

**ISSN 0355-1180**

**HELSINGIN YLIOPISTO**

**Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos**

**EKT-sarja 1538**

**PUOLUKKAMEHUN SUMUTUSKUIVAUS JA  
PUOLUKKAMEHUJAUHEEN KÄYTTÖSOVELLUKSET**

**Tiia Mikkonen**

**Helsinki 2011**

## HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen		Laitos — Institution — Department Elintarvike- ja ympäristötieteiden	
Tekijä — Författare — Author Tiia Mikkonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Puolukkamehun sumutuskuivaus ja puolukkamehujauheen käyttösovellukset			
Oppiaine — Läroämne — Subject Elintarviketeknologia (yleinen elintarviketeknologia)			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterin tutkielma		Aika — Datum — Month and year Marraskuu 2011	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 93
Tiivistelmä — Referat — Abstract Maisterin tutkielman kirjallisuuskatsaus käsitteli puolukan koostumusta, prosessoinnin vaikutusta marjojen fenolisiin yhdisteisiin ja mehujen sumutuskuivausta kantaja-aineiden avulla. Kokeellisen työn tavoitteena oli sumutuskuijata puolukkamehua kantaja-aineiden avulla, tutkia jauheiden ominaisuuksia ja selvittää puolukkamehujauheiden soveltuvuus valittuihin käyttösovelluksiin. Puolukkamehusta ja puolukkamehujauheista määritettiin lisäksi kokonaisfenolipitoisuus.  Kantaja-aineina olivat maltodekstriini DE 5–8 (MD), heraproteiini-isolaatti (WPI) ja MD+WPI-seos. Puolukkamehujauheista määritettiin saanto, lasiirtymälämpötilat, väri, ennastettavuus ja kokonaisfenolipitoisuus. Käyttösovelluksia olivat: maitopohjainen puolukkasmoothie, puolukkamarmeladi, puolukkavaahtokarkki ja puolukkalevite.  Puolukkamehun sumutuskuivaus onnistui, ja puolukkamehujauheen käyttösovellukset olivat onnistuneita. Saantoprosenttiltaan suurin oli MD-puolukkamehujauhe (20,9 %) ja pienin WPI-puolukkamehujauhe (9,8 %). Matalin lasiirtymälämpötila oli WPI-puolukkamehujauheella ja korkein MD-puolukkamehujauheella kaikissa suhteellisissa kosteuksissa (0, 11, 24, 33 ja 44 %). Väritään tummin oli vertailu-puolukkamehujauhe (tummanviininpunainen). MD+WPI-puolukkamehujauhe oli vaalein (vaaleanpunainen). Huonoin ennastettavuus oli MD-puolukkamehujauheella ja paras vertailu-puolukkamehujauheella, vaikka molemmissa kantaja-aineena oli käytetty maltodekstriiniä. Puolukkamehun kokonaisfenolipitoisuus oli 246,4 mg/100 g. WPI-puolukkamehujauheen kokonaisfenolipitoisuus oli jauheista suurin (3,6 mg/100 g). Käyttösovelluksissa puolukkamehujauheiden välillä oli eroa värissä ja smoothiessa myös rakenteen pysyvyydessä. MD- ja vertailu-puolukkamehujauhe muodostivat pysyvän vaahtorakenteen smoothieen, mutta WPI:a sisältävät smoothiet erottuivat neste- ja vaahtofaaseiksi. Puolukkamehujauhe ei vaikuttanut marmeladien tai vaahtokarkkien rakenteeseen. Puolukkalevitteissä parhaiten margariiniin sekoittui vertailu-puolukkamehujauhe.  Puolukkamehujauhe on tuotteena kiinnostava. Puolukkamehujauhe soveltuisikin erilaisiin käyttösovelluksiin tuomaan väriä ja makua. Matalan lasiirtymälämpötilan takia puolukkamehujauheet olivat kuitenkin hankalia käsitellä. Lisätutkimusten avulla tarttuvuusongelmaan voitaisiin kuitenkin löytää ratkaisu.			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Puolukkamehujauhe, kantaja-aine, sumutuskuivaus, käyttösovellukset			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto, Helda			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information EKT-sarja 1538.			

## HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Food and Environmental Sciences	
Tekijä — Författare — Author Tiia Mikkonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Spray drying lingonberry juice and subsequent applications.			
Oppiaine — Läroämne — Subject Food Technology (General Food Technology)			
Työn laji — Arbetets art — Level M. Sc. Thesis		Aika — Datum — Month and year November 2011	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 93
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>The literature review dealt with composition of lingonberry, effects of processing on phenolic compounds and spray drying juices with the help of carrier agents. The aim of the experimental work was to spray dry lingonberry juice with the help of carrier agents, examine the properties of juice powders and explore how juice powders suit for selected applications. The total content of phenolic compounds was also measured from the lingonberry juice and powders.</p> <p>Maltodextrin DE 5–8 (MD), whey protein isolate (WPI) and combination of carrier agents (MD+WPI) were used as carrier agents while yield, glass transition temperature, colour, solubility and total content of phenolic compounds were the properties examined. A milk based lingonberry smoothie, lingonberry marmalade, lingonberry marshmallow and lingonberry spread were developed as applications.</p> <p>The spray drying of the lingonberry juice and subsequent applications were successful. The highest yield (20.9%) was achieved when MD was used as a carrier agent. WPI had the lowest yield (9.8%). MD-juice powders had the highest glass transition temperature at all relative humidities used (0, 11, 24, 33 and 44%) and WPI-juice powder had the lowest. Commercial juice powder had the darkest colour (garnet) and MD+WPI-juice powder was the lightest (light pink). MD-juice powder had the poorest solubility and commercial powder had the best, although MD was a carrier agent in both. The total content of phenolic compounds in lingonberry juice was 246.4 mg/100 g and in the best juice powder (WPI) 3.6 mg/100 g. Juice powders had differences in colour when used in applications and smoothies also had differences in stability of foam. MD and commercial powder formed a stabile foam structure but WPI-smoothies separated into liquid and foam phases. Lingonberry juice powders did not affect the structure of marmalades or marshmallows. In lingonberry spreads commercial juice powder blended the best into margarine.</p> <p>Lingonberry juice powders are interesting products. Lingonberry juice powders would suit well in different applications to add colour and taste. Due to low glass transition temperature, powders were difficult to handle. With some further research this stickiness problem could be solved.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Lingonberry powder, carrier-agent, spray drying.			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited The Digital Repository of University of Helsinki, Helda			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information EKT Series 1538.			

## **ESIPUHE**

Maisterin tutkielma on tehty Helsingin yliopiston elintarvike- ja ympäristötieteiden laitoksessa. Työn valvojana on toiminut Kirsi Jouppila ja ohjaajana Marina Heinonen. Kiitos myös Timo Holopaiselle ja Petri Kyllille. Kirsi Jouppila ja Marina Heinonen saivat gradurahan tämän maisterin tutkielman rahoittamiseksi elintarvike- ja ympäristötieteiden laitokselta.

Kiitokset myös kaikille, jotka ovat osallistuneet maisterin tutkielman etenemiseen yliopiston ulkopuolella: äidille, isälle, Tuijalle ja Teemulle perheineen. Suurin kiitos kuitenkin kuuluu aviomiehelleni Karille, joka mm. herätti henkiin kesken maisterin tutkielman tekoa hajonneen tietokoneeni ja auttoi jaksamaan loppuun saakka.

## SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE	3
1 JOHDANTO	8
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	10
2.1 Puolukka ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> ) ja ravitseminen	10
2.2 Fenoliset yhdisteet	13
2.2.1 Puolukan fenoliset yhdisteet	13
2.2.1.1 Proantosyanidiinit	14
2.2.1.2 Antosyaanit	15
2.2.2 Prosessoinnin vaikutus fenolisiin yhdisteisiin	15
2.3 Mehujen sumutuskuivaus	16
2.3.1 Sumutuskuivauksen periaate	16
2.3.2 Haasteet mehujen sumutuskuivauksessa	18
2.3.3 Kuivausolosuhteet	19
2.4 Kantaja-aineet	22
2.4.1 Vaihtoehtoja mehujen kantaja-aineiksi	22
2.4.2 Kantaja-aineen vaikutus mehujauheen fenolipitoisuuteen	25
2.4.3 Kantaja-aineen vaikutus mehujauheen lasisiirtymälämpötilaan	28
2.5 Sumutuskuivattu mehujauhe	29
2.5.1 Jauheen saanto	29
2.5.2 Jauheen säilyvyys	29
2.5.3 Jauheen lasisiirtymälämpötila	30
2.5.4 Jauheen tiheys	31
2.5.5 Jauheen liukoisuus	31
2.5.6 Jauheen väri	33
2.6 Mehujauheiden käyttösovellukset	33
2.6.1 Marjaisat välipalat	34
2.6.1.1 Maitopohjaiset juomat	35
2.6.1.2 Marjakeitto	36
2.6.1.3 Smoothie	36
2.6.2 Marjamehujauhe luonnollisena maku- ja väriaineena	37
2.6.2.1 Marinadit	37
2.6.2.2 Vaahtokarkit	38

2.6.3	Marjamehujauheiden haasteita	39
3	KOKEELLINEN TUTKIMUS	40
3.1	Kokeellisen tutkimuksen tavoite	40
3.2	Materiaalit ja menetelmät	40
3.2.1	Koemateriaalit	40
3.2.2	Menetelmät	40
3.2.2.1	Puolukkamehun valmistaminen	40
3.2.2.2	Kantaja-aineiden lisääminen puolukkamehuun	41
3.2.2.3	Puolukkamehujen sumutuskuivaus	42
3.2.2.4	Puolukkamehujauheen vesipitoisuuden määrittäminen	44
3.2.2.5	Puolukkamehujauheiden värimittaus	44
3.2.2.6	Puolukkamehujauheiden lasisiirtymälämpötilojen määrittäminen	45
3.2.2.7	Puolukkamehujauheiden ennastaminen	46
3.2.2.8	Kokonaisfenoliprofiilin määrittäminen	46
3.2.2.9	Käyttösovellusten valmistaminen	47
3.2.2.10	Instron-mittauksien suorittaminen	49
3.3	Tulokset	51
3.3.1	Kantaja-aineiden vaikutus puolukkamehuun	51
3.3.2	Puolukkamehun sumutuskuivaus	51
3.3.3	Puolukkamehujauheiden ominaisuudet	53
3.3.3.1	Vesipitoisuus	53
3.3.3.2	Värimittaus	54
3.3.3.3	Lasiirtymälämpötilojen määrittäminen	55
3.3.3.4	Ennastaminen	57
3.3.4	Käyttösovellukset	58
3.3.4.1	Maitopohjainen smoothie	58
3.3.4.2	Margariinipohjainen puolukkalevite	62
3.3.4.3	Puolukkamarmeladi ja vaahtokarkki	64
3.3.5	Kokonaisfenoliprofiili	68
3.4	Pohdinta	72
3.4.1	Sumutuskuivauksen onnistuminen	72
3.4.2	Ennastaminen	73
3.4.3	Puolukkamehujauheiden vesipitoisuus	75
3.4.4	Lasiirtymälämpötilat	76
3.4.5	Käyttösovellukset	78
3.4.6	Kokonaisfenolipitoisuuden määrittäminen	82

4	PÄÄTELMÄT	85
	LÄHDELUETTELO	87
	LIITTEET	91
	Liite 1. Lasisiirtymän alkamislämpötilan määrittämisessä käytetyt lämpötilaohjelmat.	91
	Liite 2. Esimerkki Instron-mittauksien tulosten kuvaajista.	92
	Liite 3. Kuvia puolukkamehusta, puolukkamehujauheista ja käytännönsovelluksista.	93

## 1 JOHDANTO

Puolukka eli *Vaccinium vitis-idaea* kuuluu *Vaccinium*-sukuun, joka tunnetaan korkeita antioksidatiivisten ja antikarsinogeenisten yhdisteiden sisältävistä marjoista. *Vaccinium*-suvun marjoilla arvellaan olevan terveyttä edistäviä vaikutuksia johtuen marjojen fenolisista yhdisteistä (Wang 2007). Kokonaisfenolipitoisuus esimerkiksi puolukassa on noin 300 mg/100 g (Törrönen 2006). Fenoleihin kuuluu mm. proantosyanidiineja ja antosyaaneja (Kylli ym. 2011). Puolukan erityispiirteenä on, että se sisältää harvinaista A-muotoa olevia proantosyanidiineja jopa 30 kertaa enemmän kuin muut marjat (Riihinen 2005). Puolukalle onkin esitetty ravitsemusväitteitä (EU:n asetus 1924/2006), joiden mukaan puolukka on vähäenerginen, runsaskuituinen, rasvaton, ei sisällä tyydytynyttä rasvaa eikä natriumia ja on luontainen E-vitamiinin lähde (Törrönen 2009).

Puolukka on ravinteikas ja erinomainen tuote käytettäväksi elintarvikkeissa. Prosessoinnin tiedetään kuitenkin vähentävän mm. fenolisten yhdisteiden pitoisuutta (Törrönen 2006). Prosessoinnin heikentävistä vaikutuksista huolimatta puolukoiden ravitsemuksellinen laatu on hyvä ja puolukoiden avulla voitaisiin vastata kuluttajien luomiin trendeihin, jotka liittyvät elintarvikkeisiin. Sloan (2005) listasi kymmenen elintarvikkeisiin liittyvää trendiä. Trendien joukkoon kuuluivat mm. elintarvikkeet, jotka ovat luontaisesti terveellisiä ja elintarvikkeet, joilla on mahdollista lääkitä itseään. Puolukkamehujauheen voisi kuvitella soveltuvan tällaiseksi tuotteeksi. Trendien listalle olivat päässeet myös nopeasti valmistettavat elintarvikkeet ja Premium-tuotteet, joihin puolukka ehdottomasti kuuluu pohjoismaisena erikoistuotteena. Koska puolukkaan liittyy ravitsemuksellisia hyötyjä, on sen käyttö paitsi sellaisenaan myös elintarvikkeiden ainesosana perusteltua. Puolukkamehun sumutuskuivauksesta ja käyttökohteista ei kuitenkaan ole saatavilla aikaisempia tutkimuksia.

Jotta puolukkaa saataisiin ympärivuotiseen käyttöön ja säilyvään muotoon, on sumutuskuivaus hyvä vaihtoehto. Aivan kuten muidenkin hedelmä- ja marjamehujen kanssa puolukkamehun koostumuksesta johtuen kantaja-aineiden käyttö sumutuskuivauksessa on



välttämätöntä. Ilman kantaja-ainetta puolukkamehua ei saada sumutuskuivauksella jauhemaiseen muotoon tahmeutumisen vuoksi (Figuerola 2007). Kantaja-ainetta, esimerkiksi maltodekstriiniä tai heraproteiini-isolaattia, lisätään sumutuskuivattavaan mehuun nostamaan lasisiirtymälämpötilaa (Bhandari ym. 1997). Kantaja-aineet muuttavat jauheen hygroskooppista luonnetta, jonka ansiosta mehujauhe ei tartu sumutuskuivauslaitteiston kammioon. Oletusarvona on, että käytetyllä kantaja-aineella on riittävän korkea lasisiirtymälämpötila, joka nostaa mehun lasisiirtymälämpötilan riittävän korkeaksi (Bhandari ym. 1997). Kantaja-aineiden etuna on myös se, että niiden avulla on mahdollista kapseloida huonosti säilyviä yhdisteitä sumutuskuivauksen aikana (Cai ja Corke 2000).

Maisterin tutkielman tavoitteena oli sumutuskuivata puolukkamehua, tutkia puolukkamehujauheiden ominaisuuksia ja testata puolukkamehujauheen soveltuvuutta erilaisiin tuotteisiin. Tutkielmassa selvitettiin myös, kuinka sumutuskuivaus vaikutti puolukkamehun fenolisiin yhdisteisiin.

## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 Puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*) ja ravitseminen

Puolukat, ja marjat yleensä, sisältävät vettä jopa 80–90 % ja vähän energiaa. Veden aktiivisuus ( $a_w$ ) marjoilla on yli 0,95 (Wang 2007). Suuri vesipitoisuus ja energian vähyys ja lisäävät marjojen tehoa painonhallinnassa (Törrönen 2009).

Suurin osa puolukan sisältämästä energiasta (noin 71 %) on peräisin erilaisista sokereista (Fineli 2011). Osa marjojen hiilihydraateista on ns. hitaita hiilihydraatteja ja sokereiden kokonaisuus on matalampi kuin useimmissa hedelmissä (Törrönen 2009). Kuitua puolukoissa on noin 13 %, josta ravintokuitua on noin 2,6 % (Fineli, Evira 2007). Kuitu voidaan jakaa liukenemattomaan ja liukoiseen kuituun. Liukenematonta kuitua on selluloosa, joka edistää suolen toimintaa ja vähentää ummetusta. Liukoista kuitua on pektiini, joka alentaa veren kolesterolia ja hidastaa sokerien imeytymistä.

Hiilihydraattien ja kuidun lisäksi puolukoissa on runsaasti antioksidantteja (E ja C-vitamiini), verrattuna esimerkiksi tuontihedelmiin. Puolukat sisältävät myös linolihappoa, joka tunnetaan myös nimellä omega-6-rasvahappo, ja alfa-linoleenihappoa, joka on omega-3-rasvahappo. Linolihappo on ihmiselle välttämätön monityydyttymätön rasvahappo, joka liitetään moniin terveystuotteisiin. Linolihappo ylläpitää mm. ihon terveyttä. Alfa-linoleenihappo puolestaan toimii pitkäketjuisten monityydyttymättömien omega-3-sarjan rasvahappojen esiasteena.

Kun puolukoista puristetaan mehua, mehusta jäävät puuttumaan mm. puolukan kuoret ja niiden sisältämät ravintoaineet ja kuidut. Samalla ravintoaineissa tapahtuu vähenemistä. Taulukossa 1 on vertailtu puolukan ja puolukkamehutiivisteeseen ravintoainesisältöä. Taulukosta nähdään, että puolukan ravintosisältöä ei suoraan voi verrata puolukkamehun ja siitä valmistetun puolukkamehujauheen ravintosisältöön.

**Taulukko 1.** Puolukan ja laimentamattoman puolukkamehujen sisältämät ravintoaineet (www.fineli.fi).

Yhdiste	Määrä puolukassa (/100 g)	Määrä laimentamattomassa puolukkamehutiivisteessä (/100 g)
Sokerit, joista	6,7 g	16,7 g
- Sakkarosi	0,2 g	10,2 g
- Fruktosi	2,9 g	2,9 g
- Glukoosi	3,6 g	3,6 g
Rasva	0,5 g	0,3 g
Proteiinit	0,4 g	0,1 g
Linolihappo	125,0 mg	38,0 mg
Alfa-linoleenihappo	142,0 mg	43,0 mg
Sterolit	27,9 mg	9,2 mg
Kalium	80,0 mg	135,0 mg
Magnesium	9,0 mg	7,0 mg
Kalsium	22,0 mg	9,0 mg
Fosfori	17,0 mg	10,0 mg
Rauta	0,4 mg	0,4 mg
E-vitamiini (alfatokoferoli)	1,5 mg	0,5 mg
C-vitamiini	7,5 mg	2,0 mg
Tryptofaani	8,0 mg	2,4 mg

Mehun valmistusprosessi vaikuttaa myös puolukkamehusta saatavaan energiaan ja energian jakautumiseen eri ravintoaineiden välillä. Taulukossa 2 on esitetty kokonaisenergian koostuminen puolukassa ja puolukkamehutiivisteessä. Taulukosta nähdään, että puolukkamehutiivisteessä ei ole lainkaan proteiineja tai kuitua. Samalla sokereiden osuus kokonaisenergian määrästä on kasvanut merkittävästi.

**Taulukko 2.** Kokonaisenergian jakautuminen puolukoissa ja puolukkamehutiivisteessä (www.fineli.fi).

Energian lähde	Puolukka (%-osuus kokonaisuudesta)	Puolukkamehutiiviste (%-osuus kokonaisuudesta)
Sokerit	71	96
Proteiinit	5	0
Kuitu	13	0
Rasva	11	4

Taulukoiden 1 ja 2 perusteella voidaan päätellä, että puolukkamehun valmistuksen aikana ravintoaineiden pitoisuus vähenee. Poikkeuksen tekee kalium, jonka pitoisuus on suurempi puolukkamehussa kuin puolukassa. Ravintoaineiden väheneminen voi johtua esimerkiksi teollisuuden käyttämistä mehun valmistusmenetelmistä ja lämpökäsittelystä. Monet ravintoaineet ovat lämpöherkkiä eivätkä sen vuoksi kestä esimerkiksi mehun sterilointia. Jos ravintoaineiden väheneminen riippuu lämpökäsittelystä mehun valmistuksen yhteydessä, olisi tässä työssä mahdollista valmistaa ravintoarvoltaan parempaa mehua, koska mehu valmistetaan ilman lämpökäsittelyä. Sumutuskuiivauksessa käytettävällä kantaja-aineella on jossain määrin mahdollista parantaa ravintoaineiden säilymistä. Jos ravintoaineiden tuhoaja on happi, altistuvat ravintoaineet hapelle enemmän käsin tehdyssä mehupuristuksessa kuin jatkuvatoimisessa teollisessa prosessissa.

Puristusmenetelmästä riippuen mehun saanto voi myös vaihdella. Epäonnistuneen mehupuristuksen vuoksi ravintoaineita voi jäädä puolukan kuorimassan sekaan. Pääsääntöisesti voidaan kuitenkin ajatella, että mehuun tulevat mukaan sellaiset ravintoaineet, jotka ovat liuenneina puolukan sisältämään veteen. Kuitu jää puolukan kuoriin ja samoin mehusta jäävät pois kuorikerroksissa olevat yhdisteet. Tällaisia ovat taulukosta 2 katsottuna proteiinit ja rasva. Rasva ja proteiinit voivat olla myös puolukan siemenissä, joita mehu ei myöskään sisällä.

## 2.2 Fenoliset yhdisteet

### 2.2.1 Puolukan fenoliset yhdisteet

Marjat muodostavat yhden tärkeimmistä tuoteryhmistä, joilla arvellaan olevan terveydellisiä etuja, johtuen fenolisista yhdisteistä (Wang 2007). Fenolisten yhdisteiden tärkein ryhmä on flavonoidit, joihin kuuluu mm. antosyaaneja ja proantosyanidiineja.

Riihinen (2005) väitteli Kuopion yliopistossa marjojen fenolisista yhdisteistä. Riihisen väitöskirjan perusteella kotimaiset marjat olivat erinomaisia fenolisten yhdisteiden lähteitä. Riihinen (2005) määritteli väitöskirjassaan 24 pohjoismaisen marjalajin fenolisten yhdisteiden määrät ja esiintymismuodot. Hän havaitsi, että puolukka eroaa muista marjoista siten, että se sisältää enemmän lyhytketjuisia proantosyanidiineja ja flavan-3-oleja. Lisäksi puolukan proantosyanidiinit olivat suurimmaksi osaksi harvinaista A-muotoa, joita esiintyy myös karpaloissa, mustikassa ja juolukassa. Puolukassa A-tyyppin proantosyanidiinien pitoisuudet olivat kuitenkin 30 kertaa suurempia kuin muissa marjoissa. A-tyyppin proantosyanidiinien arvellaan osaltaan suojaavan virtsatietulehduksilta (Evira 2007).

Fenolisilla yhdisteillä näyttää olevan myös muita myönteisiä vaikutuksia terveyteen, joiden vuoksi yhdisteet ovat herättäneet kiinnostusta pohjoismaisia marjoja kohtaan. Fenoliset yhdisteet estävät hapettumista ja toimivat antioksidanteina elintarvikkeissa. Joidenkin tutkimusten mukaan fenoliset yhdisteet toimisivat myös sydän- ja verisuonitautien, syöpien, allergioiden ja tulehdusten riskitekijöiden vähentäjinä (Evira 2007). Riittävää tieteellistä näyttöä ei näistä terveysvaikutuksista kuitenkaan ole ([www.efsa.europa.eu](http://www.efsa.europa.eu)).

