tuotteen ulkonäköä huonontava kuorrutteen pinnan, tikun ja pakkauskääreen sotkeutuminen.

Viskositeetti ja myötöjännitys korreloivat positiivisesti kuorrutteen määrän kanssa. Tähän asti kuorrutteen viskositeetin ja myötöjännityksen mittaaminen on tehty vain kuorrutevalmistajalla. Viskositeettimittauksista ennen kuorrutteen käyttöönottoa tehtaalla saattaisi olla apua kuorrutteen laadun tarkkailussa. Viskositeetin ja myötöjännityksen mittaamisella jäätelötehtaalla ennen kuorrutteen käyttöä voitaisiin saada karsittua sellaiset kuorrutteet, jotka poikkeavat kuorrutteelle määritetyistä raja-arvoista ja aiheuttaisivat todennäköisesti ongelmia tuotantoprosessissa muuttamalla jäätelöpuikon päälle jäävän

kuorrutteen määrää. Ennen kuin voidaan sanoa, kannattaako suklaakuorutteiden viskositeetti- ja myötöjännitysmittauksia tehdä ennen kuorrutteen käyttöä tuotannossa, pitäisi aihetta tutkia lisää.

Jatkossa olisi mielenkiintoista selvittää, miten kuorrutteen määrän muuttuminen vaikuttaisi kuorrutteen lohkeamisominaisuuksiin, sillä aitosuklaakuorutteisten jäätelöpuikkojen yhtenä ongelmana on suklaan lohkeilu tuotteita syödessä. Mikäli suklaakuorutteen määrän muuttuminen pienentäisi lohkeamisongelmaa, olisi se yksi lisäargumentti kuorrutteen koostumuksen vaihtamiseen. Emulgointiaineista tässä tutkimuksessa oli käytössä vain lesitiini. Lesitiinin lisäksi olisi mielenkiintoista tutkia, miten PGPR ja lesitiini-PGPR-seos vaikuttaisivat kuorrutteen määrään jäätelöpuikon päällä.

Vastepintamallinnuksen käyttö soveltui hyvin suklaakuorutteen määrän tutkimiseen. Kaikki kolme selittävää muuttujaa lesitiinin määrä, rasvan määrä ja kuorrutteen lämpötila, vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi jäätelöpuikon päälle jäävän kuorrutteen määrään. Kuorrutteen määrää voi pienentää lisäämällä rasvan ja lesitiininmäärää kuorutteessa ja lisäämällä kuorrutteen lämpötilaa.

LÄHDELUETTELO

- Aeschlimann JM, Beckett ST. 2000. Internationall inter-laboratory trails to determine the factors effecting the measurement of chocolate viscosity. *J Texture stud* 31:541-76.
- Arbuckle WS. 1986. Ice cream. 4. p. USA. The Avi Publishing Company Inc. 385 s.
- Beckett ST. 2001. Casson model for chocolate, friend or foe? *Manuf confect* 81(3):61-67.
- Beckett ST. 2008. The science of chocolate. 2.p. Cambridge: RSC Publishing. 240 s.
- Bylund G. 1995. Dairy processing handbook. Lund: Tetra Pak Prossessing systems AB. 436 s.
- Campbell L, Pavlasek S. 1997. Dairy products as ingredients in chocolate and confections. *Food Technol* 41(10): 78-85.
- Castro IA, Tirapequi J, Silva RSSF, Cutrim AJS. 2004. Sensory evaluation of a milk formulation supplemented with n3 polyunsaturated fatty acids and soluble fibres. *Food Chem* 85:503-12.
- Chevalley J. 1975. Rheology of chocolate. *J.Texture Stud* 6:177-196.
- Chevalley J. 1991. An adaptation of the Casson equation for rheology of chocolate. *J Texture Stud* 22:219-29.
- Chevalley J. 1999. Chocolate flow properties. Teoksessa: Beckett ST. *Industrial chocolate manufacture and use*. 3.p. UK: Blackwell Sience Ltd. s 182-200.
- Cisneros-Zevallos L, Krochta JM. 2003. Dependence of coating thickness on viscosity of coating solution applied to fruits and vegetables by dipping method. *J Food Sci* 68:503-10.
- Dziezak JD. 1988. Emulsifiers: The interfacial key to emulsion stability. *Food Technol* 42:172-86.
- Fang T, Zhang H, Hsieh TT, Tiu C. 1997. Rheological behavior of cocoa dispersions with cocoa butter replacers. *J Texture Stud* 28:11-26.
- Franke K. 1998. Reliable data from rheological measurement. *Chocolate Confect* 2(6):4-6.
- Hogenbirk G. 1988. Viscosity and yield value for chocolate and coatings: What they mean and how to influence them. *Confect Prod* 8:27-35.
- Hough G, Sànches R, Barbieri T, Martínés E. 1997. Sensory optimization of a powered chocolate milk formula. *Food Qual Prefer* 8:213-21.
- [IOCCC] International Chocolate and Confectionery Association. 2000. Viscosity of cocoa and chocolate products. *Analytical method* 46-2000.
- Karnjanolarn R, McCarthy KL. 2006. Rheology of different formulations of milk chocolate and the effect on coating thickness. *J Texture Stud* 37:668-80.
- Kristo E, Biliaderis G, Tzanetakis N. 2003. Modelling of rheological, microbiological and acidification properties of a fermented milk product containing a probiotic strain of *Lactobacillus paracasei*. *Int Dairy J* 13:517-28.
- Marshall T, Goff HD, Hartel RW. 2003. Ice cream. 6.p. New York: Springer Sience + Business Media. 371 s.
- Minifie BW. 1980. Chocolate, cocoa and confectionery science and technology. USA: AVI publishing company Inc. 735 s.
- Myers RH, Montgomery DC. 2002. Response surface methodology, process and product optimization using designed experiments. USA: John Wiley & Sons Inc. 680 s.
- Nelson RB, Beckett ST. 1999. Bulk chocolate handling. Teoksessa: Beckett ST. *Industrial chocolate manufacture and use*. 3.p. UK: Blackwell Sience Ltd. s 201-17.