Taulukossa 3 on esitetty puolukan fenolisten yhdisteiden jakautuminen prosentteina. Puolukan sisältämistä fenolisista yhdisteistä pääosa on proantosyanidiineja ja toiseksi eniten antosyaaneja. Proantosyanidiinien ja antosyaanien lisäksi puolukka sisältää fenolihapoja sekä flavonoleja ja flavoneja. Kokonaisuudessa fenolisten yhdisteiden määrä puolukassa noin 300 mg/100 g kun esimerkiksi marja-aronialla määrä on noin 1900 mg/100 g ja mustikalla noin 750 mg/100 g (Törrönen 2006).

**Taulukko 3.** Puolukan fenolisten yhdisteiden jakautuminen prosentiosuuksina (Kylli ym. 2011).

Yhdiste	%-osuus
Proantosyanidiinit	71,0
Antosyaanit	15,0
Flavonolit	9,0
Hydroksikanelihapot	5,0
Hydroksibentsoehappo	0,5

### 2.2.1.1 Proantosyanidiinit

Proantosyanidiinit koostuvat flavan-3-oli yksiköistä (Wang 2007). Proantosyanidiineja löytyy marjoista ja ne pystyvät sitoutumaan hiilihydraattien ja proteiinien kanssa kestävillä sidoksilla. Proantosyanidiinien tiedetään olevan myös tehokkaita vapaiden radikaalien sieppaajia ja toimivan antioksidanteina.

Marjojen sisältämistä proantosyanidiineista on tehty paljon kliinisiä kokeita sekä ainesosatutkimuksia. Eviran (2007) tekemässä selvityksessä todettiin, että puolukan sisältämällä proantosyanidiineilla on havaittu samankaltaisia suojavaikutuksia kuin karpalomehulla. Karpalon proantosyanidiinien tiedetään edistävän mm. virtateiden hyvinvointia vähentämällä tiettyjen *E. coli* bakteerien tarttumista virtsateihin. Kontiokari ym. (2001) selvittivät proantosyanidiinien vaikutusta naisten virtsatieinfektioiden ehkäisijöinä ja havaitsivat karpalo-puolukkamehutiivisteiden vähentävän riskiä tulehdukseen noin 20 %:lla. Tutkimukseen osallistui 150 naista ja he joivat päivittäin 50 ml karpalo-puolukkamehutiivistettä. Tutkimus kesti 6 kuukautta.

Proantosyanidiineihin liitetään myös hyötyvaikutuksia, jotka liittyvät elimistössä tapahtuviin haitallisiin hapettumisreaktioihin, silmien hyvinvointiin, sydämen ja verenkierron hyvinvointiin ja vatsan hyvinvointiin. Monet näistä väitteistä liittyvät myös antosyaaneihin ja fenolisiin yhdisteisiin (Evira 2007).

### **2.2.1.2 Antosyaanit**

Antosyaanit ovat väriyhdisteitä, joita voidaan käyttää elintarvike-, kosmetiikka- ja lääketeollisuudessa. Väreiltään antosyaanit ovat punertavia, violetteja tai sinertäviä ja niitä voidaan käyttää luonnollisina väriaineita esimerkiksi elintarviketeollisuudessa. Antosyaanien tiedetään inhiboivan vapaita radikaaleja. Antosyaanit ovat epästabiileja yhdisteitä, joiden pitoisuuteen vaikuttavat mm. rakenne, konsentraatio, pH, lämpötila, valo, metalliset ionit, entsyymit, happi, askorbiinihappo, sokerit ja niiden hajoamistuotteet, proteiinit ja rikkidioksidi (Giusti ja Wrolstad 1999). Lisäksi tuotteen prosessoinnilla ja varastointiajalla on merkitystä antosyaanien pitoisuuteen (Törrönen 2006). Prosessointi ja pitkä varastointiaika tuhoavat antosyaaneja.

Antosyaaneihin liitettyjen terveyttä edistävien vaikutusten avulla voidaan vastata kuluttajien vaatimukseen saada ”luonnollista ruokaa”. Yksi tärkeimmistä käyttökohteista on korvata teollisia väriaineita luonnosta saatavilla yhdisteillä. Eviran lisäaineoppaassa (2009) antosyaanit on esitelty numerotunnuksella E 163. Väri on uutettu fysikaalisin menetelmin erilaisista kasveista, kuten viinirypäleen kuorista ja mustista viinimarjoista.

### **2.2.2 Prosessoinnin vaikutus fenolisiin yhdisteisiin**

Törrösen tekemän (2006) selvityksen mukaan prosessoinnilla ja säilöntämenetelmillä on heikentävä vaikutus marjojen fenolisiin yhdisteisiin, mutta tutkimusta aiheesta on tehty vähän. Erityisesti antosyaanitutkimuksista on vähän tutkimusta. Sen verran kuitenkin tiedetään, että antosyaanit tuhoutuvat mm. hillonvalmistuksessa herkemmin kuin flavonolit. Tonon ym. (2010) tutkivat, kuinka erilaiset kantaja-aineet vaikuttavat antosyaanien säilyvyyteen ja antioksidanttien aktiivisuuteen acai-mehujauheessa. Tutkimuksessa havaittiin, että sumutuskuivauksella voitiin valmistaa jauhetta, jolla oli korkea antosyaanipitoisuus. Sumutuskuivaus on laajasti käytössä oleva menetelmä, jolla on mahdollista kapseloida elintarvikkeen huonosti säilyviä komponentteja (esim. luontaiset väriyhdisteet) lisättävän kantaja-aineen avulla (Cai ja Corke 2000).

Lisäksi de Oliveria ym. (2009) havaitsivat, että kantaja-aineen pitoisuuden lisääminen paransi askorbiinihapon säilyvyyttä cashew-omenamehujauheessa kun kantaja-aineena käytettiin maltodekstriiniä (DE 10). Tutkimusryhmä kuitenkin havaitsi, ettei sama pätenyt cashewpuun kumista valmistetulla kantaja-aineella, jonka soveltuvuutta maltodekstriinin korvaajaksi he testasivat. Tästä pääteltiin, että kantaja-aine valinnalla on merkitystä ainakin askorbiinihapon säilyvyyteen sumutuskuivatussa jauheessa.

## **2.3 Mehujen sumutuskuivaus**

### **2.3.1 Sumutuskuivauksen periaate**

Sumutuskuivaus on eniten käytetty menetelmä nestemäisten elintarvikkeiden kuivaamisessa. Mehujen säilömisessä kuivaus ei ole yleisin menetelmä, mutta sen avulla voidaan valmistaa erikoistuotteita, joilla on massatuotteita korkeampi kate (Wang 2007). Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi lääketeollisuuden käyttämät jauheet, ravintokuitu ja väriaineet.

Sumutuskuivaus perustuu nestemäisen aineksen johtamiseen suuttimeen, joka hajottaa nesteen nestepisariksi. Sumu johdetaan kammioon, jonne puhalletaan kuumaa ilmaa. Kuuma ilma saa nesteen haihtumaan nestepisaroista. Kuivaavan ilman lämpötila on yleensä välillä 150–300 °C (Fellows 2000). Mehut on yleensä suodatettu ja konsentroitunut ennen sumutuskuivausta (Figuerola 2007).

Sumutuskuivauksessa käytetään korkeita lämpötiloja ja nestepisaroiden suuri pinta-ala ja tilavuuden välinen suhde saa nestepisarot kuivumaan nopeasti. Kuivuminen tapahtuu yleensä noin 1–2 sekunnin aikana. Nopean kuivumisen ansiosta jauhepartikkelien lämpötila ei ehdi nousta yli 100 °C:n yläpuolelle (Modeira ym. 2010). Ravintoaineiden säilymistä tukee myös sumutuskuivauksen tavoite poistaa vesi nestepisaroista mahdollisimman nopeasti ja mahdollisimman matalassa lämpötilassa (Kim ym. 2009). Sumutuskuivauksessa lopputuotteessa ei matalan lämpötilan ja nopean kuivumisen takia tapahdu esimerkiksi proteiinien denaturoitumista tai ruskistumista (Tamime 2009). Sumutuskuivaus sopiikin erinomaisesti herkkien tuotteiden kuivaamiseen (Wang 2007).



Sumutuskuivaimessa voidaan käyttää erilaisia sumuttimia, joilla on vaikutusta sumutuskuivaukseen. Suuttimet on suunniteltu niin, että nestepisarat täyttävät koko kuivauskammion tasaisesti ja tehokas kuivaus on mahdollista (Fellows 2000). Suuttimen valinnalla voidaan vaikuttaa nestepisaroiden kokoon ja kuivausnopeuteen. Pienemmät nestepisarat kuivavat nopeammin ja syntynyt jauhe on hienojakoisempaa. Tamimen (2009) mukaan yleisesti käytetty paine oli 17–25 MPa ja pisarakoko noin 50–80  $\mu\text{m}$ . Paineen nostaminen sumuttimessa pienentää syntyvien pisaroiden kokoa ja vaikuttaa syntyvän jauheen ominaisuuksiin. Jauhepartikkelin kokoon vaikuttaa pisarakoon lisäksi myös nesteen syöttönopeus, pintajännitys ja tiheys (Chen ja Özkan 2007).

Sumutuskuivauksen aikana muodostunut amorfinen jauhe on lasitilassa, mikäli jauheen lasisiirtymälämpötila ( $T_g$ ) ei ole ylittynyt kuivauksen aikana. Amorfinen jauhe on metastabiili eli kemiallisten ja fysikaalisten muutosten tapahtuminen on hidasta. Joskus osittain amorfisissa jauhepartikkeleissa voi kuitenkin olla pieniä kiteytyneitä kohtia, jotka ovat amorfisen materiaalin ympäröiminä. Jos lasisiirtymälämpötila ylittyy sumutuskuivauksen aikana, amorfinen materiaali muuttuu kumitilaiseksi. Kumitilaiselle materiaalille on tyypillistä, että se alkaa tahmeutua, paakkuuntua tai kiteytyä. Tahmeutuneet jauhepartikkelit voivat tarttuvat toisiinsa kiinni ja muodostaa paakkuja. Tahmeutumista voi tapahtua myös jauhepartikkelien ja sumutuskuivauslaitteiston sisäpintojen välille, jolloin kuivuri tukkeutuu ja jauheen saanto pienenee (Yousefi ym. 2010).

Tahmeutuminen alkaa yleensä tahmeutumislämpötilassa, joka voidaan määrittellä esimerkiksi 20 °C lasisiirtymälämpötilan yläpuolella, mutta jo 10 °C lasisiirtymälämpötilan yläpuolella on jauheessa nähtävissä merkkejä tahmeutumisen alkamisesta (Bhandari ym. 1997). Tahmeutumislämpötilan ja lasisiirtymälämpötilan välisen yhteyden ansiosta sumutuskuivausprosessi on mahdollista suunnitella etukäteen. Sumutuskuivauksen olosuhteet voidaan optimoida niin, että kuivauksen aikana ei käytetä sellaisia lämpötiloja, jotka ylittäisivät lasisiirtymälämpötilan. Lisäksi lasisiirtymälämpötilaa voidaan nostaa

lisäämällä sumutuskuivattavan mehun joukkoon kantaja-ainetta, jolla on tarvittavan korkea lasisiirtymälämpötila.

### 2.3.2 Haasteet mehujen sumutuskuivauksessa

Mehujen sumutuskuivauksessa haasteet liittyvät mehujen kuiva-aineen matalaan lasisiirtymälämpötilaan, joka johtuu mehujen kemiallisesta koostumuksesta. Ongelmia sumutuskuivauksessa tuottavat erityisesti sakkaroosi, glukoosi ja fruktoosi (Papadakis ja Bahu 1992). Orgaanisilla hapoilla on myös matalat lasisiirtymälämpötilat (Modeira ym. 2010).

Nestemäisten ja paljon sokeria sisältävien tuotteiden sumutuskuivauksen tiedetäänkin olevan mahdotonta ilman kantaja-aineita. Kantaja-aineen lisäyksellä voidaan sumutuskuivattavien mehujen lasisiirtymälämpötilaa kuitenkin nostaa. Taulukossa 4 on esitetty lasisiirtymälämpötiloja puolukkamehun sisältämille sokereille ja maltodekstriineille, joilla on erilaiset DE-arvot. Taulukosta nähdään, että puolukkamehun sokereilla lasisiirtymälämpötilat ovat hyvin matalia verrattuna sumutuskuivauksessa käytettäviin yli 100 °C:n lämpötiloihin. Maltodekstriineillä lasisiirtymälämpötilat ovat selvästi yli sumutuskuivauslämpötilojen. Kantaja-aineiden avulla marja- ja mehujauheiden tahmeutuvuutta voidaankin vähentää. Tahmeutuminen vähenee kun jauheen lasisiirtymälämpötila kasvaa. Lisäksi kuivausolosuhteiden optimoinnilla on suuri merkitys sumutuskuivauksen onnistumiseen.

**Taulukko 4.** Puolukan sisältämien sokerien lasisiirtymälämpötilat ( $T_g$ ) (Cano-Chauca ym. 2005, Milton ym. 2005, Papadakis ym. 2006) sekä eri maltodekstriinien lasisiirtymälämpötilat (Papadakis ym. 2006). \* $T_g$  keskivaihe.

Yhdiste	$T_g$ (°C)	Kantaja-aine	$T_g$ (°C)
Sakkaroosi	62,0/67,0*	Maltodekstriini DE21	147*
Fruktoosi	-5,0/10,0*	Maltodekstriini DE12	160*
Glukoosi	32,0/36,0*	Maltodekstriini DE6	168*

### 2.3.3 Kuivausolosuhteet

Mehun sumutuskuivauksen onnistumiseen voidaan vaikuttaa kuivausolosuhteiden optimoinnilla ja kantaja-aineen huolellisella valinnalla. Marjamehujen sumutuskuivaamista on tutkittu ympäri maailman, mutta puolukkamehun sumutuskuivaaminen on toistaiseksi ollut harvinainen tutkimuksen aihe.

Taulukkoon 5 on koottu tutkimuksissa käytettyjä kuivausolosuhteita. Taulukosta nähdään, että kuivauslämpötilana on käytetty lämpötiloja 110 ja 200 °C:n väliltä. Suurin osa sumutuskuivauksista on luokiteltu onnistuneiksi. Bayran ym. (2005, 2008) ovat ainoat, jotka ovat käyttäneet 200 °C:n sisäänmenolämpötilaa sumutuskuivatessaan sumac-marjamehutiivistettä. Bayram ym. (2005, 2008) ovat tutkineet monenlaisten kantaja-aineiden soveltuvuutta sumutuskuivaukseen sumac-marjamehutiivisteelle.

**Taulukko 5.** Mehujen sumutuskuivauksessa käytettyjä kuivausolosuhteita. Plus (+) on onnistunut kuivaus ja miinus (-) epäonnistunut kuivaus. Sumutuskuivaus on luokiteltu onnistuneeksi silloin kun jauhetta on muodostunut eikä kuivaus ole keskeytynyt tahmeutumisen seurauksena. \*yksikkö g/min

Kantaja-aine	Kuivattava materiaali	Kuivauslämpötila (°C)	Ulostulolämpötila (°C)	Virtaus (ml/min)	Tulos	Lähde
Arabikumi	Granaattiomenamehu	140	91–102	600	+	Yousefi ym. 2010
Arabikumi	Acai-mehu	140	78	15 *	+	Tonon ym. 2010
Arabikumi+mikrokiteinen selluloosa (0,3,6,9 %)	Mangomehu	160	70–75	10	+	Cano-Chauca ym. 2005
Cashewpuukumi	Granaattiomenamehutiiviste	170–200			+	Modeira ym.2010
Guargumi	Sumac-marjamehutiiviste	200	100		-	Bayran ym. 2008
Herajauhe	Sumac-marjamehutiiviste	200	100		+/-	Bayran ym. 2008
Maitojauhe	Sumac-marjamehutiiviste	200	100		-	Bayran ym. 2008
Maltodekstriini	Granaattiomenamehutiiviste	170–200			+	Modeira ym.2010
Maltodekstriini	Granaattiomenamehu	140	91–102		+	Yousefi ym. 2010
Maltodekstriini DE10/DE20	Acai-mehu	140	78	15*	+	Tonon ym. 2010
Maltodekstriini DE6/DE12/DE21	Rusinamehukonsentraatti	110	77	8,2	+	Papadagis ym. 2006
Maltodekstriini DE20+mikrokiteinen selluloosa (0,3,6,9 %)	Mangomehu	160	70–75	10	+	Cano-Chauca ym. 2005
NaCl	Sumac-marjamehutiiviste	200	100	125	+	Bayran ym. 2005
Sakkarooosi, glukoosi, tärkkelys	Sumac-marjamehutiiviste	200	100	125	-	Bayran ym. 2005
Tapiokatärkkelys	Acai-mehu	140	78	15 *	+	Tonon ym. 2010
Vahatärkkelys	Granaattiomenamehu	140	91–102			Yousefi ym.2010
Vahatärkkelys +mikrokiteinen selluloosa (0,3,6,9 %)	Mangomehu	160	70–75	10	+	Cano-Chauca ym. 2005

Papadagis ym. (2006) kuivasivat rusinamehutiivistettä käyttäen erilaisia sisäänmeno- ja ulostulolämpötilayhdistelmiä. Parhaimmaksi lämpötilayhdistelmäksi tutkijat totesivat 110 °C:n sisäänmenolämpötilan ja 77 °C:n ulostulolämpötilan. Olosuhteet olivat parhaat rusinamehutiivisteelle, jossa kantaja-aineena oli maltodekstriini DE 6 ja mehun kokonaiskuiva-ainepitoisuus oli 40 %. Lämpötilayhdistelmällä saatiin aikaiseksi rusinamehujauhetta mehusta, jossa kokonaiskuiva-aineesta rusinaa oli 67 % ja maltodekstriiniä 33 %. Tutkimusryhmä totesi myös, että käytettäessä maltodekstriiniä, jolla on matala DE-arvo ja siihen yhdistetään matala kuivauslämpötila, voidaan kantaja-aineen pitoisuutta pienentää ja saavuttaa jauheelle suurempi rusinapitoisuus. Myös Modeira ym. (2010) havaitsivat, että sumutuskuivauslämpötilaa voidaan laskea jos kantaja-ainepitoisuutta lisätään.

Jos puolukkamehua voitaisiin kuivata onnistuneesti samoilla olosuhteilla kuin rusinamehutiivistettä, sisältäisi jauhe enemmän puolukkaa kuin markkinoilla nykyisin oleva sumutuskuivattu puolukkamehujauhe. Kiantama Oy:n markkinoima sumutuskuivattu puolukkamehujauhe sisältää 45 % puolukkaa ja 55 % maltodekstriiniä. Puolukkamehujauheen hinta tulisi kuitenkin nousemaan, sillä puolukkaraaka-aine on kalliimpaa kuin maltodekstriini DE 21 ja maltodekstriini DE 6 on kalliimpaa kuin maltodekstriini DE 21 (Papadagis ym. 2006). Toisaalta tiedetään, että korkea maltodekstriinipitoisuus suojaa lämpöherkkiä yhdisteitä sumutuskuivattavassa tuotteessa. Puolukkamehua sumutuskuivattaessa ja puolukkamehujauheen käyttösovelluksia mietittäessä tulisikin ottaa huomioon, onko tavoitteena valmistaa puolukkamehujauhe, jolla on mahdollisimman korkea puolukkakuiva-ainepitoisuus, vai onko toiveena kapseloida terveysvaikutteisia yhdisteitä ja saada ne säilymään kuluttajalle asti.

Yousefin ym. (2010) tutkimuksessa havaittiin, että MD:n ollessa kantaja-aineena granaattimenamehujauheen väri oli parempi kuin arabikumin ollessa kantaja-aineena. Toisaalta, arabikumia käytettäessä jauheen fysikaaliset ominaisuudet olivat paremmat. Puolukkamehujauheen tapauksessa molemmat ominaisuudet ovat tärkeitä. Yousefi ym. (2010) totesivat, että paras keino olisi käyttää kantaja-aineena MD:n ja arabikumin seosta.

## **2.4 Kantaja-aineet**

### **2.4.1 Vaihtoehtoja mehujen kantaja-aineiksi**

Kantaja-aineita on olemassa monia, mutta ne kaikki vaikuttavat kuivattavan materiaalin ominaisuuksiin (Yousefi ym. 2010). Kantaja-ainetta valitessa onkin otettava huomioon kantaja-aineen tarjoamat edut sekä jauheen lopullinen käyttötarkoitus. Korkean lasisiirtymälämpötilan ja oikeanlaisten ominaisuuksien lisäksi kantaja-aineen tulee liueta kuivattavaan mehuun. Jos kantaja-aine muodostaa paakkuja, se tukkii sumutuskuivaimen suuttimet ja kuivaus keskeytyy.

Taulukkoon 6 on koottu eri tutkimuksissa käytettyjä kantaja-aineita ja tutkimuksissa saatuja tuloksia. Kantaja-aineista ja puolukkamehun asettamista rajoitteista voidaan todeta, että esimerkiksi maitojauheen käyttöä kantaja-aineena rajoittaa puolukkamehun matala pH, joka aiheuttaa maitojauheen koaguloitumisen (Bayran ym. 2008).

**Taulukko 6.** Marjamehujen sumutuskuivauksessa käytettyjä kantaja-aineita ja sumutuskuivauksen onnistuminen.

Kantaja-aine	Kuivattava mehu	Kantaja-aine % kokonais kuiva-aineesta	Suhde (kantaja-aine: tiiviste/mehu)	Sumutuskuivauksen onnistuminen	Lisätoimenpiteet ennen sumutuskuivausta	Lähde
Arabikumi +mikrokit.selluloosa	Granaattiomena-mehu	8–12 % +0; 1,5; 3 %		Suurin saanto, pienin bulkkitiheys, hienojakoisin jauhe, paras liukoisuus, mutta huonoimmat optisen ominaisuudet.	Homogenoitu	Yousefi ym. (2010)
Cashewpuukumi	Granaattiomena-mehutiiviste		2:1–5:1	Suojasi askorbiinihappoa, antosyaanit kärsivät enemmän.		Modeira ym.2010
Glukoosi	Sumac-marjamehutiiviste	5, 10, 15, 20, 25	4:1	Karamellisoitui kuivuriin.		Bayran ym. 2005
Guargumi	Sumac-marjamehutiiviste	5, 10, 15, 20, 25	4:1	Sitoi liian hyvin vettä ja viskositeetti nousi liian korkeaksi.		Bayran ym. 2008
Herajauhe	Sumac-marjamehutiiviste	5, 10, 15, 20, 25	4:1	Soveltuvuus pH 5,2 –5,7.		Bayran ym. 2008
Maitojauhe	Sumac-marjamehutiiviste	5, 10, 15, 20, 25	4:1	Maitojauhe koaguloitui.		Bayran ym. 2008
Maltodekstriini	Granaattiomena-mehutiiviste	2:1–5:1		170 °C ja 5:1 soveltui parhaiten.	Homogenoitu ja siivilöity 0,3 mm	Modeira ym.2010
Maltodekstr. DE20 + mikrokit.selluloosa	Granaattiomena-mehu	8–12 % +0; 1,5; 3 %		Suojaa antosyaaneja, paras väri ja ulkonäkö.	Homogenoitu	Yousefi ym. (2010)
NaCl	Sumac-marjamehutiiviste	5, 10, 15, 20, 25	4:1	Soveltui hyvin.		Bayran ym. 2005
Sakkarooosi	Sumac-marjamehutiiviste	5, 10, 15, 20, 25	4:1	Karamellisoitui kuivuriin.		Bayran ym. 2005
Tärkkelys	Sumac-marjamehutiiviste	5, 10, 15, 20, 25	4:1	Tukki kuivurin sumuttimen.		Bayran ym. 2005
Vahatärkkelys +mikrokit.selluloosa	Granaattiomena-mehu	8–12 % +0; 1,5; 3 %		Huonoliukoinen jauhe.	Homogenoitu	Yousefi ym. (2010)

Yousefin ym. (2010) tutkimuksessa selvitettiin kantaja-aineiden vaikutusta granaattiomenajauheen ominaisuuksiin. Tutkimuksessa käytettiin kantaja-aineina arabikumia, vahatärkkelystä ja maltodekstriiniä (DE 20). Kantaja-aineiden lisäksi granaattiomenajauheeseen lisättiin mikrokiteistä selluloosaa. Ennen sumutuskuivausta granaattiomenajauhe ja kantaja-aineen seos homogenisoitiin. Mikrokiteisen selluloosan on havaittu nostavan lasisiirtymälämpötilaa, mutta olevan niukkaliukoinen yhdiste (Cano-Chauca ym. 2005, Yousefin ym. 2010). Yousefi ym. (2010) mukaan paras granaattiomenajauhe saatiin yhdistämällä maltodekstriiniä (DE 20) ja arabikumia. Myös Tonon ym. (2005) ja Cano-Chauca ym. (2005) havaitsivat arabikumin soveltuvan hyvin kantaja-aineeksi. Maltodekstriinin havaittiin sopivan kantaja-aineeksi useissa tutkimuksissa (Cano-Chauca ym. 2005; Modeira ym. 2005; Tonon ym. 2010).

Bayramin ym. (2005) tutkimusten perusteella sakkaroosi ja glukoosi eivät sovellu kantaja-aineeksi sumutuskuivaukseen matalan lasisiirtymälämpötilan takia. Saman ovat havainneet myös muut tutkimusryhmät. Sakkaroosi ja glukoosi karamellisoituivat sumutuskuivaimen sisäpinnoille vaikka kantaja-aineen määrää vaihdettiin ja kuivauksessa käytettävää lämpötilaa muutettiin. Bayramin ym. (2005) tutkimuksessa sumutuskuivattavalta sumac-marjamehutiivisteeltä vaadittiin myös homogeenista koostumusta. Tutkimusryhmä havaitsi, että tärkkelystä käytettäessä kantaja-aineena, homogeenista mehuseosta ei saatu kaikilla sekoitussuhteilla. Sumutuskuivauksen aikana mm. kuivurin suutin meni tukkoon tärkkelyspaakkujen takia eikä tärkkelystä suositeltu käytettäväksi kantaja-aineena ainakaan sumac-marjamehutiivistettä kuivatessa. Yousefi ym. (2010) käyttivät kantaja-aineiden yhdistelmänä vahatärkkelystä ja mikrokiteistä selluloosaa, jotka ovat molemmat niukkaliukoisia. Yousefi ym. (2010) kuitenkin homogenisoivat kuivattavan granaattiomenajauheen ja onnistuivat sumutuskuivauksessa. On mahdollista lisätä sumutuskuivausprosessiin ylimääräisiä lisävaiheita, joiden avulla sumutuskuivaus onnistuu. Tästä homogenointi on hyvä esimerkki.

Natriumkloridin havaittiin toimivan hyvin kantaja-aineena (Bayram ym. 2005). Suolaisen ja sumac-marjamehutiivisten tuoman happamuuden ansiosta tutkimusryhmä arveli, että natriumkloridia voitaisiin käyttää kantaja-aineena silloin kun sumac-jauhetta käytettäisiin



esimerkiksi osana salaatteja, aterioita, suolaisia keksejä, korppuja ja leipomo ja aamiaistuotteita. Puolukkamehun kantaja-aineena natriumkloridi voisi toimia, jos puolukkamehujauhetta käytettäisiin suolapitoisiin tuotteisiin kuten Bayram ym. (2005) ovat esittäneet. Kantaja-ainepitoisuuden pitäisi kuitenkin olla riittävän matala, ettei suolainen maku peittäisi alleen puolukan makua.

Bayramin ym. (2008) toisessa tutkimuksessa tulokseksi saatiin, etteivät maitojauhe ja guarukumi sovellu kantaja-aineeksi sumac-marjamehutiivisteelle. Guarukumi sitoi liian hyvin vettä itseensä ja mehun viskositeetti nousi liian korkeaksi. Maitojauhe puolestaan koaguloitui happamassa sumac-marjamehutiivisteessä. Heraproteiini soveltui tutkimusryhmän mukaan erinomaisesti kantaja-aineeksi happamalle sumac-marjamehutiivisteelle.

Bayramin ym. (2008) tutkimuksen mukaan liukoisen kuiva-ainepitoisuuden nostaminen lisäsi flavoryhdisteiden säilymistä. Erityisesti heraproteiinilla havaittiin olevan kapseloiva vaikutus aromiyhdisteisiin. Tutkimusryhmä suosittelikin liukoisen kuiva-ainepitoisuuden nostamista aromiyhdisteiden ylläpitämiseksi. Kuitenkin 25 % liukoista kuiva-ainetta oli maksimimäärä, jota tutkimusryhmä kokeili. Tutkimusryhmä havaitsi, että kuiva-ainepitoisuuden nostaminen 5 %:sta 25 %:iin lisäsi aromiyhdisteiden säilymistä 5 %. Mikrokselointia on tutkittu enemmän maltodekstriinillä (Cai ja Corke 2000; Ersus ja Yurdagel 2007; Ma 2007; Laine ym. 2008).

#### **2.4.2 Kantaja-aineen vaikutus mehujauheen fenolipitoisuuteen**

Yousefi ym. (2010) tutkivat eri kantaja-aineiden vaikutusta sumutuskuivatun granaattimenamehujauheen ominaisuuksiin. Ominaisuuksien joukossa oli mm. antosyaanipitoisuus. Sumutuskuivausolosuhteet olivat vakiot kaikille näytteille, koska tiedossa oli kuivauslämpötilan heikentävä vaikutus antosyaanien säilyvyyteen. Yousefi ym. (2010) havaitsivat, että näytteiden joukossa oli vaihtelua antosyaanipitoisuudessa ja he uskoivat sen johtuvan kantaja-aineen reaktioista kuivattavan materiaalin kanssa. Parhaiten antosyaanipitoisuutta ylläpiti maltodekstriini DE 20 verrattuna arabikumiin tai

vahatärkkelykseen. Arabikumin ollessa kantaja-aineena, jauhepartikkeleista muodostui hienojakoista ja laajentunutta. Tästä syystä jauhepartikkeleilla oli suuri pinta-ala, joka altisti antosyaanit hapelle ja pienensi antosyaanipitoisuutta jauheessa.

Ersus ja Yurdagel (2007) tutkivat mustien porkkanoiden antosyaanien mikrokapselointia sumutuskuivauksen aikana. Tutkimuksessa he käyttivät kolmea eli maltodekstriiniä (DE 10, DE 20–23 ja DE 28–31) ja kolmea eri kuivauslämpötilaa (160, 180 ja 200 °C). Ersus ja Yurdagel (2007) havaitsivat DE 28–31:n lisäävän antosyaanien tuhoutumista verrattuna muihin maltodekstriineihin. Maltodekstriini DE 28–31 lisäsi mm. jauheen agglomeraatiota ja altisti jauheen hapettumiselle. Ulostulolämpötilalla havaittiin myös pienentävä antosyaanipitoisuuteen. Kun ulostulolämpötila laskettiin 107 °C:sta 102 °C:een lämpötilaan, 160 °C:n sisäänmenolämpötilassa, antosyaanipitoisuus kasvoi 36,8 % (DE 28–31); 16,1 % (DE 20–23) ja 7,9 % (DE 10). Tuloksen arveltiin johtuvat siitä, että suurempi DE-arvo lisäsi maltodekstriinin lämpöherkkyyttä, koska ne sisältävät enemmän matalamolekyylipainoisia sokereita. Korkeammassa ulostulolämpötilassa maltodekstriini, jonka DE oli 28–31, tapahtui sumutuskuivauksen aikana enemmän hapettumista ja aldehydiryhmän reaktioita, joiden seurauksena maltodekstriinin rakenne saattoi muuttua. Yhteenvedona Ersus ja Yurdagel (2007) totesivat, että mustien porkkanoiden antosyaaneja olisi mahdollista mikrokapseloida sumutuskuvauksella kun kuivauslämpötilana oli 160–180 °C ja maltodekstriinin DE oli 20–23. Myös Yousefi ym. (2010) havaitsivat maltodekstriinin (DE 20) olevan fenolisten yhdisteiden kannalta paras kantaja-aine. Yousefi ym. (2010) käyttivät kuitenkin matalampaa sisäänmenolämpötilaa (140 °C) kuin Ersus ja Yurdager (2007).

Ma (2007) tutki sumutuskuivauksen vaikutusta mustikoiden ja viinirypäleiden fenolisten yhdisteiden ja antosyaanien säilyvyyteen. Sumutuskuivausolosuhteina Ma (2007) käytti 150 °C:n sisäänmenolämpötilaa ja 80 °C:n sekä 90 °C:n ulostulolämpötiloja, jotka ovat matalampia kuin Yousefin ym. (2010) ja Ersuksen ja Yurdagerin (2007) käyttämät ulostulolämpötilat. Ulostulolämpötilojen välillä Ma (2007) ei havainnut merkittävää eroa.

Kantaja-aineena Ma (2007) käytti maltodekstriiniä, jota hän lisäsi 30 % kokonaiskuiva-aineesta. Sumutuskuivauksen jälkeen kokonaisfenolipitoisuus laski mustikalla 8,2–17,5 % ja viinirypäleillä 8,3–19,2 %. Antosyaanipitoisuus laski mustikalla 50–70 % ja viinirypäleillä 30–60 %.

Myös Cai ja Corke (2000) tutkivat mikrokapselointia. Heidän mukaansa mikrokapselointi sumutuskuivauksen avulla olisi taloudellinen tapa suojata luonnollisia väriaineita. Cain ja Corken (2000) mukaan korkea sumutuskuivauslämpötila johti nopeampaan kuivamisnopeuteen ja nosti jauheen saantoa. Kuitenkin kuivauslämpötila yli 180 °C ja ulostulolämpötila yli 96 °C heikensi luontaisten väriyhdisteiden. Cai ja Corke (2000) suosittelivat kuivausolosuhteiksi 165–180 °C:n sisäänmenolämpötilaa ja 92–96 °C:n ulostulolämpötilaa. Kuivattavan mehun kuiva-ainepitoisuus voisi heidän mukaansa olla 20–40 %. Tällaisilla kuivausolosuhteilla he saivat aikaiseksi jauhetta *Amaranthus betacyanin*-tiivisteestä, jonka väriyhdisteet säilyivät parhaiten. Kantaja-aineista maltodekstriiniseos (DE 25 ja DE 10) suojasi väriyhdisteitä paremmin kuin maltodekstriinit erikseen käytettyinä.

Laine ym. (2008) tutkivat pakkaskuivatun lakkautteen mikrokapseloitujen fenolisten yhdisteiden säilyvyyttä varastoinnin aikana. Kapselointiin tutkimusryhmä oli käyttänyt maltodekstriini DE 18,5 ja DE 5–8. Tutkimusryhmä havaitsi, että maltodekstriini DE 5–8 toimi paremmin kapseloivana yhdisteenä ja suojasi fenolisia yhdisteitä paremmin varastoinnin aikana. Mikrokapselointi paransi fenolisten yhdisteiden ml. ellagitanniinien säilymistä verrattuna kapseloimattomiin yhdisteisiin. Lisäksi ryhmä havaitsi, että antioksidanttien aktiivisuus säilyi samalla tasolla tai jopa hieman parani varastoinnin aikana. Tämän arveltiin johtuvan muutoksista fenolisissa yhdisteissä. Laineen ym. (2008) tutkimustuloksia ei voida kuitenkaan suoraan verrata sumutuskuivattujen jauheiden tutkimuksiin, sillä pakkaskuivaus ja sumutuskuivaus ovat hyvin erilaiset prosessit.

### 2.4.3 Kantaja-aineen vaikutus mehujauheen lasisiirtymälämpötilaan

Yousefi ym. (2010) havaitsivat, että mikrokiteisen selluloosan lisääminen toiseksi kantaja-aineeksi arabikumin, maltodekstriinin ja vahatärkkelyksen lisäksi nosti granaattiomenamehujauheen lasisiirtymälämpötilaa. Arabikumin (12 % kokonaiskuiva-aineesta) ollessa kantaja-aineena granaattiomenamehujauheen lasisiirtymälämpötila oli 52,8 °C. Kun arabikumin lisäksi mehuun oli lisätty 3 % mikrokiteistä selluloosaa, lasisiirtymälämpötila oli 77,0 °C. Maltodekstriini nosti lasisiirtymälämpötilaa toiseksi eniten (40,0 °C) ja vahatärkkelys kaikkein vähiten (25,1 °C). Kaikilla granaattiomenamehujauheilla mikrokiteinen selluloosa kuitenkin nosti lasisiirtymälämpötilaa. Tuloksista oli nähtävissä, että 3 %:n lisäys mikrokiteistä selluloosaa nosti lasisiirtymälämpötilaa noin 20 °C.

Lasisiirtymälämpötilalla on suuri merkitys mm. jauheen varastoinnissa ja säilyvyydessä. Mikrokiteinen selluloosa vähensi jauheen liukoisuutta ja tästä syystä mikrokiteisen selluloosan lisääminen toiseksi kantaja-aineeksi ei ole itsestäänselvyys. Jauheen lopullinen käyttötarkoitus ratkaisee, voiko mikrokiteistä selluloosaa käyttää parantamaan puolukkamehujauheen säilyvyyttä.

Sherestha ym. (2007) määrittivät appelsiinimehujauheen lasisiirtymälämpötilaksi 32–65 °C. Papadakis ym. (2006) määrittivät rusinamehujauheen lasisiirtymälämpötilaksi 66,4–97,3 °C. Lasisiirtymälämpötiloihin vaikutti mm. kantaja-aineena käytetyn MD:n DE-luku, kantaja-aineen pitoisuus ja mehun oman kuiva-aineen pitoisuus. Pieni DE-luku ja kantaja-ainepitoisuuden lisääminen nosti lasisiirtymälämpötilaa ja mehun oman kuiva-ainepitoisuuden lisääminen laski lasisiirtymälämpötilaa (Papadakis ym. 2006; Shrestha ym. 2007). Tutkimusten perusteella kantaja-aineeksi kannattaisi valita MD, jolla on pieni DE-luku, ja lisätä kantaja-ainetta yli 50 % mehun kokonaiskuiva-aineesta.

## **2.5 Sumutuskuivattu mehujauhe**

### **2.5.1 Jauheen saanto**

Yousefin ym. (2010) tutkimuksessa havaittiin kantaja-aineiden lisäämisen parantavan jauheen saantoa. Arabikumi oli saantoa eniten lisäävä kantaja-aine. Mikrokiteisen selluloosa lisäsi jauhesaantoa, mutta tulokset olivat osaksi ristiriitaisia. Mikrokiteinen selluloosa lisäsi saantoa vahatärkkelyksen kanssa. Vahatärkkelys oli huono kantaja-aine, koska syntynyt jauhe oli osittain kiteytynyttä.

Saantoon voidaan yhdistää myös jauheen virtaavuus. De Oliveira ym. (2009) havaitsivat, kantaja-ainepitoisuuden sumutuskuivattavaan mehuun lisäämisen laskevan mehujauheen hygroskooppisuutta ja lisäävän jauheen virtaavuutta. Tutkimusryhmän mielestä hygroskooppisuus ja jauheen virtaavuus korreloivat keskenään.

### **2.5.2 Jauheen säilyvyys**

Veden aktiivisuus ( $a_w$ ) ilmaisee, kuinka paljon mehujauheessa on vapaata vettä mikrobien kasvuun, entsyymiaktiivisuuteen ja kemiallisille reaktioille. Edellä mainitut tekijät vaikuttavat mehujauheen laatuun, ulkonäköön ja ravintoaineiden säilymiseen. Veden aktiivisuuteen vaikuttamalla on mahdollista pidentää mehujauheiden säilyvyyttä (Wang 2007).

Bakteerien yms. pilaavien muutosten kannalta vapaan veden määrä on kaikkein kriittisin, koska vain vapaa vesi on mikrobien ym. käytettävissä. Suurin osa mikrobeista vaatii kasvaakseen yli 0,80 veden aktiivisuuden. Hiivat ja homeet kasvavat veden aktiivisuuden ollessa alle 0,70. Jauhepartikkelien sidottu vesi on tiukasti kiinni hiilihydraattien hydroksyyliyhmissä, proteiinien karbonyyli- ja aminoryhmissä sekä jauhepartikkelien muissa polaarisisissa ryhmissä, eikä mikrobien ole mahdollista käyttää sitä (Wang 2007).

Sumutuskuivatut hedelmämeijauheet ovat usein hygroskooppisia ja tahmeita jauheita johtuen orgaanistenhappojen ja sokereiden matalista lasisiirtymälämpötiloista

(Modeira ym. 2010). Hygroskooppisuuden vuoksi hedelmä- ja marjamehujauheet adsorboivat itseensä kosteutta ilmasta ja samalla jauheen veden aktiivisuus ja vapaan veden määrä kasvaa heikentäen jauheen säilyvyyttä ja muita ominaisuuksia.

Maillard -reaktio on ei-entsymaattinen ruskistumisreaktio. Maillard reaktio tapahtuu herkimmin veden aktiivisuuden laskiessa alle 0,4. Yleisesti kemiallisten reaktioiden nopeus kasvaa kun veden aktiivisuus on 0,6 tai 0,7. Entsymaattiset reaktiot voimistuvat, kun  $a_w$  on yli 0,6 (Wang 2007). Marjoissa ja marjamehutuotteissa entsymaattiset reaktiot ja hapettumisreaktiot liittyvät erityisesti fenolisiin yhdisteisiin. Marjatuotteissa fenoliset yhdisteet ovat erittäin tärkeitä, joten niiden tuhoutumista tulisi hidastaa ottamalla huomioon veden aktiivisuus jauheessa.

### **2.5.3 Jauheen lasisiirtymälämpötila**

Lasisiirtymälämpötilalla on suuri merkitys jauheen säilyvyyteen. Mehujauheen säilytys lasisiirtymälämpötilan alapuolella takaa jauheen säilymisen lasitilassa. Lasitilainen jauhe on metastabiilissa tilassa, jossa kemiallisten ja fysikaalisten muutosten tapahtuminen on todella hidasta.

Yousefi ym. (2010) havaitsivat mikrokiteisen selluloosan nostavan granaattiomenamehujauheen lasisiirtymälämpötilaa noin 20 °C kun mikrokiteistä selluloosaa lisättiin toiseksi kantaja-aineeksi 3 %. Tutkimusryhmä totesi, että kantaja-aineen lisäys nosti mehujauheen lasisiirtymälämpötilaa ja jauheen säilyvyys parani.

Mehujauheen lasisiirtymälämpötilan merkitys kasvaa kun jauheiden varastointiaika pitenee. Lasisiirtymälämpötilaan voidaan vaikuttaa myös mehujauheen varastointiolosuhteilla (lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus) sekä mehujauheen pakkausmateriaaleilla. Kosteustiiviillä pakkausmateriaalilla voidaan vähentää kosteuden siirtymistä ilmasta mehujauheeseen. Pakkausmateriaalin valinnalla ei voida kuitenkaan vaikuttaa kosteuden siirtymiseen elintarvikkeen sisällä vaan pakkausmateriaalin tehtävä on suojata tuotetta pakkauksen ulkopuolella olevalta vesihöyryltä (Ahvenainen-Rantala 2007).

#### **2.5.4 Jauheen tiheys**

Kantaja-aineiden tiedetään vaikuttavan jauheen tiheyteen. Tiheyden yhteydessä käytetään usein termiä bulkkitiheys. Bulkkitiheydellä tarkoitetaan kiinteän aineen/partikkeleiden massaa ja vesipitoisuutta, joka materiaaliin kuuluu. Kun kiinteän aineen kokonaisuudessa jaetaan sen tilavuudella, saadaan lasketettua tiheys (Johanson 2005; Yousefi ym. 2010).

Yousefin ym. (2010) tekemässä tutkimuksessa ei havaittu selvää yhteyttä kantaja-ainepitoisuuden ja tiheyden välillä kantaja-ainepitoisuuden ollessa 8–12 % mehun kokonaiskuiva-aineesta. Maltodekstriinin ja arabikumin kohdalla kuitenkin havaittiin, että tiheys pieneni kun kantaja-ainekonsentraatiota lisättiin. Tiheyden ja kantaja-aineen välinen yhteys havaittiin, kun kantaja-aineiden sekaan ei ollut lisätty mikrokiteistä selluloosaa.

#### **2.5.5 Jauheen liukoisuus**

Taulukkoon 7 on koottu tuloksia eri kantaja-aineiden vaikutuksesta granaattiomenamehu- (Yousefi ym. 2010) ja mangomehujauheen (Cono-Chauca ym. 2005) liukoisuuteen. Taulukosta nähdään, että kantaja-aineista vahatärkkelys heikensi jauheen liukoisuutta kaikkein eniten. Vahatärkkelyksen kanssa liukoisuus on parhaimmillaan vain 52 %. Parhaiten kantaja-aineista liukenevat arabikumi ja maltodekstriini. Arabikumin tapauksessa näyttää sille, että sen konsentraation lisääminen paransi granaattiomenamehujauheen liukoisuutta. Korkea, 95 %:n liukoisuus, mahdollistaisi jauheen käytön esimerkiksi juomateollisuudessa ja mehukeitoissa. Mikrokiteisen selluloosan lisääminen näyttäisi vaikuttavan enemmän granaattiomenamehujauheen liukoisuuteen kuin mangomehujauheen liukoisuuteen. Mangomehujauhe liukenee mikrokiteisen selluloosan ollessa kantaja-aineena paremmin kuin granaattiomenamehujauhe. Syynä tähän voi olla esimerkiksi mehujauheiden erilainen pH.

**Taulukko 7.** Maltodekstriinin (DE 20), arabikumin ja vahatärkkelyksen vaikutus granaattiomena- ja mangomehujauheen liukoisuuteen sekä mikrokiteisen selluloosan lisäyksen vaikutus liukoisuuteen.

Kantaja-aine	Kantaja-aineen määrä (%) kuiva-aineesta	Mikrokiteisen selluloosan määrä (%) kuiva-aineesta	Liukoisuus (%)	Lähde
Maltodekstriini DE 20	8	0/4,5	92/68	Yousefi ym. 2010
Maltodekstriini DE 20	12	0/4,5	92/76	Yousefi ym. 2010
Maltodekstriini DE 20	12	0/3/6/8	95/85/80/70	Cano-Chauca ym. 2005
Arabikumi	8	0/4,5	92/64	Yousefi ym. 2010
Arabikumi	12	0/4,5	95/66	Yousefi ym. 2010
Arabikumi	12	0/3/6/8	95/80/75/70	Cano-Chauca ym. 2005
Vahatärkkelys	8	0/4,5	52/48	Yousefi ym. 2010
Vahatärkkelys	12	0/4,5	36/28	Yousefi ym. 2010
Vahatärkkelys	12	0/3/6/8	40/35/30/28	Cano-Chauca ym. 2005

Mikrokiteisen selluloosan lisääminen pienensi molempien mehujauheiden liukoisuutta merkittävästi. Eniten liukenevasta arabikumista (liukoisuus 95 %), liukeni selluloosalisäyksen jälkeen vain 66 %. Keskimäärin 4,5 %:n lisäys mikrokiteistä selluloosaa heikensi jauheen liukoisuutta noin 20–30 %. Cano-Chauca ym. (2005) havaitsivat, että 6 ja 9 prosentin lisäys mikrokiteistä selluloosaa vähensi kuitenkin jauhepartikkelien välisiä vuorovaikutuksia. Mangomehujauheet, joissa oli käytetty vain 0 ja 3 % mikrokiteistä selluloosaa olivat jauheina heikompilaatuisia ja partikkelikooltaan suurempia kuin mangomehujauheet, jotka sisälsivät enemmän mikrokiteistä selluloosaa. Mikrokiteisen selluloosan lisääminen kantaja-aineeksi tai toiseksi kantaja-aineeksi, tulisikin perustella joillakin muilla eduilla kuin liukenevuudella. Jauheisiin, joiden ei ole tarkoitus liueta,



mikrokiteisen selluloosan muut edut voivat korvata sen liukoisuutta huonontavat ominaisuudet.

Mikäli puolukkamehujauhe käyttäytyy kuten mangomehu- tai granaattiomenamehujauhe tulisi etukäteen miettiä mihin tarkoitukseen puolukkamehujauhetta käytetään. Lisäksi olisi tärkeä miettiä, mitkä ominaisuudet ovat jauheelle ensisijaisen tärkeitä ja millaisista ominaisuuksista ollaan valmiita tinkimään, jotta saadaan laadukasta puolukkamehujauhetta.