- Nordberg S. 2006. Chocolate and confectionery fats. Teoksessa: *Modifying lipids for use in food*. Cambridge, UK: Woodhead publishing limited. s 488-516.
- Pekkarinen M, Haikonen A. 2003. Kauppa- ja teollisuusministeriön asetus kaakao- ja suklaatuotteista. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030451>. Tulostettu 15.12.2008.
- Rector D. 2000. Chocolate – controlling the flow, benefits of polyglyserol polyricinoleic acid. *Manufact Confect* 80:63-70.
- Schantz B, Linke L. 2001. Der einfluss von Emulgatoren auf das Kristallisationsverhalten. *Zucker und Susswarenwirtschaft* 54:20-23.
- Schantz B, Linke L, Rohm, H. 2003. Effects of different emulsifiers on rheological and physical properties of chocolate. 3. International symposium of food rheology and structure. Zürich, Switzerland.
- Schantz B, Rohm H. 2004. Influence of lecithin – PGPR blends on the rheological properties of chocolate. *Lebensm Wiss Technol* 38:41-45.
- Servais C, Jones R, Roberts I. 2002. The influence of particle size distribution on the processing of food. *J Food Process Eng* 51(3): 201-8.
- Servais C, Ranch H, Roberts ID. 2003. Determination of chocolate viscosity. *J Texture Stud* 34:467-97.
- Talbot G. 1999. Vegetable fats. Teoksessa: Beckett ST. *Industrial chocolate manufacture and use*. 3.p. UK: Blackwell Sience Ltd. s 307-22.
- Vernier FC. 1997. Influence of emulsifiers on the rheology of chocolate and suspensions of cocoa or sugar particles in oil. [väitöskirja] Reading: University of Reading, Department of Chemistry.
- Wichchucit H, McCarthy MJ, McCarthy L. 2005. Flow behavior of milk chocolate melt and the application to coating flow. *J Food Sci* 70(3):165-71.
- Wennemark B. 2002. Chocolate and confectionery. Teoksessa: Lidfelt JO, toim. *Handbook – Vegetable oils and fats*. Karlshamn, Sweden: CRC Press. s 112-62.
- Ziegler G, Hogg R. 1999. Particle size reduction. Teoksessa: Beckett ST. *Industrial chocolate manufacture and use*. 3.p.UK: Blackwell Sience Ltd. s 115-36.
- Ziegler G, Mongia G, Hollender R. 2001. The role of particle size distribution of suspended solid in defining the sensory properties of milk chocolate. *Int J Food Properties* 4: 353-70.