Mangomehujauheen mikrokiteinen selluloosa paransi jauheen laatua ja säilyvyyttä vähentämällä jauhepartikkelien välisiä vuorovaikutuksia. Jauheen säilyvyys on tärkeä ominaisuus, sillä puolukkamehujauheen ei oleteta menevän sumutuskuivaimelta suoraan käyttökohteeseensa. Jos mehujauheen halutaan olevan hyvin liukenevaa, olisi ensin määritettävä millainen jauhe on liukoisuudeltaan hyvä ja millainen on huono. Oletuksena puolukkamehujauhetta ei tulla liottamaan puhtaaseen veteen vaan käyttökohde sisältää muitakin komponentteja, jotka voivat peittää alleen jonkin verran liukenematonta puolukkamehujauhetta.

### **2.5.6 Jauheen väri**

Mehujauheiden väriin vaikuttavat sumutuskuivauksessa käytetty kantaja-aine ja kantaja-aineen määrä (Yousefi ym. 2010). Mehujauheen väriin vaikuttaa myös jauheen vesipitoisuus ja kuivatun mehun laatu ja koostumus.

## **2.6 Mehujauheiden käyttösovellukset**

Marjoihin ja marjoista valmistettuihin jauheisiin liittyy monia vallitsevia ja nousevia trendejä. Sloan (2005) listasi kymmenen maailmanlaajuista trendiä, jotka liittyvät elintarvikkeisiin. Listalta löytyi mm. nopea ruoan valmistaminen, luontainen terveellisyys, luomutuotteet, itsensä lääkitseminen elintarvikkeen avulla ja Premium-tuotteet (Sloan 2005). Marjamehujauheet osana elintarvikkeita pystyvät vastaamaan jo vuonna 2005 tunnustettuihin trendeihin.

Marjamehujauheita on mahdollista yhdistää mitä erilaisimpiin elintarvikkeisiin tuomaan luonnollista väriä ja makua, fenolisia yhdisteitä ja vitamiineja. Marjojen tiedetään sisältävän elimistölle hyödyllisiä yhdisteitä, esimerkiksi proantosyanidiineja. Terveystrendiä vastaamaan Kiantama Oy lanseerasi markkinoille toukokuussa 2010 uuden tuotteen nimeltään LINGONWERRY™ ([http://www.kiantama.fi/index.php?p=puolukka&hl=fi\\_FI](http://www.kiantama.fi/index.php?p=puolukka&hl=fi_FI)). LINGONWERRY™ on 100 % puolukkajauhe, joka on valmistettu pohjoismaisesta metsäpuolukasta. Tuotteen idea on, että se sisältää vähintään 5 % A-tyypin proantosyanidiineja (PAC), jotka ovat tunnettuja mm. virtsateiden hyvinvointia edistävinä yhdisteinä. Proantosyanidiinipitoisuuden mittaukseen liittyy mm. Hellström ja Mattila (2008) tekemä tieteellinen artikkeli. MaHeVi Oy puolestaan markkinoi tuotteitaan nettisivuillaan (<http://www.mahevi.com>) sanoin: ”Luonto on paras apteekki ®”.

### **2.6.1 Marjaisat välipalat**

Elämäntyylin muuttuminen yhä kiireisemmäksi on lisännyt välipalojen suosiota. Elintarvikemarkkinoilla kysyntää lisäävät ”Quick fix” ja ”Drive & Go” tyyliiset vaihtoehdot (Sloan 2005). Välipaloja tarvitaan ja halutaan, koska ruokailuun käytetään nykyään entistä vähemmän aikaa. Lisäksi kiire ja liikkuva elämäntyyli kannustavat ihmisiä välipalojen käyttöön. Jauheiden hyvä säilyvyys helpottaa ja nopeuttaa marjamehujauheiden käyttöä.

Välipaloina erilaiset puurot, jogurtit ja rahkat ovat yleisiä ja terveellisiä vaihtoehtoja terveystietoisille henkilöille. Marjamehujauhetta olisi helppo yhdistää näiden tuotteiden joukkoon. Tuoreen pikapuuron sekaan voisi sekoittaa puolukkamehujauhetta, jolloin puuro saisi vaaleanpunaisen värin ja puolukkaisen maun. Vastaavasti puolukkamehujauheen tilalla voisi käyttää mitä tahansa muuta marjamehujauhetta.

Puolukkamehujauhetta on mahdollista yhdistää myös rahkan ja jogurtin sekaan. Puolukkamehujauhe olisi lisätty suoraan rahkaan tai jogurttiin jo valmistusvaiheessa tai puolukkajauhe voisi olla erillispakattuna maustamattoman rahkan tai jogurtin mukana. Erillinen pakkaus parantaisi puolukkamehujauheen ravintoaineiden säilyvyyttä. Lisäksi kuluttajat voisivat rohkaistua kokeilemaan puolukkamehujauhetta, mikäli se olisi

yhdistettynä jo tunnettuun tuotteeseen. Esimerkiksi Valio ja Arla-Ingman ovat viime vuosina lanseeranneet paljon erilaisia rahka- ja jogurttituotteita, jotka ovat suomalaisille hyvin tuttuja.

### **2.6.1.1 Maitopohjaiset juomat**

Uudenlaiset maitopohjaiset juomat tuovat mielihyvää ja hemmottelua. Trendituotteita ovat erityisesti maistetut maidot, maito-kahvi- ja maito-tee-juomat, joihin yhdistyvät kuluttajien toiveet ja vaatimukset. Erityisesti maitopohjaisten juomien kohdalla esille nousee rasvattomuus tai vähärasvaisuus, vähän hiilihydraatteja sisältävä koostumus, luonnollisuus ja GMO-vapaat raaka-aineet. Samalla maitopohjaisiin juomiin lisätään mm. kalsiumia, rautaa, magnesiumia, omega-3-rasvahappoja, bioaktiivisia yhdisteitä, peptideitä ja probiootteja (Sharma 2005).

Maitopohjaisten juomien joukkoon ovat nousseet myös juotavat jogurtit ja erilaiset urheiluja palautusjuomat. Juotaviin jogurttihin voidaan lisätä esimerkiksi vihreää teetä, aloe veraa ja erilaisia maitohappobakteereja. Urheilujuomissa puolestaan heraproteiinit toimivat tärkeänä komponenttina (Sharma 2005). Heraproteiini-isolaatti olisi kantaja-aineena hyvä mikäli puolukkamehujauhe tai muu mehujauhe suunnattaisiin urheilujuomien raaka-aineeksi.

Valion nettisivuilla (<http://www.valio.fi/reseptit/#/haku%3Dmarja>) on esillä paljon marjajuomiin liittyviä reseptejä. Luonnollisten ja ravinteikkaiden raaka-aineiden innoittamina tarjolla on paljon vinkkejä, kuinka esimerkiksi piimän sekaan voidaan lisätä marjoja, marjamehuja ja erilaisia kuitupitoisia tuotteita ja valmistaa niistä herkullisia ja kauniita marjapiimäjuomia.

Monissa resepteissä marjapiimiin on lisätty marjamehua ja pakastemarjoja. Pakastemarjoihin, varsinkin ulkomaalaisiin, liittyy kuitenkin terveysriskejä, jos marjoja ei kuumenneta kunnolla ennen niiden käyttöä. Terveysriskit liittyvät viruksiin, jotka eivät tuhoudu pakastuksen tai lievän kuumennuksen aikana. Evira suosittelee kaikkien

pakastemarjojen kuumentamista ennen käyttöä (www.evira.fi). Mm. tästä syystä marjamehujauhe voisi olla hyödyllinen korvike pakastemarjoille. Varsinkin talvella tuoreiden kotimaisten marjojen saaminen on hankalaa tai jopa mahdotonta.

### **2.6.1.2 Marjakeitto**

Puolukkamehujauheesta on mahdollista valmistaa marjakeittoa. Puolukkamehujauhe olisi pakattu sumutskuivauksen jälkeen ilma- ja kosteustiiviiseen kerta-annospakkaukseen. Jauheen sekaan voitaisiin lisätä jauhemaista sakeutusainetta. Veden lisääminen jauheen joukkoon saisi aikaiseksi puolukkaisen mehukeiton. Marjakeitossa olisivat tallella kaikki puolukan sisältämät hyödylliset yhdisteet ja puolukkakeitto olisi yhdisteltävissä moneen eri käyttötarkoitukseen. Esimerkiksi puolukkamehujauheesta valmistettua puolukkakeittoa voisi lisätä rahkan joukkoon ja valmistaa rahkajuomia. Rahkajuomaa sekoittamalla (esim. tehosekoittimella), voisi juomaan sekoittaa ilmakuplia, jolloin rakenne muuttuisi kuohkeammaksi ja ilmavammaksi ja siten aikaansaada vähäkalorisempi lopputuote.

### **2.6.1.3 Smoothie**

Smoothieille ei ole varsinaista suomenkielistä nimeä, mutta smoothiet muistuttavat rakenteeltaan, valmistukseltaan ja koostumukseltaan pirtelöä. Erona pirtelöön smoothien valmistuksessa ei käytetä jäätelöä. Smoothieta voidaan valmistaa maidosta, soijamaidosta, maustamattomasta jogurtista, vedestä, tofusta tai täystuoremehusta. Smoothien valmistuksessa käytettävät mehut sisältävät yleensä hedelmälihaa. Smoothie sisältää useimmiten myös marjoja, hedelmiä, kasviksia tai vihanneksia. Marjat tuovat smoothielle makeutta, eikä juomaan tavallisesti lisätä valkoista sokeria. Rakenteeltaan smoothiet ovat nestemäisiä juomia, jotka on valmistettu tehosekoittimen avulla. Makuvaihtoehtojen rajana on vain mielikuvitus (MTV3 2011).

Smoothiet ovat ravintorikkaita väli- ja aamupaloja, joita käytetään myös painonhallinnassa. Juoma on alun perin kotoisin Kaliforniasta, josta se on levinnyt erityisesti terveystietoisten kesäjuomasuosikiksi (MTV3 2011). Smoothien ravintorikkaus ja suosio terveystietoisten

ihmisten keskuudessa, on tuonut markkinoille monenlaisia smoothie-juomia. Esimerkiksi Nature's Best toi maaliskuussa 2011 kauppoihin uutuustuotteen nimeltä Isopure Smoothie. Tuote on proteiinipohjainen ja laktoositon hedelmäjogurttsmoothie, jota markkinoidaan palautusjuomana urheilijoille ja terveellisenä välipalana. Isopure Smoothie sisältää mm. nopeasti imeytyvää heraproteiini-isolaattia ja omega-3-rasvahappoja (Suomen Lisäraavinne Oy 2011).

## **2.6.2 Marjamehujauhe luonnollisena maku- ja väriaineena**

### **2.6.2.1 Marinadit**

Marinadien avulla voidaan vaikuttaa elintarvikkeiden säilyvyyteen ja rakenteeseen. Marinadien sisältämät suolat ja hapot hidastavat bakteerien kasvua ja entsyymaattisia reaktioita. Marinadeilla voidaan vaikuttaa myös elintarvikkeen makuun, ulkonäköön ja rakenteeseen. Kiinnostus marjajauheiden käyttöön marinadeissa on noussut, sillä marjojen tiedetään sisältävän luonnollisia yhdisteitä, joilla voidaan korvata teollisesti valmistettuja lisä- ja säilöntäaineita. Erityisen kiinnostavia ovat marjojen fenoliset yhdisteet sekä hapot, joilla on antioksidatiivisia ja mikrobien kasvua estäviä ominaisuuksia. Lisäksi marjajauheiden sisältämien happojen avulla on mahdollista laskea elintarvikkeiden pH:ta. Matala pH lisää tuotteiden säilyvyyttä, koska se hidastaa mikrobien kasvua ja entsyymiaktiivisuutta.

Marjajauheiden soveltuvuutta marinadeihin on tutkittu jonkin verran. Esimerkiksi Sampels ym. (2010) tutkivat, kuinka seljanmarja-, karpalo- ja mustaviinimarjamehujauheet toimivat silakkafileiden marinadissa. Marinadi valmistettiin liuottamalla 50 g marjajauhetta litraan vettä. Tutkijaryhmä havaitsi, että marjamarinadit suojaavat silakkafileitä lipidien ja proteiinien hapettumiselta. Lisäksi marjamarinadit parantavat tokoferolien säilyvyyttä ja lisäävät silakkafileiden säilyvyysaikaa. Marjajauheiden käyttöä marinadeissa voi kuitenkin rajoittaa marjajauheiden maku ja väri. Marjaisa maku ei välttämättä sovi kaikkiin marinadeihin.

### 2.6.2.2 Vaahtokarkit

Vaahtokarkit valmistetaan yksinkertaisista raaka-aineista. Lähtöaineena toimivat yleensä vesi, sokeri, liivate ja valkuaisvaahto (Long 2004). Vaahtokarkit valmistetaan vispaamalla siirappia joko huoneenlämpötilassa tai sen yläpuolella (Jurczak ja Olney 1972).

Vaahdon syntymiseen tarvitaan ainesosa, joka vaahtoutuu. Vaahtoa muodostaa esimerkiksi gelatiini (Long 2004). Gelatiini myös ylläpitää rakennetta ja nostaa viskositeettia. Kananmunan albumiini voi toimia myös vaahdon rakentajana (Jurczak ja Olney 1972). Vaahtokarkkimassaan lisätään myös maku- ja väriaineita (Long 2004). Puolukkamehujauhe toimisi sekä maku- että väriaineena. Vaahtokarkit eivät sisällä ollenkaan rasvaa (Long 2004). Tämän vuoksi vaahtokarkit soveltuisivat Longin mukaan hyvin välipaloiksi tai jälkiruoiksi.

Vaahtokarkkien pitkästä perinteestä kertoo se, että niistä löytyy paljon erilaisia patenteja. Patentit koskevat mm. vaahtokarkin muotoa ja valmistustekniikkaa (esim. Monzon 1992 ja Long 2004). Monzon (1992) patentissa on mm. kuvien avulla havainnollistettu perinteisen vaahtokarkin muotoa ja kokoa. Longin (2004) patentissa kerrotaan, että vaahtokarkit ovat säilyttäneet asemansa jo pitkään, mutta niiden suosio on rajoittunut kausiin. Vaahtokarkkeja ostetaan esimerkiksi grillikaudella ja pääsiäisenä, mutta muulloin suosio on hyvin vähäistä. Longin mukaan syynä tähän on vaahtokarkkien tylsyys ja tuotteiden samankaltaisuus. Pakkauksien avulla vaahtokarkeista on mahdollista saada kiinnostavia, mutta muutaman vaahtokarkin jälkeen kuluttaja ei tarvitse enempää. Longin patentin ideana olikin tehdä vaahtokarkki, joka olisi yhdistetty suoritumpien makeisten kanssa. Täytetty vaahtokarkki olisi Longin mukaan yllättävä ja kiinnostava uusi tulokas markkinoille. Longin patentissa esitellään paranneltu vaahtokarkki, joka on valmistettu ekstruuderilla. Ekstruuderin avulla vaahtokarkin sisälle on saatu täyte, jonka ympärillä on perinteinen vaahtokarkkimassa. Täytteenä on esimerkiksi suklaata tai hilloa.

### **2.6.3 Marjamehujauheiden haasteita**

Vaikka teknologisesti on mahdollista valmistaa korkealaatuisia ja terveyttä edistäviä tuotteita, kokonaan uusia tuoteinnovaatioita, joissa on uudella tavalla yhdistetty erilaisia raaka-aineita tai tuotettu rakenteeltaan uudenvuodenlainen päätyy tuotantoon vain harvoin. Esimerkiksi monia marjamehujauheita neuvotaan lisäämään jogurtin tai maidon sekaan. Toinen tuotteisiin liittyvä ongelma ovat pakkauskoot. Esimerkiksi Kiantama Oy markkinoi ”sprayjauheita” 10 kg:n laatikoissa. Yksittäinen kuluttaja ei voi tai halua hankkia näin suuria eriä.

Marjamehujauheiden käyttökohteiksi olisikin kehitettävä tuoteidea, jonka avulla marjamehujauheita saataisiin tunnetuksi ja käytetyksi laajemmin. Yksinkertaisimmillaan uusi tuoteidea voisi perustua pienennettyyn pakkauskokoon, joka liitettäisiin jo ennestään tunnetun tuotteen kylkeen. Koska marjamehujauheet ovat herkkiä kosteudelle, olisi uusi pakkauskoko ehkä kerta-annospussi. Toinen vaihtoehto olisi markkinoida marjamehujauhe suoraan teollisuudelle uutena raaka-aineena, joka korvaisi vanhoja väri- ja aromiaineita.

### **3 KOKEELLINEN TUTKIMUS**

#### **3.1 Kokeellisen tutkimuksen tavoite**

Kokeellisen tutkimuksen tavoite oli sumutuskuivata puolukkamehuja kantaja-aineiden avulla. Kantaja-aineina käytettiin maltodekstriiniä (MD), heraproteiini-isolaattia (WPI) ja niiden seosta (MD+WPI). Puolukkamehujauheista haluttiin tutkia jauheille tyypillisiä ominaisuuksia, mm. saanto, vesipitoisuus, ennastaminen ja väri. Käyttökohteilla haluttiin selvittää puolukkamehujauheiden soveltuvuutta osaksi elintarvikkeita ja onko puolukkamehujauheiden välillä eroja, jotka johtuvat kantaja-aineista. Käyttökohteiksi valittiin maitopohjainen puolukkasmoothie, puolukkamarmeladi, puolukkalevite ja puolukkavaahtokarkki.

#### **3.2 Materiaalit ja menetelmät**

##### **3.2.1 Koemateriaalit**

Mehun valmistuksessa käytetyt puolukat olivat IcoCool Oy:n pakastepuolukoita (Alkuperämaa Suomi). Puolukoita oli 15 kg. Kantaja-aineina käytettiin maltodekstriiniä DE5-8 (KYROSAN E5M, Emsland-Stärke GMBH, Saksa, valmistettu 6/2011) ja heraproteiini-isolaattia (Isolat Whey 90 instant, Amor proteines S.A.S, Saint-Brice-en-Cogles, Ranska). Vertailunäyte oli Kiantama Oy:n valmistama ”spray-kuivattu jauhe”, joka sisälsi puolukkaa 45 % (eränumero 1006200, parasta ennen 9/2012, Suomussalmi, Suomi). Sakkaroosina käytettiin taloussokeria (Dan Sukker, Suomalainen taloussokeri, Suomen Sokeri Oy, Kantvik, Suomi).

##### **3.2.2 Menetelmät**

###### **3.2.2.1 Puolukkamehun valmistaminen**

Puolukkamehun valmistaminen aloitettiin sulattamalla pakastepuolukat vesihauteessa. Mehu valmistettiin Valpuri-mehupuristimella (Haf-tuotanto Oy, Heinola mlk). Puolukat laitettiin



mehunpuristus-kankaiden sisään ja kankaiden väliin laitettiin puuritulat. Mehun puristuksessa saatiin 7,9 kg puolukkamehua.

Puolukkamehu suodatettiin kaksi kertaa ennen kantaja-aineiden lisäystä. Ensin metallisiivilän läpi, joka erotti suurimmat kiintoainekset mehusta ja toisen kerran suodatin-kankaan läpi. Vaihtoehtona puolukkamehun suodatukseen oli suodatinpaperi, mutta suodatinpaperi tukkeutui puolukkamehusta eikä siten soveltunut käytettäväksi suodatukseen.

Mehua oli suodatuksen jälkeen 7,2 kg. Puolukkamehusta laitettiin kolme näytettä (3 x 100 ml) -80 °C:seen (Sanyo Ultra Low, MDF-492, Sanyo Electric Co. Ltd., Japani) odottamaan kokonaisfenolipitoisuuden määrittämistä. Loput mehusta käytettiin sumutuskuivaukseen. Puolukkamehusta mitattiin myös pH (Knick Portamess 752). pH-mittari oli kalibroitu kalibroitiliuoksilla (pH 7 ja 4) ja mittauksia tehtiin 3 rinnakkaista.

### 3.2.2.2 Kantaja-aineiden lisääminen puolukkamehuun

Kantaja-aineiden lisäystä varten 7 kg puolukkamehua jaettiin kolmeen osaan, jolloin jokaista kantaja-ainetta varten saatiin 2,3 kg puolukkamehua. Kantaja-aineina käytettiin maltodekstriiniä (MD), heraproteiini-isolaattia (WPI) ja niiden seosta (MD+WPI).

Kantaja-aineiden määrät laskettiin puolukkamehun sisältämän kuiva-ainepitoisuuden perusteella. Puolukkamehun kuiva-ainepitoisuuden arvioitiin olevan noin 18 %. Tavoitteena oli, että puolukkamehun kokonaiskuiva-ainepitoisuudesta 55 % olisi maltodekstriiniä ja 45 % puolukkamehun omaa kuiva-ainetta. Heraproteiini-isolaattia lisättiin 25 % kokonaiskuiva-aineesta. MD+WPI-seos valmistettiin puolittamalla kantaja-aineiden määrät ja yhdistämällä ne keskenään. Taulukossa 8 on esitetty tarkat kantaja-aineiden määrät.

**Taulukko 8.** Puolukkamehuun lisättyjen kantaja-aineiden määrät grammoina.

Näyte	Puolukkamehua (g)	MD (g)	WPI (g)	Yhteensä (g)
1	2300	422,0	-	2722,0
2	2300	-	101,2	2401,2
3	2300	211,0	50,6	2561,6

Kantaja-aineiden punnitsemisen (Precisa 1000C-3000D, Sveitsi) jälkeen kantaja-aineet sekoitettiin huoneenlämpöiseen puolukkamehuun. Sekoituksessa käytettiin apuna metallista vispilää, siivilää ja lämpöhaudetta.

WPI liukeni puolukkamehuun hyvin, mutta muodosti vaahtoa enemmän kuin MD. MD liukeni huonosti ja muodosti kelluvia paakkuja. MD:n muodostamat paakut saatiin poistettua mehusta laittamalla mehu lämpövesihauteeseen noin 1,5 tunnin ajaksi ja sekoittamalla mehua voimakkaasti vispilällä. Käsittelyn jälkeen jäljellä olevat paakut erotettiin mehusta pienen metallisiivilän avulla ja paakut rikottiin siivilässä lusikalla. Rikotut paakut sekoitettiin takaisin puolukkamehuun. Sekoituksen jälkeen puolukkamehunäytteet laitettiin yöksi kylmiöön 4 °C:n lämpötilaan (Huurre, KHO-M 800-2065 RW, 2002, Group Oy, Suomi).

### **3.2.2.3 Puolukkamehujen sumutuskuivaus**

Puolukkamehujen sumutuskuivaus suoritettiin GEA Niro A/S -laitteistolla (F1V31) ja nestepumppuna oli Watson Marlow 530S (Watson-Marlow Bredel Pumps, Falmouth Cornwall, UK). Ennen puolukkamehun sumutuskuivauksen aloittamista, sumutuskuivauslaitteisto esilämmitettiin (sisäänmenolämpötila 280 °C ja ulostulolämpötila 90 °C). Esilämmityksen jälkeen sumutuskuivurilla sumutuskuivattiin tislattua vettä. Veden tarkoituksena oli puhdistaa sumutuskuivaimen suutin ja vakioda kuivausolosuhteet ennen sumutuskuivauksen aloittamista.

Puolukkamehujen sumutuskuivaus aloitettiin WPI-puolukkamehulla, sisäänmenolämpötilan ollessa 280 °C ja ulostulolämpötilan ollessa 72 °C. Suuttimen paine oli 2 bar, ja poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus oli 3200 rpm. Sumutuskuivauksen aikana ulostulolämpötila ei kuitenkaan noussut tarpeeksi korkeaksi. Kun sumutuskuivaus oli kestänyt 15 minuuttia, laski ulostulolämpötila alle 70 °C:seen. Ulostulolämpötilaa yritettiin nostaa lisäämällä poistoilmapuhaltimen kierrosnopeutta jopa 3600 rpm:n suuruiseksi, koska kierrosnopeuden nostamisella tiedettiin olevan vaikutusta ulostulolämpötilaan. Tästä ei

kuitenkaan ollut apua vaan ulostulolämpötila laski alimmillaan 54 °C:seen. Sumutuskuivaus lopetettiin sisäänmenolämpötilan ollessa 279,5 °C ja ulostulolämpötilan ollessa 64 °C eli 26 °C tavoitetta matalampi. Sumutuskuivauksen lopettamisen jälkeen puolukkamehujauhetta saatiin otettua talteen kuivauskammion seinämiltä, mutta keräysastia oli tyhjä.

Teknisten ongelmien vuoksi MD- ja MD+WPI-puolukkamehut pakastettiin (Huurre, PHO-M 800x2000 LT, 2002, Huurre Group Oy, Suomi). Pakastusta varten puolukkamehut kaadettiin neljään pakastusta kestäväään muovipulloon (Mehukas pakastuspullo, Oy Plastex Oy, Suomi). Pakastimen lämpötila oli -19 °C ja puolukkamehut olivat pakastettuna 8 vuorokautta. Vuorokausi ennen sumutuskuivausten aloittamista, puolukkamehut otettiin sulamaan 4 °C:n lämpötilaan Huurteen jääviileäkaappiin. Ennen sumutuskuivauksen aloitusta, mehut laitettiin vielä lämpimään vesihauteeseen.

MD-puolukkamehua sumutokuivatessa kuivausolosuhteet vaihtelivat. Sumutuskuivaus aloitettiin sisäänmenolämpötilan ollessa 282 °C ja ulostulolämpötilan ollessa 90 °C. Sumutuskuivauksen edetessä ulostulolämpötila nousi jopa 103 °C:seen, jolloin poistoilmapuhaltimen kierrosnopeutta laskettiin 3000 rpm:stä 2800 rpm:n kautta 2600 rpm:ään. Kierrosnopeutta laskemalla saatiin ulostulolämpötila laskettua 93 °C:seen. Sisäänmenolämpötila vaihteli kuivauksen alun 282 °C:sta lopun 249 °C:seen.

MD+WPI-puolukkamehu kuivattiin puolukkamehuista viimeisenä ja sen sumutuskuivaus onnistui parhaiten. Edellisten kuivausten tulosten perusteella sisäänmenolämpötila päätettiin laskea 250 °C:seen. Ulostulolämpötilaa ei muutettu. Poistoilmapuhaltimen kierrosnopeutta säädettiin 3400 rpm:n ja 2900 rpm:n välillä. Kuivauksen jälkeen havaittiin, että MD+WPI-puolukkamehujauhe oli tukkinut sumutuskuivaimen syklonin eikä jauhetta ollut keräysastiassa.

Sumutuskuivauksen jälkeen puolukkamehujauheiden saanto määritettiin punnitsemalla sumutuskuivaimesta saatu puolukkamehujauhe ja vertaamalla jauhemäärää kuivatun

puolukkamehun määrään. Saantoprosentti lasketettiin jakamalla saadun jauheen määrä sumutuskuivatun puolukkamehun massalla ja kertomalla tulos sadalla.

#### **3.2.2.4 Puolukkamehujauheen vesipitoisuuden määrittäminen**

Vesipitoisuus määritettiin kaikista puolukkamehujauheista ja Kiantaman vertailunäytteestä. Vesipitoisuuden määrittäminen aloitettiin punnitsemalla lasiset näyteastiat (Schott Duran, Saksa) analyysiväällä (Precisa 92SM-202A, Precisa Instruments Ltd., Sveitsi). Näyteastiaan punnittiin 1–2 grammaa puolukkamehujauhetta. Puolukkamehujauheista tehtiin 3 rinnakkaista määritystä.

Vesipitoisuusnäytteitä kuivattiin vakuu­milämpökaapissa (Salvis Vacucenter, Saksa) 50 °C:n lämpötilassa ja 3 vuorokauden ajan. Kuivauksen jälkeen näytteet siirrettiin vakuu­mieksikkaattoriin jäähtymään 4 vuorokaudeksi. Vakuu­mieksikkaattorissa kuivausaineena oli fosforipentoksidia. Jäähtymisen jälkeen puolukkamehunäytteet punnittiin uudelleen samalla analyysiväällä kuin ennen kuivaamista. Painon muutoksesta saatiin laskettua puolukkamehujauheiden vesipitoisuus.

#### **3.2.2.5 Puolukkamehujauheiden värimittaus**

Värimittaus puolukkamehujauheista suoritettiin Minolta-värimittauslaitteistolla (Minolta CR-400 H3063, Konica Minolta, Japan) ja laitteen kalibroinnissa käytettiin valkoista kalibroitilevyä (Minolta CR-400, Japani). Minoltalla ilmoittaa värin kolmena eri arvona. L\* kuvaa valoisuutta eli valkoisen (L\*=100) ja mustan (L\*=0) värisuhdetta. a\* kuvaa punaisen (a\*=100) ja vihreän (a\*=0) värisuhdetta ja b\* keltaisen (b\*=100) ja sinisen (b\*=0) värisuhdetta.

Värimittausta varten puolukkamehujauheita laitettiin lasisille petrimaljojen kansille tasaiseksi kerrokseksi. Puolukkamehujauhekerroksen päälle asetettiin petrimaljan pohja nurinpäin. Näin puolukkamehujauhe saatiin puristettua tiukaksi ja tasaiseksi kerrokseksi kahden kirkkaan lasilevyn väliin. Samalla suojattiin Minoltan mittapäätä huoneilman kosteudessa tahmeutuneelta puolukkamehujauheelta. Värimittauksista tehtiin kolme

rinnakkaista mittausta. Rinnakkaisista mittaustuloksista laskettiin puolukkamehujauheille keskiarvot ja keskihajonnat. Minoltan antamia värituloksia verrattiin myös värikarttaan ja silmämääräisesti tehtyihin havaintoihin puolukkamehujauheiden värieroista.

Puolukkamehujauhenäytteet valmistettiin värimittausta varten hetki ennen mittauksen suorittamista, sillä puolukkamehujauheiden väriin vaikuttaa niiden vesipitoisuus. Mittaushetkellä lämpötila laboratoriossa oli 21 °C ja suhteellinen kosteus 76 %. Puolukkamehujauheet tahmeutuivat hetkessä, ja jauheiden reunamilla oli nähtävissä tummempia kohtia.

### **3.2.2.6 Puolukkamehujauheiden lasisiirtymälämpötilojen määrittäminen**

DSC-näytteiden valmistaminen aloitettiin punnitsemalla DSC-näyteastiat ja kannet (Mettler AT20, SNR-K 88834, Sveitsi). Punnitsemisen jälkeen näyteastioihin laitettiin puolukkamehujauhetta käyttäen apuna näytteiden valmistusta helpottavaa välinesettiä (ME-119091, Crucible handling set). Osaan näyteastioiden kansista tehtiin pieni reikä välinesetin mukana olevalla pistimellä.

Valmiita DSC-näytteitä säilytettiin vähintään 2 vuorokautta vakuumieksikkaattoreissa, joissa oli 0, 11, 24, 33 ja 44 %:n suhteelliset kosteudet. Säilytyksen aikana puolukkamehujauheet ehtivät asettua tasapainoon ympäristön kosteuden kanssa. Lisäksi 0 %:n eksikkaattoriin laitettiin DCS-näytteet, joiden kanteen oli tehty reikä. Jokaisesta puolukkamehunäytteestä tehtiin 3 rinnakkaista näytettä jokaiseen eksikkaattoriin. Eksikkaattorisäilytyksen jälkeen näyteastiat suljettiin alumiinisilla kansilla näyteastioiden sulkemiseen tarkoitetulla sulkimella (GWB, N-216e, Mettler, Sveitsi) ja punnittiin. Puolukkamehujauhetta oli näyteastiassa keskimäärin noin 65–76 mg.

Lasisiirtymän alkamislämpötilan määrittäystä varten DSC-laitteistolle (DSC823, Mettler Toledo AG) määritettiin lämpötila-alue, jonka alueella lasisiirtymän alkamislämpötilan arveltiin olevan. Lämmitysnopeus oli 5 °C minuutissa. Liitteessä 1 on lasisiirtymän alkamislämpötilan määrittäystä varten käytetyt ohjelmat. DSC-laitteisto oli kalibroitu ennen

lasisiirtymälämpötilojen määrittystä. Kalibrointi suoritettiin Laaksosen ja Roosin (2000) esittämällä tavalla.

### **3.2.2.7 Puolukkamehujauheiden ennastaminen**

Ennastamisella tarkoitetaan puolukkamehujauheen liuottamista veteen. Ennastamisen avulla voidaan selvittää kuinka hyvin puolukkamehu liukenee veteen. Puolukkamehujauheiden ennastaminen suoritettiin ottamalla 100 ml huoneenlämpöistä (25 °C) vettä dekanterilasiin ja sekoittamalla siihen 1,2 grammaa puolukkamehujauhetta. Puolukkamehujauhetta ja vettä sekoitettiin kahden minuutin ajan, jonka jälkeen liuoksen annettiin tekeytyä kaksi minuuttia.

Puolukkamehujauheiden ennastamisessa liuoksia vertailtiin toisiinsa silmämääräisesti ja katsottiin kuinka helposti puolukkamehujauhe liukenee veteen. Samalla arvioitiin liuosten väriä.

### **3.2.2.8 Kokonaisfenoliprofiilin määrittäminen**

Kokonaisfenoliprofiilin määrittäminen suoritettiin puolukkamehusta ja kaikista puolukkamehujauheista. Näytteistä tehtiin 3 rinnakkaista määrittystä. Määrittämiseen käytetty laitteisto oli Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC) -laitteisto (Waters UPLC Acquity, U.S.A). Käytetty kolonni oli 2,1\*150 mm kolonni ja partikkelikoko 1,8 µm (Acquity UPLC® HSS T3 1,8 µm, Irlanti) (Kylli ym. 2011).

Kokonaisfenoliprofiilin määrittäminen aloitettiin pipetoimalla puolukkamehua 1 millilitran ruiskuun (BD Plastic™) ja suodattamalla mehu ruiskusuodattimen läpi (Life Science GHP Acrodisc, 13 mm Syring Filter, 0,2 µm GHP membrane) lasiampulliin (Waters Screw top vial, 12\*32 mm, with cap & pre-slit PTFE/silicone septa, U.S.A). Ennen puolukkamehunäytteiden määrittystä UPLC -laitteistoon injektointiin MilliQ-vettä.

Puolukkamehunäytteiden jälkeen valmistettiin puolukkamehujauhenäytteet. Näytteitä varten puolukkamehujauheita punnittiin (Sartorius ME5, 2004) liitteen 1 mukaisesti. Punnitut puolukkamehujauheet laitettiin muovisiin eppendorf-putkiin (Seife-lock 1,5 ml, Eppendorf,

Hampuri, Saksa). Puolukkamehujauheiden lisäksi putkiin pipetoitiin 10-prosenttista metanolia. Kun puolukkamehujauhe oli liennut metanoliliuokseen, pipetoitiin liuos samalla tavalla muoviruiskuun kuin puolukkamehu ja suodatettiin ruiskusuodattimen läpi lasiampulliin.

### **3.2.2.9 Käyttösovellusten valmistaminen**

Smoothie valmistettiin rasvattomasta- (Pirkka rasvatonmaito, Osuuskunta maitokolmio, Suomi) ja ykkösmaidosta (Valion ykkösmaito, Valio Oy, Suomi), joihin sekoitettiin puolukkamehujauhetta ja sokeria. Smoothien valmistaminen aloitettiin mittaamalla 200 ml maitoa mittalasiin ja punnitsemalla se (Precisa 1000C-3000D, Sveitsi). Sakkaroosia ja puolukkamehujauheita punnittiin 10 grammaa (n. 5 %). Sakkaroosi ja puolukkamehujauhe sekoitettiin toisiinsa lusikalla, jotta puolukkamehujauhe liukenisi paremmin maitoon eikä muodostaisi paakkuja.

Punnituksen jälkeen maito, sakkaroosi ja puolukkamehujauhe kaadettiin tehosekoittimeen (Kenwood). Puolukkasmoothieita sekoitettiin 35 sekunnin ajan. Sekoituksen jälkeen puolukkasmoothiet kaadettiin takaisin muoviseen mittalasiin, jolla maito oli mitattu ja mittalasin asteikolta nähtiin paljonko paljon tilavuus ( $V_2$ ) oli muuttunut sekoituksen aikana verrattuna alkuperäiseen tilavuuteen ( $V_1$ ) ja kuinka korkea vaahtopatsas oli muodostunut smoothien pinnalle. Vaahtopatsaan korkeuden mittaamiseen käytettiin tavallista 30 cm viivoitinta. Kun mittaustulokset oli kirjattu ylös, puolukkasmoothiet kaadettiin kirkkaasta lasisiin purkkeihin. Purkin seinämän läpi voitiin tarkastella smoothien koostumusta paremmin kuin mittalasin läpi. Lasipurkin avulla saatiin myös mitattua puolukkasmoothien väri (Minolta CR-210, Japan). Väri mitattiin sekä smoothien vaahdosta että nesteestä. Smoothieita säilytettiin 6 vuorokautta 4 °C:n jääkaapissa (Huurre, KHO-M 800-2065 RW, Group Oy, Suomi). Säilytyksen jälkeen smoothieiden rakennetta ja väriä tarkasteltiin uudelleen.

Margariinipohjainen puolukkalevite valmistettiin punnitsemalla 90 grammaa margariinia (Pirkka Margariini 60 %, laktoositon, valmistusmaa Hollanti, valmistuttaja Ruokakesko Oy,

Suomi) kertakäyttölautaselle. Lautaselle punnittiin myös 5 grammaa sakkaroosia ja 10 grammaa puolukkamehujauhetta. Punnituksen jälkeen ainekset sekoitettiin keskenään. Ainekset sekoittuivat toisiinsa hyvin ja margariini pehmeni huoneenlämmössä. Sekoituksen jälkeen puolukkalevitteet siirrettiin valkoisiin kertakäyttökuppeihin värin ja pH:n mittausta varten.

Väri mitattiin Minolta-värimittauslaitteistolla (Minolta CR-210, Japan) puolukkalevitteiden pinnalta ja mittauksista tehtiin kolme rinnakkaista. Puolukkalevitteiden pH mitattiin pH-mittarilla (Knick Portamess 752) painamalla pH-anturi puolukkalevitteeseen kolmeen eri kohtaan. Ennen pH-mittausta laitteisto kalibroitiin liuoksilla, joiden pH oli 7 ja 4.

Puolukkamarmeladi valmistettiin sekä liivatelehtien (Liivatelehti gelatiinista, L4310/1, Meira Oy, Helsinki, Suomi) että agarin (Agar-jauhe, pakannut Nummelan apteekki, Suomi) avulla. Marmeladin valmistus liivatelehtien avulla aloitettiin laittamalla liivatelehdet (8 kpl) kylmään veteen likoamaan 5 minuutiksi. Sen jälkeen sekoitettiin toisiinsa 2 ruokalusikallista puolukkamehujauhetta ja 0,5 dl sakkaroosia ja seos kaadettiin lämpimään veteen (1 dl). Kun mehu oli tasaista, otettiin liivatelehdet kylmästä vedestä ja liuotettiin ne kuumaan veteen (0,5 dl). Kuuma vesi ja liuenneet liivatelehdet kaadettiin ohuena nauhana mehun sekaan koko ajan sekoittaen. Sekoituksen jälkeen mehu kaadettiin valkoiseen kertakäyttörasiaan ja laitettiin jähmettymään jääkaappiin (Huurre, KHO-M 800-2065 RW, 2002, Group Oy, Suomi).

Marmeladi, jossa oli agaria, valmistettiin kuumentamalla ensin 1 litra vettä kiehuvaaksi. Kiehuvaan veteen lisättiin 20 grammaa agar-jauhetta ja 800 grammaa sakkaroosia (Dan Sukker, Suomalainen taloussokeri, Suomen Sokeri Oy, Kantvik, Suomi). Seosta keitettiin koko ajan sekoittaen, kunnes seoksen viskositeetti kasvoi. Keittämisen jälkeen seosta annosteltiin kauhalla mittalasiin 250 ml ja seos yhdistettiin puolukkamehun kanssa valkoisessa kertakäyttörasiassa. Puolukkamehu oli valmistettu sekoittamalla 2 ruokalusikallista puolukkamehujauhetta 0,5 desilitraan vettä.



Puolukkavaahtokarkki valmistettiin taulukon 9 mukaan. Ensin liivatelehdet (Liivatelehti gelatiinista, L4310/1, Meira Oy, Helsinki, Suomi) laitettiin kylmään veteen likoamaan. Sakkaroosi, vesi ja siirappi mitattiin kattilaan ja seosta keitettiin, kunnes seos sakeni ja lämpötila oli noin 130 °C.

**Taulukko 9.** Vaahtokarkin valmistuksessa käytetyt raaka-aineet.

Määrä	Raaka-aine
8 kpl	Liivatelehti
1 ¾ dl	Sokeria
¼ dl	Vaaleaa siirappia
¾ dl	Vettä
2 kpl	Munanvalkuaista

Kun seos oli saatu valmiiksi, valmistettiin valkuaisvaahto. Vaahdon sekaan lisättiin kattilassa keitetty sokeriliemi ja liivatelehdet ja seosta sekoitettiin hyvin. Sekoittamisen jälkeen vaahtokarkkimassa annosteltiin kauhalla 4 kertakäyttömuovirasiaan.

Kun vaahtokarkkimassa oli muovirasioissa, mitattiin massan joukkoon 2 teelusikallista puolukkamehujauhetta ja sokeria. Puolukkamehujauhe ja sokeri sekoitettiin ensin keskenään, jotta puolukkamehujauhe liukenisi paremmin vaahtokarkkimassaan. Puolukkamehujauheen lisäämisen jälkeen vaahtokarkkimassasta mitattiin väri Minolta-värimittarilla (Minolta CR-210, Japan). Värimittauksista tehtiin kolme rinnakkaista mittausta. Mittauksen jälkeen rasiat suljettiin muovikansilla ja vietiin jääkaappiin jähmettymään (Hurre, KHO-M 800-2065 RW, 2002, Group Oy, Suomi).

### 3.2.2.10 Instron-mittauksien suorittaminen

Vaahtokarkeista ja marmeladeista tutkittiin mekaanisia ominaisuuksia Instron-aineenkoestulaitteistolla (Instron 33R4465, Englanti). Mittapäänä käytettiin metallista valmistettua mittapäätä. Mittapään halkaisija oli 21 millimetriä. Mittapää liikkui

nopeudella 24 mm/sekunnissa. Mittapään annettiin painua mitattavan materiaalin sisään noin 1 senttimetrin verran. Näytteistä tehtiin kolme rinnakkaista mittausta.

Instron-mittauksien aikana vaahtokarkit ja marmeladit olivat samoissa astioissa kuin mihin niiden massa oli jätetty jähmettymään valmistuksen yhteydessä. Syy, miksi näytteitä ei otettu pois rasioista, oli rakenteen rikkoutuminen. Vaahtokarkit ja marmeladit olivat todella tiukasti kiinni rasioiden sisäseinämällä ja tuotteen irrottaminen rasiasta sai aikaan rakenteen rikkoutumista.

Instron-mittauksen tuloksista tehtiin Excel-taulukkolaskelmaohjelmalla kuvaajat, jossa x-akselilla oli etäisyys (mm) ja y-akselilla oli voima (N). Esimerkkikuvaaja on liitteessä 2. Kuvaajasta valittiin alun lineaarinen osuus, johon sovitettiin suora. Suoran kulmakertoimesta voitiin päätellä, millainen materiaali oli kyseessä. Jos kulmakertoimen lukema oli pieni, materiaali oli pehmeää, sillä mittapään liikettä vastustava voima oli pieni. Jos kulmakerroin oli suuri, materiaali vastusti mittapään liikettä voimakkaasti ja materiaali oli kovaa.

### **3.3 Tulokset**

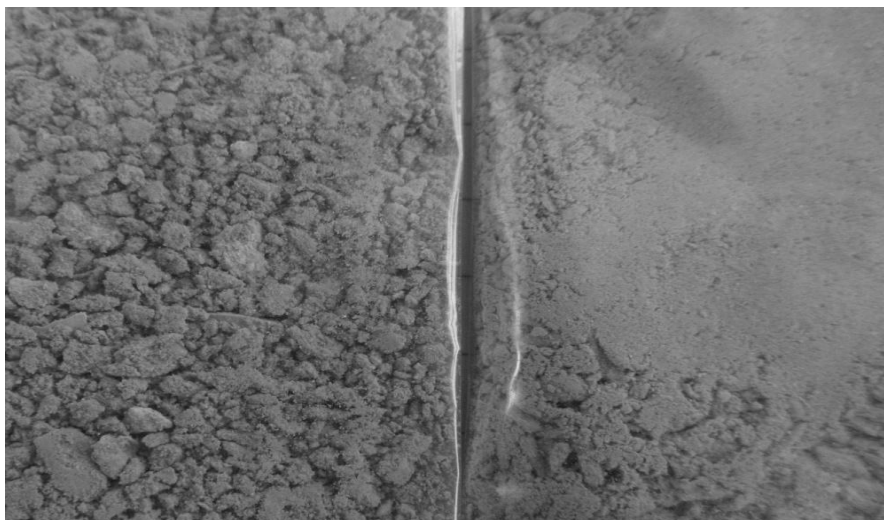
#### **3.3.1 Kantaja-aineiden vaikutus puolukkamehuun**

MD-puolukkamehu oli muuttunut viskoosimmaksi vuorokauden mittaisen varastoinnin (4 °C) aikana ja puolukkamehunäytteiden välille oli syntynyt värieroja. MD-puolukkamehu oli väriltään kirkaammanpunaista ja WPI-puolukkamehu oli viininpunaista. WPI-puolukkamehu muodosti myös enemmän vaahtoa mehun pinnalle. Liitteestä 3 nähdään värierot puolukkamehujen välillä ja että WPI:n muodostama vaahto on säilynyt yön yli.

#### **3.3.2 Puolukkamehun sumutuskuivaus**

Kaikkien kantaja-aineiden avulla saatiin sumutuskuivattua puolukkamehua, ja muodostunut jauhe oli hyvä- ja tasalaatuista. WPI-puolukkamehujauhe oli ainoa, jota ei saatu kerättyä talteen sumutuskuivaimen keräysastiasta. WPI-puolukkamehujauhetta kerättiin kuivauskammioista ja putkiston seinämiltä. Kuivauskammioista kerätty WPI-puolukkamehujauhe oli hieman tahmeutunutta, mutta lähti kevyesti harjaamalla irti kuivauskammion seinämistä. Putkistoon tahmeutunut puolukkamehujauhe oli tarttunut putken seinämiin kovemmin kiinni kuin kuivauskammiossa ollut puolukkamehujauhe.

MD-puolukkamehujauhetta saatiin kerättyä talteen sekä kuivauskammioista että keräysastiasta. Kuivauskammion seinämiltä kerätty MD-puolukkamehujauhe oli hienojakoisempaa ja tasaisempaa kuin keräysastiasta otettu puolukkamehujauhe. Kuvassa 1 on nähtävillä kuinka suuri ero MD-puolukkamehujauheiden partikkelikoossa oli jauheen keräyspaikasta riippuen. Syynä tähän voi olla MD-puolukkamehujauheen keräystapa. Kuivauskammioista otettu jauhe harjattiin irti kammion seinämistä. Harjaus on voinut pienentää jauheen partikkelikokoa huomattavasti.



**Kuva 1.** MD-puolukkamehujauheet, jotka on kerätty keräysastiasta (vasemmalla) ja kuivauskammion seinämiltä (oikealla).

MD+WPI-puolukkamehujauhetta saatiin eniten keräysastiaan. Puolukkamehujauhe oli sumutuskuivauksen edetessä kuitenkin tukkinut erottimen, jonka seurauksena vain alussa kuivattu MD+WPI-puolukkamehujauhe saatiin kerättyä talteen keräysastiasta. Loput puolukkamehujauheesta kerättiin talteen syklonista ja kuivauskammion seinämiltä.

Jauheen keräyspaikan lisäksi saanto on tärkeä tekijä kun halutaan vertailla sumutuskuivauksen onnistumista. Taulukosta 10 nähdään, että suurin saantoprosentti on MD-puolukkamehujauheella (20,9 %) ja pienin WPI-puolukkamehujauheella (9,8 %). Saantoprosentin perusteella MD-puolukkamehujauheen sumutuskuivaus olisi onnistunut parhaiten vaikka sumutuskuivaimen keräysastiasta saatiin kerättyä talteen eniten MD+WPI-puolukkamehujauhetta. Saantoprosenteista nähdään myös, että WPI:n lisääminen puolukkamehun kantaja-aineeksi pienensi saantoprosenttia. MD olisi täten paras vaihtoehto kantaja-aineeksi puolukkamehun sumutuskuivauksessa.

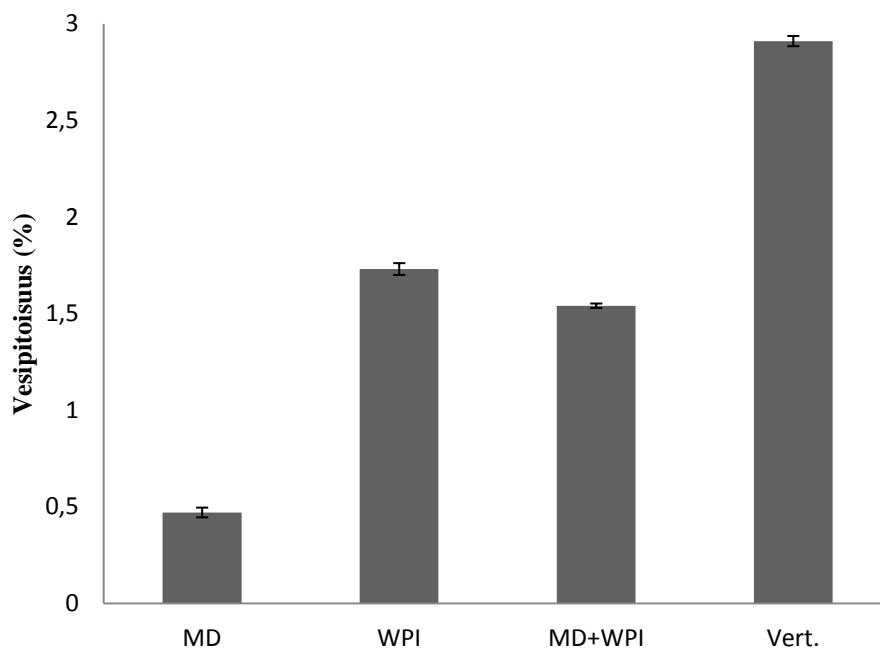
**Taulukko 10.** Sumutuskuivatun puolukkamehun saanto kantaja-aineittain.

Kantaja-aine	Puolukkamehua (g)	Puolukkamehujauhe (g)	Saantoprosentti (%)
MD	2000,0	418,1	20,9
WPI	2401,2	234,5	9,8
MD+WPI	2561,6	443,1	17,3

### 3.3.3 Puolukkamehujauheiden ominaisuudet

#### 3.3.3.1 Vesipitoisuus

Puolukkamehujauheiden välillä oli eroa vesipitoisuuksissa ja vesipitoisuudet olivat todella pieniä. Kuvasta 2 nähdään, että vertailunäytteen vesipitoisuus oli noin 6 kertaa suurempi kuin MD-puolukkamehujauheen. WPI- ja MD+WPI-puolukkamehujauheiden vesipitoisuudet olivat lähellä toisiaan (1,7 % ja 1,5 %). Keskihajonnat olivat pienet kaikilla puolukkamehujauheilla.

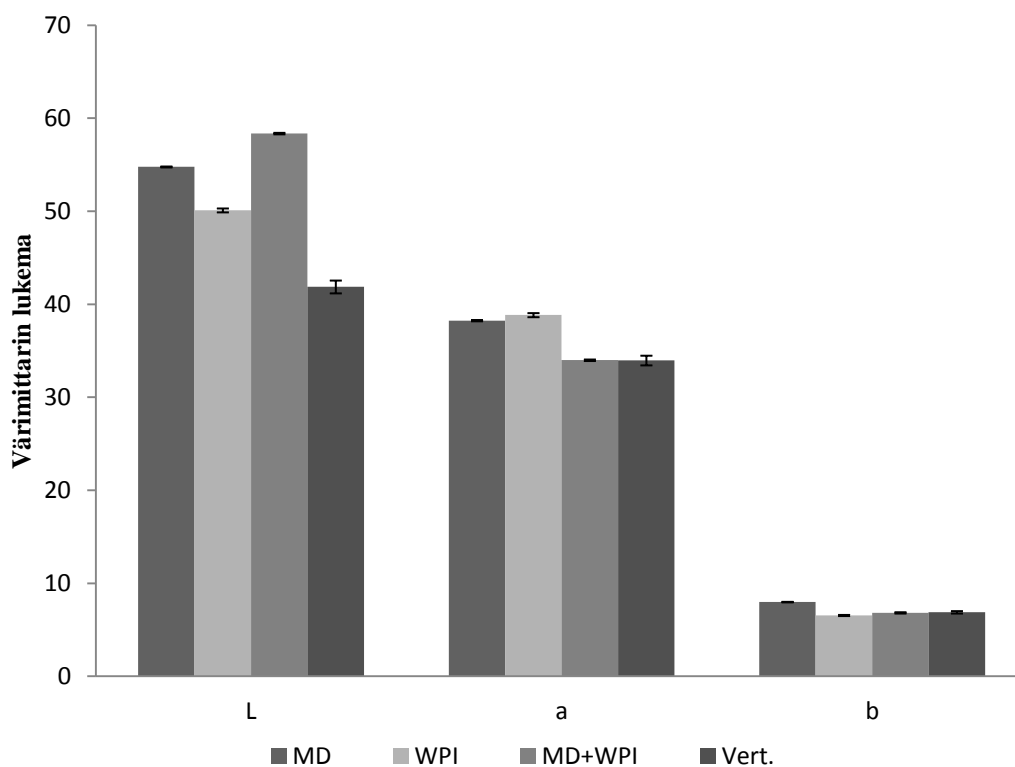


**Kuva 2.** Vertailu- (vert.), maltodekstriini- (MD), heraproteiini-isolaatti- (WPI) ja maltodekstriini+heraproteiini-isolaatti (MD+WPI) -puolukkamehujauheiden vesipitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat.

### 3.3.3.2 Värimittaus

Puolukkamehujauheiden välillä oli selkeitä värieroja, jotka havaittiin sekä silmämääräisesti että värimittauslaitteiston avulla. Liitteestä 3 nähdään, että MD vaalensi puolukkamehujauheiden väriä ja WPI tummensi. Poikkeuksen teki vertailunäyte, joka oli väriltään kaikkein tummin. MD-puolukkamehujauheessa oli saman verran maltodekstriiniä (painoprosentteina) kuin vertailunäytteessä ja silti väriero oli suuri.

Kuvasta 3 nähdään Minoltan värimittautulokset, joiden mukaan vertailunäyte oli saanut pienimmän  $L^*$ -arvon eli vertailunäyte oli kaikista jauheista tummin. Vaaleimmaksi Minolta mittasi MD+WPI-puolukkamehujauheen. Toiseksi vaalein oli MD-puolukkamehujauhe. Minoltan värimittautulokset sopivat yhteen silmämääräisen väriarvioinnin kanssa. Punaisimpia puolukkamehujauheita olivat Minoltan tulosten perusteella MD- ja WPI-puolukkamehujauheet.



**Kuva 3.** Minoltalla puolukkamehujauheista tehtyjen värimittausten tulokset vertailu- (vert.), maltodekstriini- (MD), heraproteiini-isolaatti- (WPI) ja maltodekstriini+heraproteiini-isolaatti (MD+WPI)-puolukkamehujauheiden ja mittaustulosten keskihajonnat. L\* kuvaa valoisuutta eli valkoisen (L\*=100) ja mustan (L\*=0) värisuhdetta, a\* punaisen (a\*=100) ja vihreän (a\*=0) värisuhdetta ja b\* keltaisen (b\*=100) ja sinisen (b\*=0) värisuhdetta.

### 3.3.3.3 Lasisiirtymälämpötilojen määrittäminen

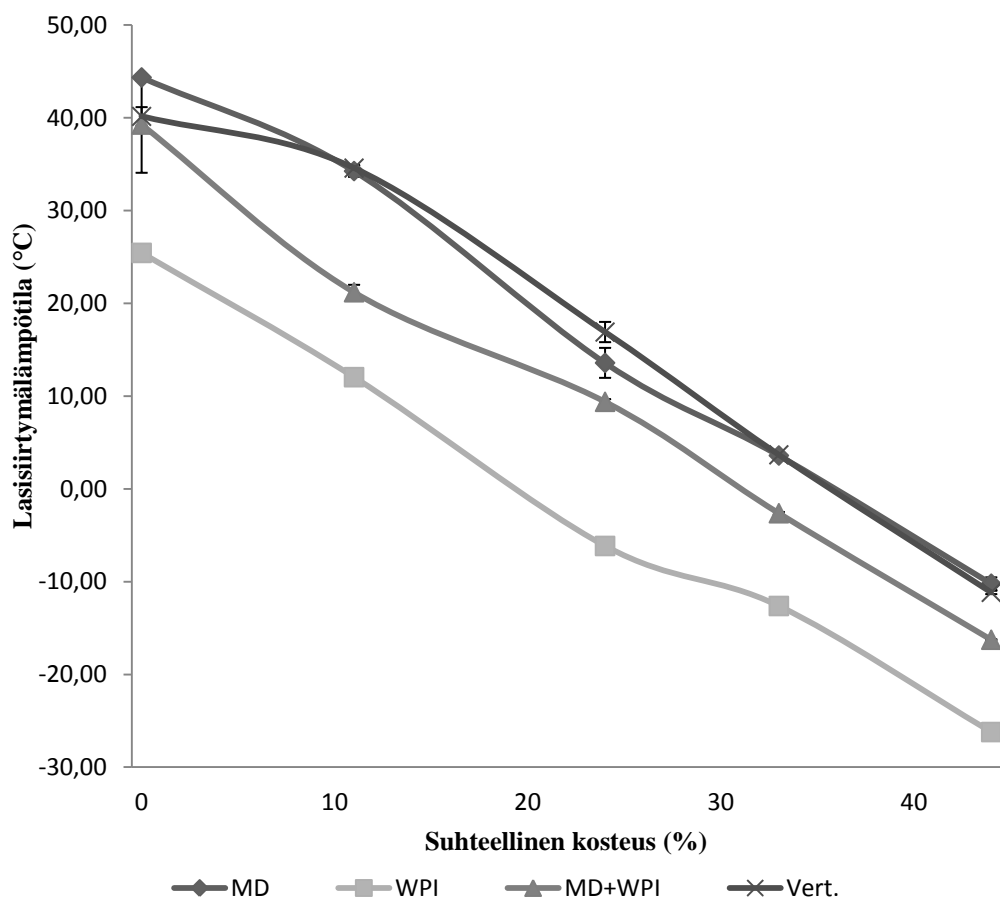
Lasiirtymälämpötilat määritettiin puolukkamehujauheille, joiden näyteastian kansiin oli tehty reikä. Näytteet, joiden astian kannessa oli reikä, oli säilytetty 0 %:n suhteellisessa kosteudessa. Näytteiden avulla haluttiin selvittää täysin kuivan puolukkamehujauheen lasisiirtymälämpötila. Taulukon 11 lasisiirtymälämpötiloista nähdään, että osa puolukkamehujauhenäytteistä oli adsorboinut itseensä kosteutta ilmasta ennen määrittystä, koska vain MD- ja vertailu-puolukkamehujauheiden lasisiirtymälämpötilat olivat korkeampia näytteillä, joiden astian kannessa oli reikä.

**Taulukko 11.** Lasiirtymälämpötila ja keskihajonnat puolukkamehujauheille, joiden näyteastian kanteen oli tehty reikä.\* yksi onnistunut lasiirtymälämpötilan mittaustulos.

	Lasiirtymälämpötila (°C)	Keskihajonta
MD	50,9	0,5
WPI*	15,0	-
MD+WPI	27,4	0,2
Vert.	43,4	0,3

Kuvassa 4 on esitetty lasiirtymälämpötilat puolukkamehujauheille, joiden näyteastian kannessa ei ollut reikää. Suhteellisen kosteuden ollessa 0 % puolukkamehujauheiden lasiirtymälämpötilat olivat korkeammat kuin suhteellisen kosteuden ollessa 44 %. Korkein lasiirtymälämpötila oli MD-puolukkamehujauheella. Maltodekstriiniä sisältävillä puolukkamehujauheilla (MD ja Vert.) oli korkeimmat lasiirtymälämpötilat kaikissa suhteellisissa kosteuksissa. WPI-puolukkamehujauheella oli kaikista jauheista matalin lasiirtymälämpötila. Kun suhteellinen kosteus oli 0 %, WPI-puolukkamehujauheella lasiirtymälämpötila oli noin 25 °C kun maltodekstriiniä sisältävillä puolukkamehujauheissa se oli yli 40 °C.





**Kuva 4.** Puolukkamehujauheiden lasiirtymälämpötilojen keskiarvot eri suhteellisissa kosteuksissa ja keskihajonnat.

### 3.3.3.4 Ennastaminen

Puolukkamehujen välillä oli havaittavissa eroa värissä ja kirkkaudessa. Liitteessä 3 on nähtävillä kirkkauserot puolukkamehujen välillä. Puolukkamehujauheista parhaiten liukeni vertailunäyte. Se liukeni täysin jo 2 minuutin sekoituksen aikana. Vertailunäytteestä valmistunut puolukkamehu oli väriltään ”puolukkamehunpunaista” ja täysin kirkasta ja läpinäkyvää. Mehussa ei ollut yhtään paakkuja.

MD-puolukkamehujauhe liukeni huonoiten. Sekoituksen aikana MD-puolukkamehussa oli paakkuja, jotka kuitenkin liukenivat seisotuksen aikana. MD-puolukkamehu oli

vaaleanpunaista, sameaa ja vähän läpikuultavaa. Vaahtoa ei muodostunut sekoituksen aikana.

WPI-puolukkamehujauhe liukeni veteen sekoituksen aikana ollen vertailu-puolukkamehujauheen jälkeen toiseksi parhaiten liukeneva puolukkamehujauhe. Väriltään WPI-puolukkamehu oli lähempänä vertailunäytettä kuin MD-puolukkamehu. WPI-puolukkamehu oli sameaa ja läpikuultavaa. WPI aiheutti mehulle vaahtoavuutta, mutta vaahto hajosi itsestään seisotuksen aikana. Muodostunut vaahto oli kirkasta ja ilmakuplat olivat suuria.

MD+WPI-puolukkamehu oli välimuoto edellä mainituista mehuista. Se oli väriltään tummempaa kuin MD-puolukkamehu, mutta vaaleampaa kuin WPI-puolukkamehu. Vaahtoa oli vähemmän kuin WPI-puolukkamehulla. MD+WPI-puolukkamehu oli sameaa ja vain vähän läpikuultavaa.

### **3.3.4 Käyttösovellukset**

#### **3.3.4.1 Maitopohjainen smoothie**

Valmiit smoothiet erosivat toisistaan. Erot on selitettävissä vain kantaja-aineiden ominaisuuksilla. Taulukosta 12 nähdään, että smoothieiden tilavuudet olivat suuremmat silloin, kun käytettiin rasvatonta maitoa. Tilavuuden muutos oli suurimmillaan 175 %. Pienin tilavuuden muutos (110 %) havaittiin kun käytettiin ykkösmaitoa ja puolukkamehujauheena oli vertailunäyte. MD-smoothiessa ilmakuplat asettuivat vaahdoksi nestefaasin päälle. Vaahto oli kestävä ja se oli selvästi irti nestefaasista. MD muodosti paksuimman vaahtopatsaan molemmilla maidoilla, vaikkakin 1 %:n maidolla vaahtopatsas oli matalampi.

WPI-smoothiessa ilmakuplat olivat suuria ja ne olivat jakautuneet nestefaasiin. Kuplien suuri koko teki rakenteesta kuitenkin epästabiilin. Ilmakuplat lähtivät nousemaan kohti nesteen pintaa ja WPI-smoothie erottui neste- ja vaahtofaaseiksi. Sama ilmiö oli havaittavissa myös MD+WPI-smoothiessa. Vertailu-smoothie muistutti MD-smoothieta.

**Taulukko 12.** Smoothieiden väliset erot kantaja-aineittain rasvattomalle maidolle (0%) ja ykkösmaidolle (1%) tilavuuden muutosprosentteissa (%) ja vaahtopatsaan korkeudessa. Vaahtopatsaan korkeudella tarkoitetaan mittalasisissa olevan smoothien pinnalla olevaa erillistä vaahtokerrosta.

	MD	WPI	MD+WPI	Vertailunäyte
Tilavuus alussa (ml)	200	200	200	200
Tilavuus sekoituksen jälkeen 0 % (ml)	350	350	300	350
Tilavuus sekoituksen jälkeen 1 % (ml)	280	280	250	220
Tilavuuden muutosprosentti 0 % (%)	175	175	150	175
Tilavuuden muutosprosentti 1 % (%)	140	140	125	110
Vaahtopatsas smoothien pinnalla 0 % (cm)	2,5	0,5	0,5	1,0
Vaahtopatsas smoothien pinnalla 1 % (cm)	0,8	0,5	0,3	0,5

Smoothiet erosivat toisistaan ulkonäön perusteella. Liitteessä 3 näkyvät erot ulkonäössä smoothieiden välillä. Erot aiheutuivat smoothieiden väristä ja faasien erottumisesta. Maitojen rasvapitoisuudella ei ollut merkitystä smoothieiden ulkonäköön.

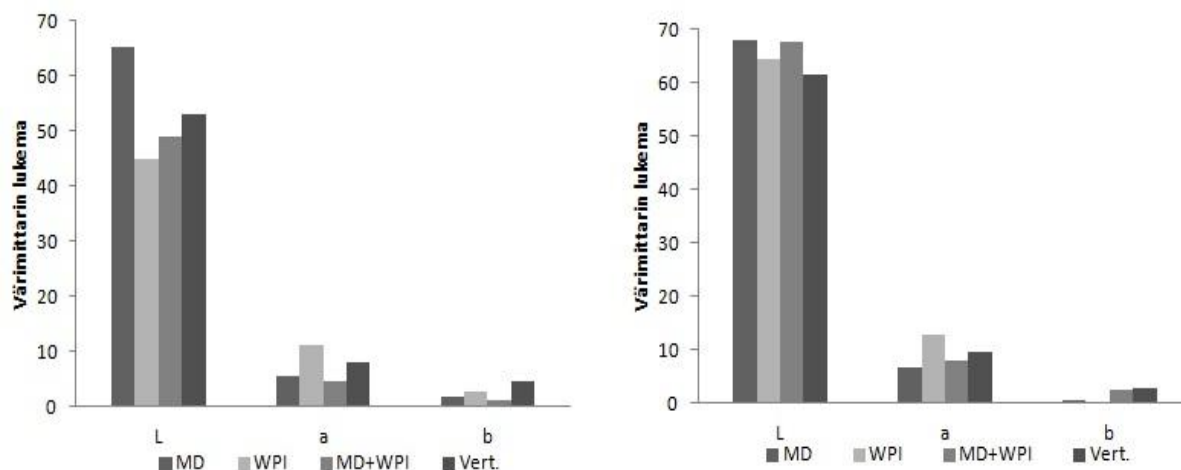
MD-smoothie oli väriltään violetinvaaleanpunainen. Rakenne oli tasainen ja suutuntuma pehmeä. Säilytyksen jälkeen MD-smoothie oli säilyttänyt rakenteensa ja värinsä. WPI-smoothie oli väriltään vaaleanpunaista. WPI-smoothie alkoi erottua faaseihin hyvin nopeasti sekoituksen päätyttyä. Ensin smoothiesta nousivat pintaan ilmakuplat, jonka jälkeen WPI-smoothien vaahto alkoi ”repeillä”. Noin 15 minuutin kuluttua smoothiessa oli nähtävissä mehumainen nestefaasi, jonka päällä oli vaahtokerros. Nestefaasi oli väriltään

kauniin punainen ja muistutti mansikkamehua. Vaahto oli vaaleanpunaista. Lasiastian pohjalle oli muodostunut ohut kerros sakkaa.

MD+WPI-smoothie oli keskiarvo MD- ja WPI-smoothiesta. MD+WPI-seos erottui samalla tavalla kuin WPI-smoothie. Erottumisen jälkeen nestefaasi oli väriltään ruskeanoranssia. Lasipurkin pohjalla oli myös ohut kerros sakkaa kuten WPI-smoothiessa. Vertailu-smoothie muistutti MD-smoothieta. Vertailunäyte kuitenkin teki väristä tummemman ja sinertävämmän. Smoothien olisi voinut luulla olleen mustikkasmoothie.

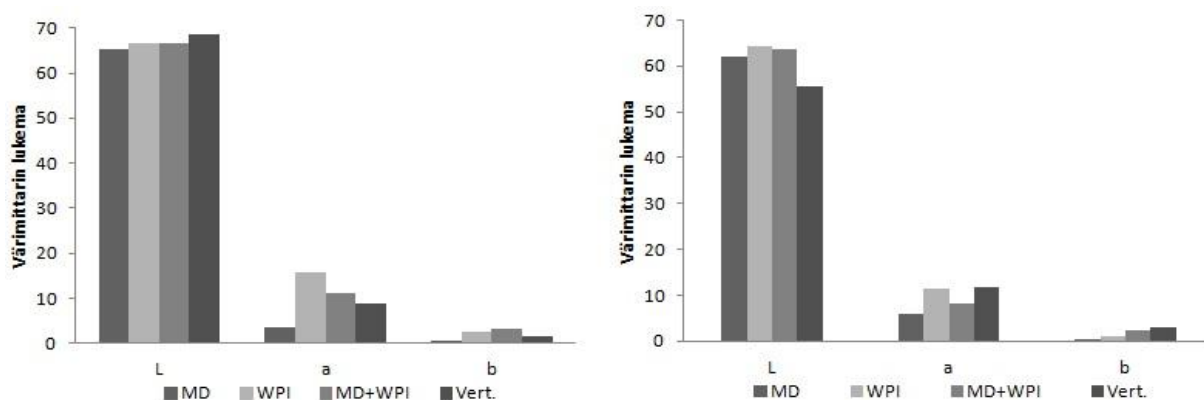
Smoothieiden värit pysyivät ennallaan 6 vuorokauden ajan (4 °C). WPI- ja MD+WPI-smoothieissa ei ollut tapahtunut lisää faasien erottumista. Ainoastaan vaahtopatsaat smoothieiden pinnoilla olivat hieman painuneet ja kuivuneet. Vaahdon kuivuminen näkyi kasaanpainumisena ja lasipurkin reunoille kuivuneina kuplina. WPI-smoothiella oli edelleen suurimmat ilmakuplat ja ne olivat pysyneet rikkoutumattomina.

Kuvissa 5 on esitetty värimittarin tulokset. MD-smoothie, joka sisälsi 0 % rasvaa, oli vaalein (L=65,19). Tummin oli WPI-smoothie (L=44,76). Värimittarin tulokset sopivat yhteen ulkonäköhavaintojen kanssa. Kun smoothiessa oli rasvaa 1 %, vaalein smoothie ei ollut enää WPI-smoothie vaan vertailu-smoothie (L=61,47). Erot olivat kuitenkin hyvin pieniä ja eikä niitä ollut havaittavissa silmämääräisesti.



**Kuva 5.** Värimittarin mittaustulokset puolukkasmoothieiden nestefaasin väreille. Vasemmassa kuvassa on puolukkasmoothie, jossa on 0 % rasvaa. Oikealla kuvassa on puolukkasmoothie, jossa on 1 % rasvaa. L\* kuvaa valoisuutta eli valkoisen ( $L^*=100$ ) ja mustan ( $L^*=0$ ) värisuhdetta, a\* punaisen ( $a^*=100$ ) ja vihreän ( $a^*=0$ ) värisuhdetta ja b\* keltaisen ( $b^*=100$ ) ja sinisen ( $b^*=0$ ) värisuhdetta.

Kuvassa 6 on esitetty värimittaustulokset smoothiiden vaahdon väreille. Kuvasta nähdään, että värimittarin lukemat ovat lähellä toisiaan kaikilla smoothieilla. Eniten vaihtelua on a\*-arvolla. Punaisin oli WPI-smoothie. Sama havainto on nähtävissä myös kuvassa 5, jossa oli mitattu smoothien nestefaasin väriä. Keltaisuutta on smoothiiden värimittaustuloksissa todella vähän. Keltaisuutta kuvaava b\*-arvo on kaikilla smoothienäytteillä alle 2,8.



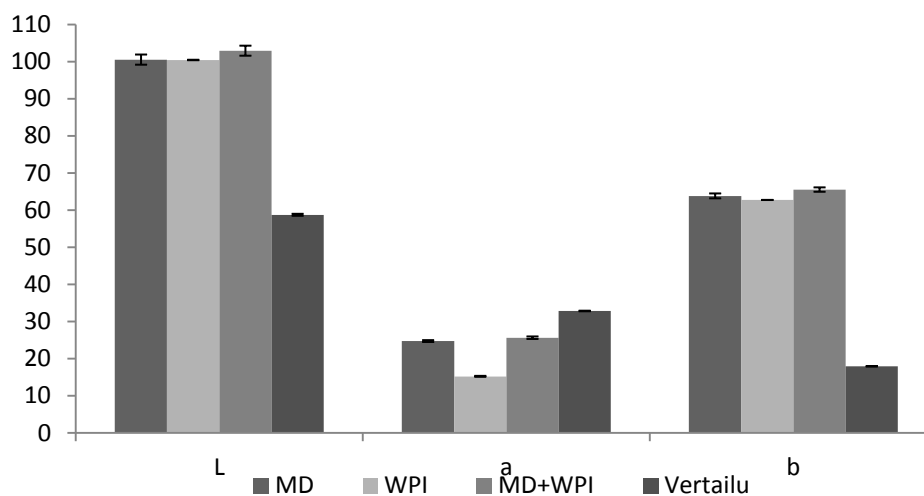
**Kuva 6.** Värimittaustulokset puolukkasmoothieiden vaahdon väreille. Vasemmassa kuvassa on puolukkasmoothie, jossa on 0 % rasvaa. Oikealla kuvassa on puolukkasmoothie, jossa on 1 % rasvaa. L\* kuvaa valoisuutta eli valkoisen ( $L^*=100$ ) ja mustan ( $L^*=0$ ) värisuhdetta, a\* kuvaa punaisen ( $a^*=100$ ) ja vihreän ( $a^*=0$ ) värisuhdetta ja b\* keltaisen ( $b^*=100$ ) ja sinisen ( $b^*=0$ ) värisuhdetta.

Puolukkasmoothieiden makua arvioitiin aistinvaraisesti havainnoiden eikä apuna käytetty aistinvaraista raatia. Smoothiet maistuivat puolukalle eikä kantaja-aineiden välillä ollut havaittavissa eroja. Suutuntumaltaan smoothiet olivat pehmeitä ja tasaisia. Jälkimaku oli rasvainen vaikka rasvaa smoothieissa ei ollut kuin 0 ja 1 %.

### 3.3.4.2 Margariinipohjainen puolukkalevite

Puolukkalevitteiden välillä ei ollut suurta eroa pH:ssa vaan kaikki puolukkalevitteet olivat pH alueella 2,7–3,1. Hajonta pH-alueella voi johtua puolukkamehujauheen epätasaisesta jakautumisesta levitteessä.

Margariinipohjaisesta puolukkalevitteestä mitattiin väri. Kuvasta 7 nähdään, että vertailunäyte-levite eroaa muista näytteistä kaikkien väriarvojen kohdalla.



**Kuva 7.** Puolukkalevitteiden värimittaustulokset ja keskihajonnat. L\* kuvaa valoisuutta eli valkoisen (L\*=100) ja mustan (L\*=0) värisuhdetta, a\* kuvaa punaisen (a\*=100) ja vihreän (a\*=0) värisuhdetta ja b\* keltaisen (b\*=100) ja sinisen (b\*=0) värisuhdetta.

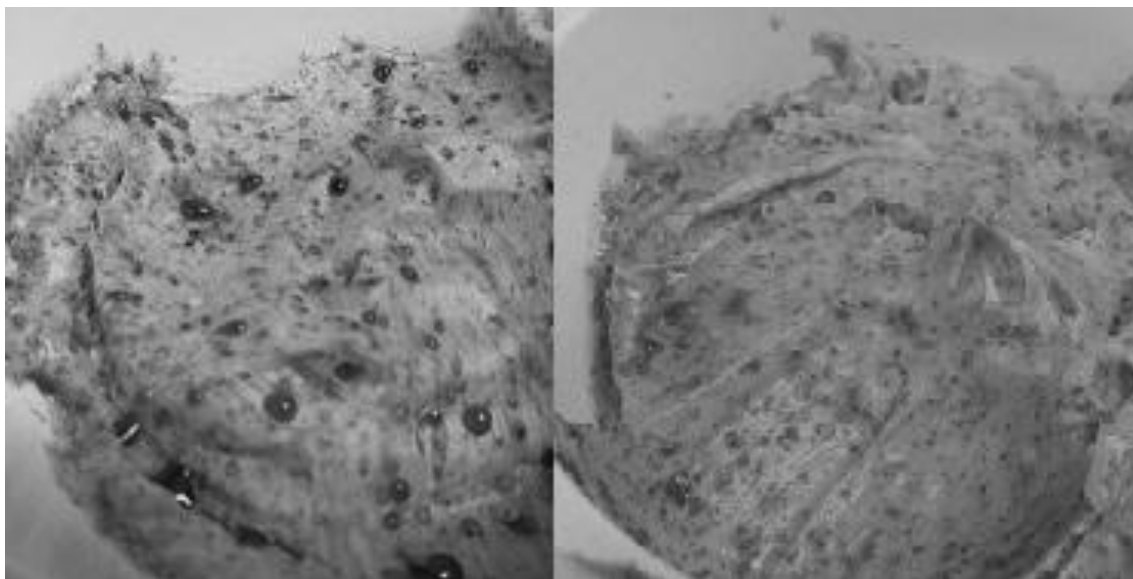
Kun verrataan kuvan 7 L\*a\*b-arvoja liitteeseen 3, huomataan, että vertailunäyte-levite on kaikkein tummin, sen L-arvo oli kaikkein pienin. Suurin L-arvo on MD+WPI-levitteellä eli Minolta värimittarin mukaan kyseinen näyte olisi kaikkein vaalein.

Punaisen ja vihreän suhdetta kuvaa  $a^*$ -arvo. Liitteen 3 perusteella kaikista punaisin olisi WPI-levite. Kuvasta 7 nähdään, että WPI-levite on saanut pienimmän  $a^*$ -arvon levitteistä (15,2). Pieni  $a^*$ -arvo on lähinnä vihreää väriä ja suuri  $a^*$ -arvo ilmentää punaista. Korkeimman  $a^*$ -arvon sai vertailunäyte (32,8), joka oli Minoltan mittauksen perusteella kaikkein punaisin näyte.

Viimeinen arvo on  $b^*$ -arvo, joka ilmentää keltaisen ja sinisen suhdetta. Vertailunäyte-levite sai Minoltan mittauksen perusteella kaikkein pienimmän arvon (17,9) eli se olisi levitteistä kaikkein sinisin. Suurimman  $b^*$ -arvon (65,5) sai MD+WPI-levite ollen kaikista näytteistä keltaisin. Ero MD- ja WPI-levitteisiin ei ole suuri.

Rakenteeltaan kaikki levitteet olivat samantyyllisiä. Levitteiden pinta kiilsi voimakkaasti ja näytti jopa vetiselle, mutta pinnalla ei ollut nestettä. Levitteiden viskositeetit olivat myös lähellä toisiaan. Puolukkamehujauheiden sekoittumisessa margariiniin oli havaittavissa eroja. Puolukkamehujauhe ja margariini oli helppo sekoittaa, mutta kuten liitteestä 3 nähdään, vertailu-puolukkamehujauhe sekoittui margariiniin parhaiten.

Kaikkien puolukkalevitteiden pinta oli menettänyt kiiltonsa ja pinta näytti kuivaneelle 4 vuorokauden jääkaappisäilytyksen jälkeen. Muutama vesipisara oli tiivistynyt puolukkalevitteiden pinnalle ja puolukkamehujauhepaakut olivat edelleen liukenematta. Vertailunäyte-levite poikkesi muista levitteistä, kuten kuvasta 8 on nähtävissä. Vertailu-puolukkamehujauhe oli liennut ilmasta tai margariinista tulleeteseen veteen ja puolukkamehulta näyttävä neste hikoili margariinin pinnalla nestepisaroiden tavoin. Vertailu-puolukkamehujauhe ei kuitenkaan ollut liennut margariiniin.



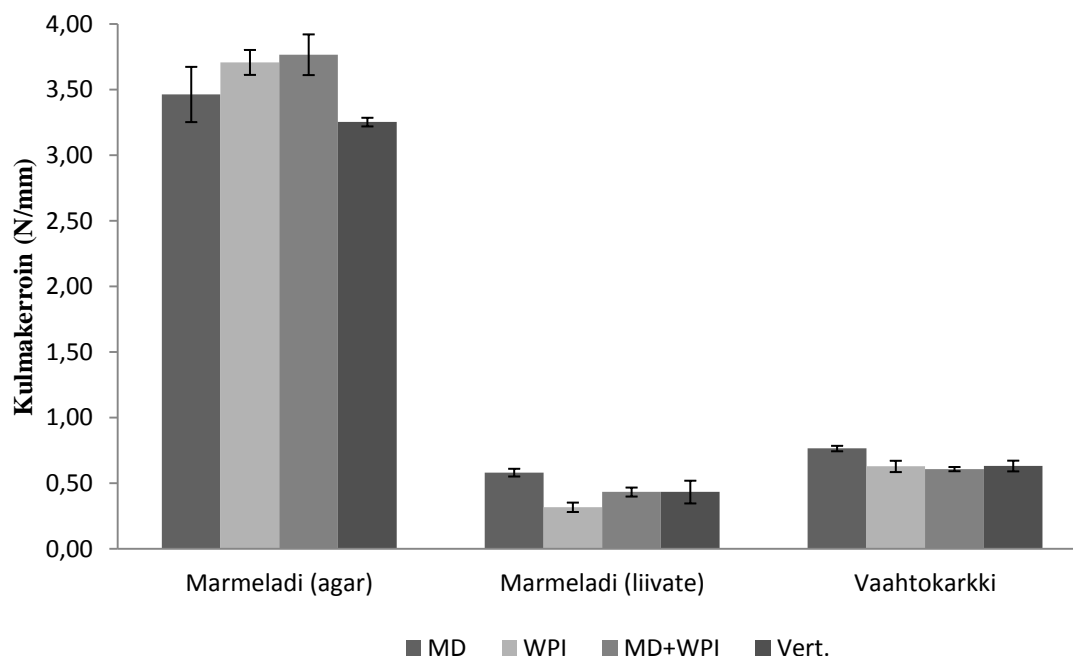
**Kuva 8.** Puolukkalevitteen pintojen erot säilytyksen jälkeen. Vasemmalla vertailunäyte-levite ja oikealla MD+WPI-levite.

Huonosti margariinin joukkoon sekoittuneet jauhepartikkelit maistuivat levitteessä happamina kohtina. Levitteen sekaan oli lisätty sakkaroosia, mutta sokeri se ei riittänyt peittämään puolukan hapanta makua.

#### **3.3.4.3 Puolukkamarmeladi ja vaahtokarkki**

Kuvassa 9 on Instron-aineenkoestuslaitteen tulokset marmeladien ja vaahtokarkin kovuudelle. Agarilla valmistettu marmeladi oli selvästi liivateella valmistettua marmeladia kovempaa. Vaahtokarkki oli rakenteeltaan erilaista kuin marmeladit, mutta kovuudeltaan vaahtokarkki oli vähän liivatemarmeladia kovempaa. Keskihajonnat olivat kaikilla näytteillä pienet. Suurin keskihajonta (0,21) oli agarilla valmistetulla marmeladilla kun kantaja-aineena oli MD.





**Kuva 9.** Instronilla määritetyt kulmakertoimien keskiarvot ja keskihajonnat marmeladeille ja vaahtokarkille.

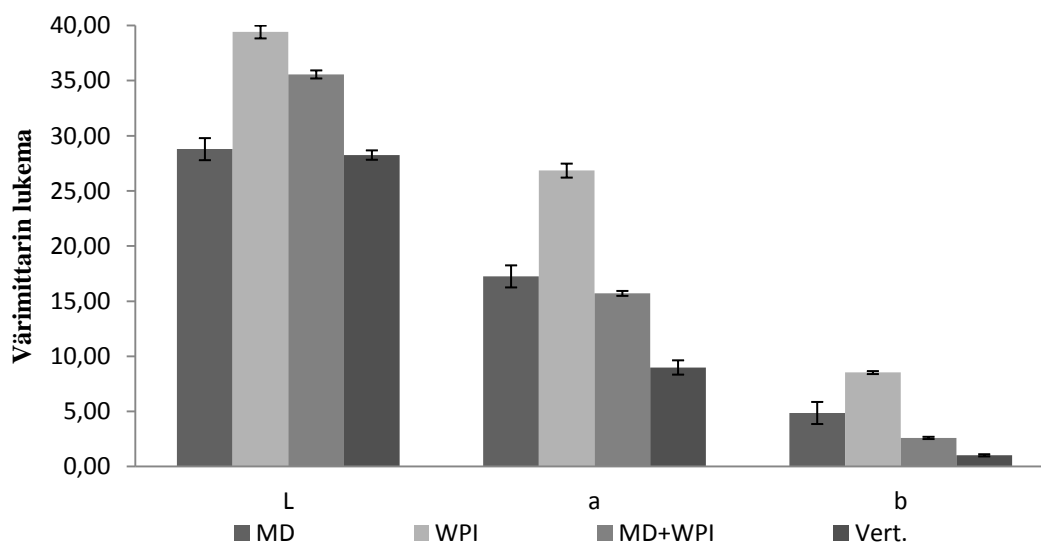
Vaikka agarin ja liivatteen välillä oli nähtävissä selvä ero kovuuksissa, kantaja-aineiden väliset erot eivät olleet yhtä merkittäviä. Vaahtokarkin valmistuksessa kantaja-aineet eivät näyttäisi vaikuttavan kovuuteen. Marmeladeissa kovuuserot kantaja-aineiden välillä olivat hieman suuremmat. Agarilla valmistetussa marmeladeissa vertailunäyte-marmeladilla oli pienin kulmakerroin (3,25 N/mm) ja MD+WPI-marmeladi suurin (3,77 N/mm). Liivatemarmeladeista suurin kulmakerroin oli MD-marmeladilla (0,58 N/mm) ja pienin WPI-marmeladilla (0,30 N/mm).

Agarilla valmistetut marmeladit alkoivat ”hikoilla” 4 vuorokauden säilytyksen jälkeen (4 °C). Agar-marmeladien pintaan kohosi kirkkaita pisaroita. Vertailunäyte-marmeladi oli poikkeus. Sen pinnalla oli vain kuivaa vaahtoa. Ulkonäöltään agar-marmeladit olivat sameita ja maitomaisia. Erityisen sameita olivat agarilla valmistetut WPI- ja MD+WPI-marmeladit. Vertailunäyte-marmeladien välillä ei ollut merkittävää eroa agar- ja liivate-marmeladin välillä. Instron-mittauksen aikana havaittiin myös, että

agar-marmeladien rakenne ei ollut yhtenäinen vaan marmeladin sisällä oli nesteen täyttämää koloja.

Liivate-marmeladit olivat rakenteeltaan kauniimman ja herkullisemmän näköisiä. Niiden värit olivat kirkkaampia verrattuna agar-marmeladeihin. Rakenne oli yhtenäinen ja pinta oli tasainen ja kiiltävä. Liivate-marmeladit eivät olleet hikoilleen ollenkaan.

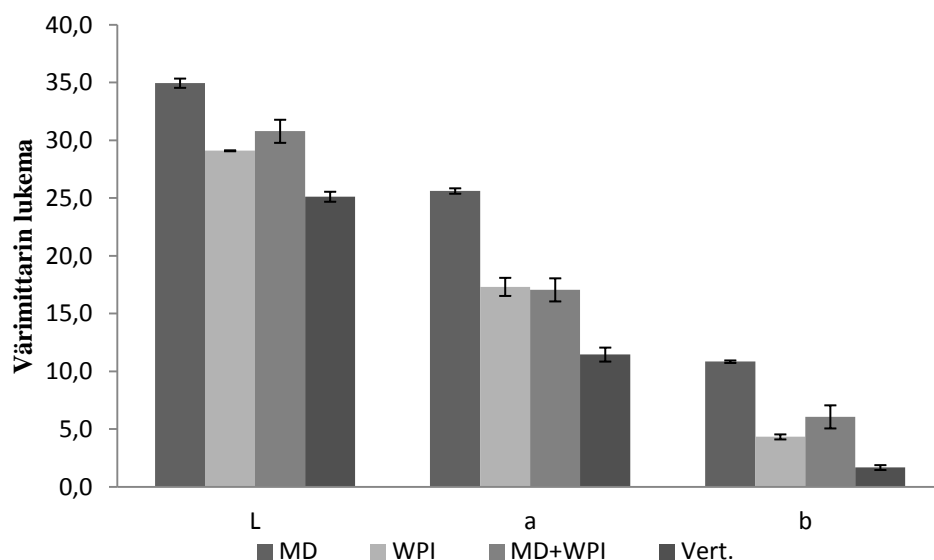
Kuvassa 10 on esitetty agarilla valmistetun marmeladin värimittaustulokset ja mittaustulosten keskihajonnat. Kuvasta nähdään, että kaikista tummin oli MD-marmeladi. Tummuudeltaan (L-arvo) vertailunäyte- ja MD-marmeladi olivat suurinpiirtein samansuuruisia. Vaalein oli WPI-marmeladi. Ero MD- ja WPI-marmeladien välillä oli havaittavissa jopa silmämääräisesti.



**Kuva 10.** Värimittaustulokset agar-marmeladeille. L\* kuvaa valoisuutta eli valkoisen (L\*=100) ja mustan (L\*=0) värisuhdetta, a\* kuvaa punaisen (a\*=100) ja vihreän (a\*=0) värisuhdetta ja b\* keltaisen (b\*=100) ja sinisen (b\*=0) värisuhdetta.

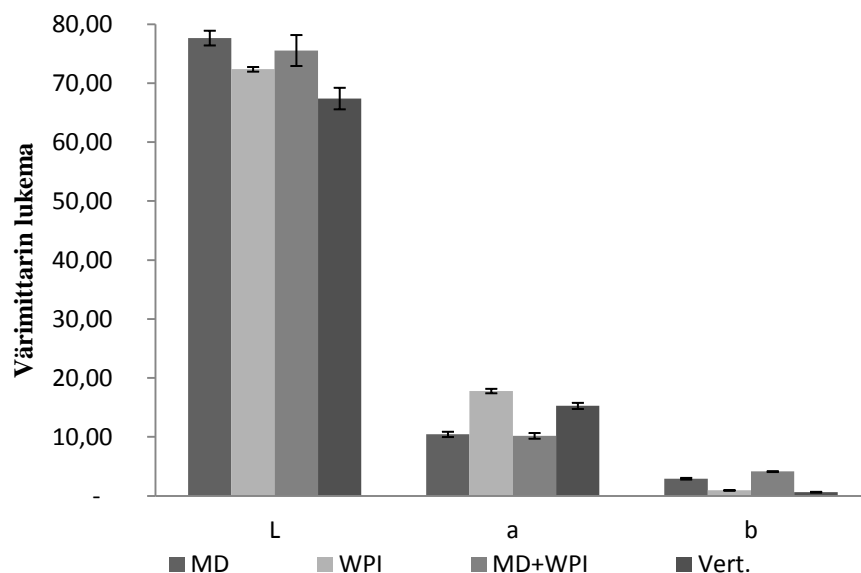
Kuvassa 11 on esitetty värimittaustulokset marmeladeille, jossa oli käytetty liivatetta. Kuvasta nähdään, että tummimmat marmeladit olivat vertailu- ja WPI-marmeladit. Kuvassa

15 MD-puolukkamehujauhe oli vertailunäytteen kanssa melkein yhtä tumma. Liivatteen ollessa osana marmeladia MD-marmeladi oli kaikista vaalein marmeladi.



**Kuva 11.** Värien mittaustulokset liivate-marmeladeille. L\* kuvaa valoisuutta eli valkoisen (L\*=100) ja mustan (L\*=0) värisuhdetta, a\* kuvaa punaisen (a\*=100) ja vihreän (a\*=0) värisuhdetta ja b\* keltaisen (b\*=100) ja sinisen (b\*=0) värisuhdetta.

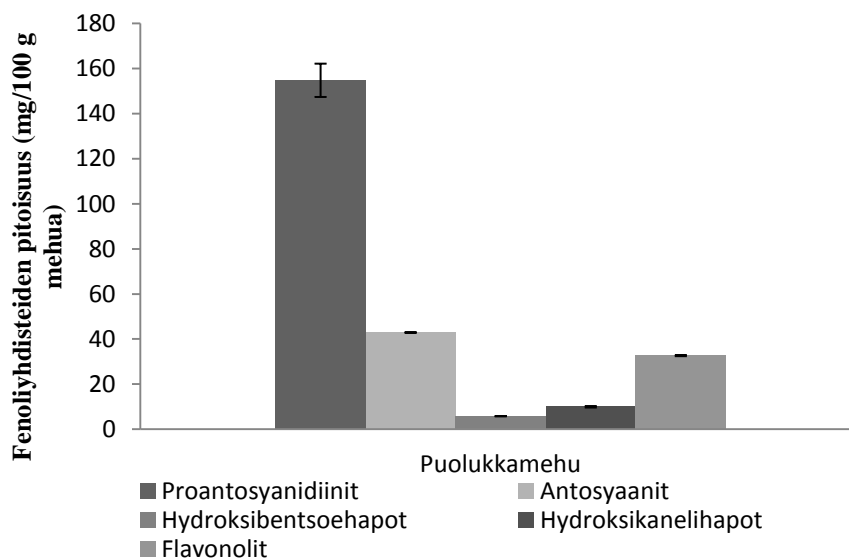
Kuvasta 12 nähdään, että kaikki puolukkavaahtokarkit olivat väriltään lähes yhtenäisiä ja kaikki puolukkamehujauheet soveltuisivat yhtä hyvin vaahtokarkkien valmistusaineiksi, sillä värit ovat hyvin lähellä toisiaan. L-arvo, joka kuvastaa valkoisen ja mustan välistä suhdetta, oli kaikilla vaahtokarkeilla suuri. Tämä tarkoittaa sitä, että vaahtokarkit olivat väriltään vaaleita tai jopa valkoisia. A\*-arvo kuvastaa punaisen ja vihreän suhdetta. Hieman yllättävää on, että a\*-arvot ovat kaikilla vaahtokarkeilla alle 20, jolloin väri oli enemmän vihreä kuin punainen. Vihreys tulee mahdollisesti vaahtokarkkimassan vaaleasta väristä. B\*-arvo, joka kuvaa keltaisen ja sinisen värin suhdetta, oli hyvin pieni. Vaahtokarkkien väri taittaa enemmän siniseen kuin keltaiseen. Tämä on helppo ymmärtää, sillä vaahtokarkeissa oli pieninä pisteinä tummanpunaisia tai jopa violetteja puolukkamehujauhepaakkuja.



**Kuva 12.** Vaahtokarkkien värimittaustulokset ja mittaustulosten keskihajonnat. L\* kuvaa valoisuutta eli valkoisen (L\*=100) ja mustan (L\*=0) värisuhdetta, a\* kuvaa punaisen (a\*=100) ja vihreän (a\*=0) värisuhdetta ja b\* keltaisen (b\*=100) ja sinisen (b\*=0) värisuhdetta.

### 3.3.5 Kokonaisfenoliprofiili

Kuvassa 13 on koottu puolukkamehun fenolisten yhdisteiden pitoisuudet ja niiden keskihajonnat. Puolukkamehu sisälsi selvästi eniten proantosyanidiineja (154,8 mg/100 g). Kokonaisfenolipitoisuudesta proantosyanidiinien määrä on noin 63 %. Toiseksi eniten puolukkamehu sisältää antosyaaneja (43,0 mg/100 g), joiden määrä kokonaisfenolipitoisuudesta on noin 17 %. Kolmanneksi eniten puolukkamehu sisältää flavonoleja (32,7 mg/100 g) ja niiden osuus kokonaisfenolipitoisuudesta on noin 13 %.



**Kuva 13.** Puolukkamehun fenolisten yhdisteiden pitoisuudet ja keskihajonnat.

Taulukkoon 13 on laskettu yhteen puolukkamehun ja puolukkamehujauheiden kaikkien fenolisten yhdisteiden pitoisuudet. Taulukosta nähdään, että sumutuskuivaus vähensi fenolisten yhdisteiden pitoisuutta. Puolukkamehussa fenolisten yhdisteiden pitoisuus oli 246,4 mg/100 g ja eniten fenoliyhdisteitä sisältäneessä WPI-puolukkamehujauheessa pitoisuus oli vain 3,6 mg/100 g.

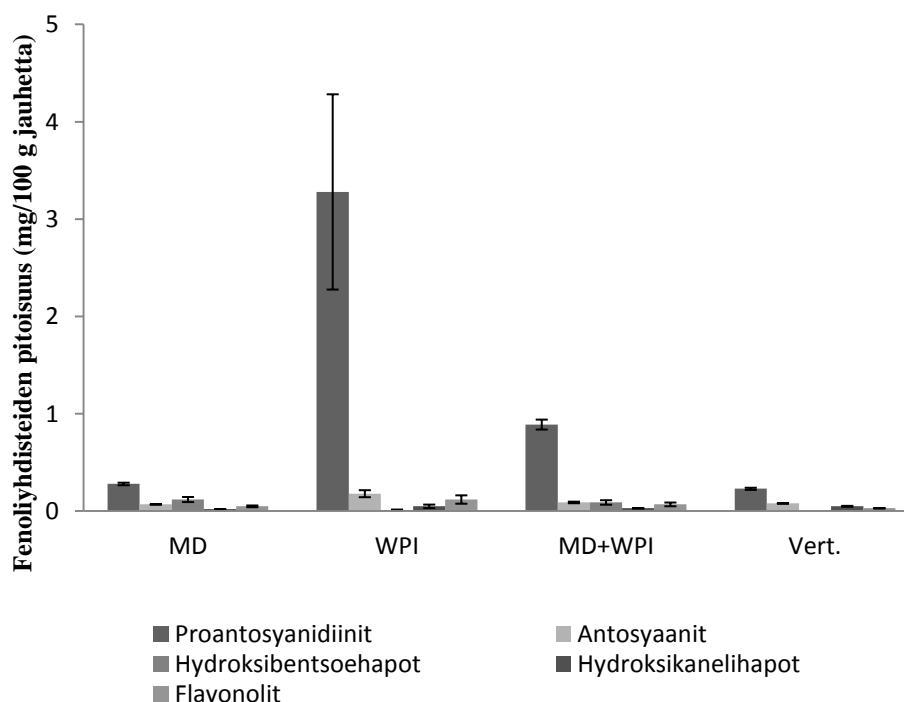
**Taulukko 13.** Puolukkamehun ja puolukkamehujauheiden kokonaisfenolipitoisuudet (kaikkien fenolisten yhdisteiden summa).

Näyte	Fenolisten yhdisteiden pitoisuus (mg/100 g)
Puolukkamehu	246,37
MD	0,54
WPI	3,64
MD+WPI	1,17
Vert.	0,39

Kuvasta 14 nähdään, että kantaja-aineella oli ainakin jonkin verran vaikutusta fenolisten yhdisteiden pitoisuuteen puolukkamehujauheissa. Eniten fenolisia yhdisteitä oli WPI-puolukkamehujauheessa. Erityisen paljon puolukkamehujauheissa oli

proantosyanidiineja, joita WPI-puolukkamehujauheessa oli 3,17 mg/100g. Toiseksi eniten proantosyanidiineja (0,85 mg/100 g) oli MD+WPI-puolukkamehujauheessa. Toiseksi vähiten proantosyanidiineja oli MD-puolukkamehujauheessa (0,28 mg/100 g). Vertailunäyte, jossa kantaja-aineena oli käytetty MD:tä, sisälsi proantosyanidiineja kaikista vähiten (0,23 gm/100 g).

Kuvasta 14 nähdään myös kolmen rinnakkaisen määrittelyn keskihajonnat. Keskihajonta oli erityisen suuri WPI-puolukkamehujauheen sisältämällä proantosyanidiineilla. Toisaalta kaikilla näytteillä oli havaittavissa jonkinlaista eroa rinnakkaisten määrittysten välillä.

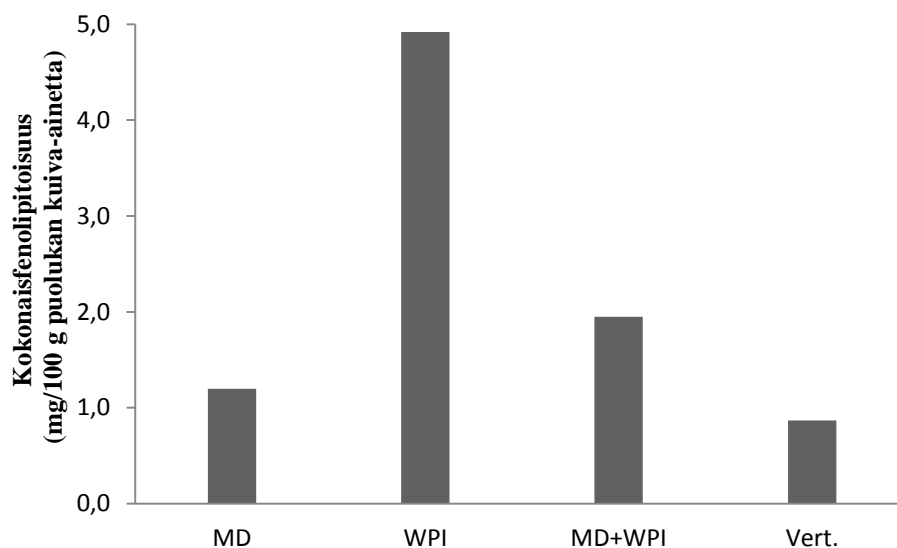


**Kuva 14.** Fenolisten yhdisteiden pitoisuudet ja keskihajonnat puolukkamehujauheissa, joissa on käytetty kantaja-aineina maltodekstriiniä (MD), heraproteiini-isolaattia (WPI), niiden seosta (MD+WPI).

Koska puolukkamehujauheisiin lisättiin kantaja-aineita eri määrät verrattuna puolukkamehun kokonaiskuiva-ainepitoisuuteen, on kuvassa 15 laskettu fenolisten yhdisteiden kokonaispitoisuus niin, että kantaja-aineiden pitoisuuden vaikutus tuloksiin on

poistettu. Esimerkiksi WPI:tä lisättiin vain 25 % puolukkamehun kokonaiskuiva-aineesta kun MD:tä lisättiin 55 %. MD+WPI-seosta lisättiin 40 % puolukkamehun kokonaiskuiva-aineesta. Vertailunäytteen kantaja-ainepitoisuus oli myös 55 %.

Kuvasta 15 nähdään, että puolukkamehujauheiden välillä oli edelleen eroa vaikka kantaja-aineiden pitoisuudet oli otettu huomioon kokonaisfenolipitoisuutta laskettaessa. Puolukkamehujauheiden järjestys on pysynyt muuttumattomana ja fenolisia yhdisteitä on edelleen eniten WPI-puolukkamehujauheessa ja vähiten vertailunäytteessä.



**Kuva 15.** Puolukkamehujauheiden kokonaisfenolipitoisuus puolukan kuiva-ainepitoisuuteen verrattuna. Tuloksissa on huomioitu kantaja-aineiden pitoisuus puolukkamehujauheissa. Kantaja-aineina käytettiin maltodekstriiniä (MD), heraproteiini-isolaattia (WPI), niiden seosta (MD+WPI).

### 3.4 Pohdinta

#### 3.4.1 Sumutuskuivauksen onnistuminen

Kantaja-aineiden paremmuutta sumutuskuivauksessa on näiden tulosten perusteella vaikea vertailla. Lisäksi ympäristön olosuhteet olivat todella haastavat tahmeutuvien puolukkamehujauheiden sumutuskuivaukselle. Sumutuskuivausten aikana ulkona satoi vettä ja lämpötila oli noin 20 °C. Ulkona suhteellinen kosteus oli 97 % ja sisällä 58 %.

Maltodekstriinit on valmistettu tärkkelyksestä ja maltodekstriinin käytöstä kantaja-aineena on saatu hyviä tuloksia. MD:n on todettu vähentävän jauheen tarttumista sumutuskuivauslaitteiston seinämiin (Bhandari ym. 1993, Langrish ym. 2007). Langrish ym. (2007) tutkivat kuinka maltodekstriini DE 18 ja rasvaton maito toimivat sumutuskuivauksen aikana ja miten ne tarttuvat kiinni sumutuskuivauslaitteistoon. Langrish ym. (2007) havaitsivat, että MD tarttui sumutuskuivauslaitteistoon vähemmän kuin rasvaton maito ja soveltui siten hyvin sumutuskuivaukseen. Kuivausolosuhteina tutkimusryhmä käytti sisäänmenolämpötilana 230 °C ja kuivattavan nesteen kuiva-ainepitoisuus oli 9 %. Bhandari ym. (1993) puolestaan havaitsivat, että kantaja-ainepitoisuuden nostaminen vähensi jauheen kerääntymistä sumutuskuivaimeen. Kantaja-ainepitoisuutta voitiin tutkimusryhmän mukaan laskea, kun sisäänmenolämpötilaa laskettaisiin tai käytettäisiin maltodekstriiniä, jolla on korkea molekyylipaino.

Tässä tutkimuksessa maltodekstriiniä lisättiin 55 % puolukkamehun kuiva-ainepitoisuudesta ja maltodekstriinillä oli suuri molekyylipaino (DE 5–8). Näiltä osin tutkimuksessa käytettiin hyväksi havaittuja kantaja-ainepitoisuuksia. Jos kantaja-aineen määrää olisi lisätty 60 tai 70 %:iin asti, olisi puolukkamehujauheen puolukkapitoisuus laskenut todella pieneksi.

Sisäänmenolämpötilana käytetty 280 °C, oli korkeampi kuin useimmissa tutkimuksissa. Aikaisempien esikokeiden perusteella 280 °C oli havaittu sopivaksi sisäänmenolämpötilaksi puolukkamehua sumutuskuivattaessa. Bhandarin ym. (1993) ja Langrishin ym. (2007) tutkimustulokset sopivat tämän tutkielman tuloksiin. MD tarttui sumutuskuivurin seinämiin



muita kantaja-aineita vähemmän ja sumutuskuivainta puhdistettaessa MD-puolukkamehujauhe irtosi laitteiston seinämistä parhaiten. Lisäksi MD-puolukkamehujauheen saantoprosentti oli puolukkamehujauheista suurin.

WPI-puolukkamehujauhe oli jauheena hyvälaatuista, mutta sumutuskuivauksen aikana sen kanssa oli ongelmia. WPI:n käyttöä kantaja-aineena vaikeutti sen ominaisuus vaahtoutua. Lisäksi WPI-puolukkamehujauhetta piti harjata voimakkaasti putkistosta irti mikä viittaa siihen, että WPI-puolukkamehujauhe tarttui sumutuskuivaimen sisäpintoihin tiukemmin kiinni kuin MD-puolukkamehujauhe. Koska kuivausolosuhteet olivat molemmille puolukkamehuille samat, tämä ominaisuus on varmasti kantaja-aineista riippuvainen ominaisuus. MD+WPI-seos oli ”keskiarvo” edellä mainituista kantaja-aineista ja siinä näkyivät molempien kantaja-aineiden ominaisuudet.

### **3.4.2 Ennastaminen**

Ennastamisen tulosten perusteella mikään puolukkamehujauheista ei soveltuisi mehujuomien valmistukseen. Kaikki puolukkamehujauheet olivat ennastuksen jälkeen sameita ja maitomaisia. Vertailunäyte sen sijaan soveltuisi hyvin mehujuomien valmistukseen, sillä se liukeni hyvin ja muodostunut puolukkamehu oli kirkasta.

MD-puolukkamehujauhe oli ennastuksessa huonoin jauhe. MD-puolukkamehujauhe liukeni veteen mutta muodosti paakkuja, jotka oli rikottava liukenemisen mahdollistamiseksi. Sama ilmiö oli havaittavissa kun MD:iä lisättiin puolukkamehuun ennen sumutuskuivausta. Yousefin ym. (2010) tutkimuksessa parhaiten liukenevat kantaja-aineet olisivat arabikumi ja MD (DE 20) 92–95 %:n liukoisuudella. Yousefin ym. (2010) tutkimuksessa käytettiin MD:iä, jonka molekyylikoko oli pienempi kuin MD-puolukkamehujauheessa. Molekyylikoko voi osaltaan vaikuttaa MD-puolukkamehujauheen niukkaliukoisuuteen. MD-puolukkamehujauheen partikkelikoolla tuskin oli vaikutusta jauheen liukoisuuteen, koska Yousefi ym. (2010) kuvailevat myös arabikumin avulla valmistettua jauhetta hienojakoiseksi ja huokoiseksi. Silti jauhe liukeni hyvin veteen.

Yhteenvedona Yousefi ym. (2010) totesivat, että liukoisuuteen vaikutti erityisesti kantaja-aine ja joissain tapauksissa kantaja-ainepitoisuus. MD-puolukkamehujauheen tapauksessa 55 %:n lisäys kantaja-ainetta puolukkamehun kokonaiskuiva-ainepitoisuudesta tuntuu suurelle, mutta vertailu-puolukkamehujauhe oli valmistettu samalla 55 %:n kantaja-ainepitoisuudella ja kantaja-aineena oli käytetty maltodekstriiniä. Silti vertailu-puolukkamehujauhe liukeni veteen ja muodostunut mehu oli väriltään ja kirkkaudeltaan erilaista. Vertailu-puolukkamehujauheen MD:n DE-luvusta ei ole varmuutta, joten eri DE-luku voisi olla liukoisuuserojen taustalla. Lasisiirtymälämpötilojen perusteella vertailu-puolukkamehujauheen MD:n DE-luku voisi olla kuitenkin sama tai hyvin lähellä MD-puolukkamehujauheen DE-lukua.

Toinen syy, miksi nämä kaksi koostumukseltaan samanlaista puolukkamehujauhetta liukenivat täysin eri tavalla ja olivat erivärisiä, voi löytyä myös eroista sumutuskuivauksessa. On myös mahdollista, että vertailu-puolukkamehujauhe on jatkokäsitelty jotenkin sumutuskuivauksen jälkeen. Jatkokäsittely voi selittää liukoisuuden paranemisen, mutta ei niinkään puolukkamehujauheen väriä tai sitä miksi puolukkamehu oli toisella maltodekstriinillä täysin kirkasta ja toisella maitomaisen sameaa.

WPI-puolukkamehujauhe liukeni veteen hyvin, mutta mehu oli sameaa. WPI liukeni myös puolukkamehuun MD:iä paremmin. WPI:n liukoisuudesta on tehty tutkimus, jossa todetaan, että WPI:n liukoisuuden ei pitäisi heikentyä jos WPI:tä säilytetään alle 3 kuukautta alle 22 °C:ssa (Yildirim 2002). WPI:n liukoisuutta tutkittiin pH välillä 2,0 ja 9,0. Yildrimin tutkimuksessa parhaiten liukeni (99,6 %) WPI, jota oli säilytetty 0 kuukautta ja pH:n ollessa 5,0. Yildrimin (2002) ja Yousefin ym. (2010) tutkimusten liukoisuusprosenttien (MD 92–95 % ja WPI 99,6 %) perusteella on perusteltua, että WPI-puolukkamehujauheen liukoisuus oli parempi kuin MD-puolukkamehujauheen. Puolukkamehujauheiden säilytys saattaisi kuitenkin muuttaa puolukkamehujauheiden liukoisuutta, sillä Yildrim (2002) havaitsi, että 3 kuukautta säilytetystä WPI-jauheesta liukeni 84,3 %.

WPI-puolukkamehun liukoisuuteen saattoi vaikuttaa myös puolukkamehun pH ja se, että puolukkamehuun liuotettava WPI oli otettu suoraan avaamattomasta paketista, joka oli Yildrimin (2002) mukaan parhaiten liukenevaa WPI-jauhetta. Puolukkamehun pH oli kuitenkin matalampi (pH 2,7) kuin Yildrimin (2002) suosittama pH 5,0. Lisäksi puolukkamehujauheen WPI oli saattanut reagoida sumutuskuivauksen aikana puolukkamehun kuiva-aineiden kanssa ja muodostaa huonosti liukenevia rakenteita. Esimerkiksi proantosyanidit pystyvät muodostamaan proteiinien kanssa kestäviä sidoksia (Wang 2007).

### **3.4.3 Puolukkamehujauheiden vesipitoisuus**

Puolukkamehujauheiden vesipitoisuudet olivat pienet verrattuna esimerkiksi maitojauheen vesipitoisuuteen, joka Maaseutuviraston mukaan saisi olla enintään 3,5 % tai Kauppa- ja teollisuusministeriön asetuksen (458/2003) mukaan enintään 5 %.

Papadagis ym. (2006) sumutuskuivasivat rusinamehua ja käyttivät kantaja-aineena MD:iä (DE 6) 50 % rusinamehun kuiva-aineesta. Kantaja-ainepitoisuus oli siten hyvin lähellä MD-puolukkamehujauheen kantaja-ainepitoisuutta. Papadagis ym. (2006) määrittivät MD-rusinamehujauheen vesipitoisuudeksi 2,1 % ja MD-jauheelle 2,5 %. MD-puolukkamehujauheeseen verrattuna MD-rusinamehujauheen vesipitoisuus oli suurempi. MD-rusinamehujauheen vesipitoisuus oli määritetty samalla tavalla kuin MD-puolukkamehujauheen, mutta kuivauslämpötilana oli käytetty 70 °C ja kuivausaika oli vain vuorokauden. MD-puolukkamehujauhetta kuivattiin 50 °C:n lämpötilassa kolme vuorokautta. Kuivausajanpituus voi olla syynä eroon vesipitoisuuksissa rusinamehujauheen ja puolukkamehujauheen välillä.

Goula ja Adamopoulos (2010) tutkivat sumutuskuivatun appelsiinimehukonsentraatin vesipitoisuutta ja havaitsivat vesipitoisuuden vaihtelevan 1,9 ja 7,0 %:n välillä. Vesipitoisuuteen vaikutti sumutuskuivaksessa käytetty sisäänmenolämpötila ja MD:n DE-luku. Appelsiinimehujauheen vesipitoisuus oli matalin sisäänmenolämpötilan ollessa 140 °C (DE 6) ja korkein sisäänmenolämpötilan ollessa 110 °C (DE 21). Shrestha ym.

(2007) määrittivät myös appelsiinimehujauheiden vesipitoisuuksia. Kantaja-aineena tutkimusryhmä käytti MD:iä (DE 6). Shrestha ym. (2007) havaitsivat, että kantaja-ainepitoisuuden nostaminen laski appelsiinimehujauheen vesipitoisuutta. Matalin appelsiinimehujauheen vesipitoisuus oli 4,3 % ja korkein vesipitoisuus oli 4,5 %. MD-puolukkamehujauheen vesipitoisuus oli appelsiinimehujauheisiin verrattuna matala. Syynä tähän oli todennäköisesti puolukkamehujauhetta sumutuskuivattaessa käytetty 280 °C:n sisäänmenolämpötila, MD:n pieni DE-luku ja kantaja-aineen pitoisuus. Myös WPI- ja MD+WPI-puolukkamehujauheiden vesipitoisuudet olivat matalia verrattuna Shresthan ym. (2007) ja Goulán ja Adamopouloksen (2010) vesipitoisuustutkimuksiin.

Vertailu-puolukkamehujauheen vesipitoisuus oli tutkituista puolukkamehujauheista korkein. Syynä tähän voi olla esimerkiksi sumutuskuivauksessa käytetyt lämpötilat ja MD:n DE-luku. Goulán ja Adamopouloksen (2010) tutkimukseen viitaten voisi ajatella, että vertailu-puolukkamehujauheessa olisi käytetty DM:iä, jonka DE-luku olisi korkeampi kuin 6. MD-puolukkamehujauheen sumutuskuivauksen aikana ulostulolämpötila nousi kaikista korkeimmaksi (103 °C). Korkea ulostulolämpötila voi olla MD-puolukkamehujauheen matalan vesipitoisuuden syynä. WPI- tai MD+WPI-puolukkamehujauheilla ulostulolämpötila ei noussut yhtä korkealle vaan pysyi 80–95 °C:ssa vaihteluista huolimatta.

#### **3.4.4 Lasisiirtymälämpötilat**

Puolukkamehujauheiden lasisiirtymän aloituslämpötilat eivät ylittäneet 50 °C:n lämpötilaa. Matala lasisiirtymälämpötila näkyi puolukkamehujauheiden tahmeutena ja vaikeana käsiteltävyytenä normaalissa huoneilmassa. Puolukkamehujauheiden käsiteltävyyttä vaikeutti erityisesti jauheiden hygroskooppinen luonne. Kun puolukkamehujauhe imi itseensä kosteutta ilmasta, jauheen vesipitoisuus kasvoi. Vesipitoisuuden kasvaminen puolestaan laski lasisiirtymälämpötilaa, kuten lasisiirtymälämpötilatuloksista nähdään.

Puolukkamehujauhenäytteiden, joiden näyteastian kansiin oli tehty reikä, adsorboivat ilmasta kosteutta kun näyteastioita punnittiin ennen lasisiirtymälämpötilojen määrittystä. Ehkä tästä syystä WPI- ja MD+WPI-puolukkamehujauheiden lasisiirtymälämpötilat olivat

matalammat kuin 0 %:n suhteellisessa kosteudessa säilytettyjen näytteiden (ehjät kannet) lasisiirtymälämpötilat. MD- ja vertailu-puolukkamehunäytteiden, joiden kansiin oli tehty reikä, lasisiirtymälämpötilat olivat korkeammat kuin 0 %:n suhteellisessa kosteudessa säilytettyjen näytteiden (ehjät kannet) lasisiirtymälämpötilat. WPI- ja MD+WPI-puolukkamehujauheet olivat ehkä hygroskooppisempia kuin MD:iä sisältävät puolukkamehujauheet.

Lasisiirtymälämpötiloista näki myös, että MD:iä sisältävät puolukkamehujauheet (MD- ja vertailu-puolukkamehujauhe) olivat lasisiirtymälämpötiloiltaan samansuuruisia kaikissa suhteellisissa kosteuksissa. Samansuuruisten lasisiirtymälämpötilojen takia vertailu-puolukkamehujauheessa käytetty MD voisi olla DE-luvultaan lähellä 5–8. WPI-puolukkamehujauheen lasisiirtymälämpötila oli tutkituissa suhteellisissa kosteuksissa matalin. MD+WPI-puolukkamehujauheen lasisiirtymälämpötila oli MD- ja WPI-puolukkamehujauheiden välissä.

Mehujauheiden lasisiirtymälämpötilat ovat tutkimuksissa matalia. Shrestha ym. (2007) määrittivät appelsiinimehujauheelle lasisiirtymälämpötiloja ja käyttivät kantaja-aineena MD:iä (DE 5). Tutkimuksessa havaittiin, että kantaja-ainepitoisuuden kasvattaminen nosti lasisiirtymälämpötilaa. Saman havaitsivat Papadakis ym. (2006). Appelsiinimehujauheen lasisiirtymälämpötilat vaihtelivat 66,4 ja 97,3 °C:een välillä kantaja-ainepitoisuuden ollessa 50–75 % (Shrestha ym. 2007). Tutkimuksessa ei kerrottu, oliko appelsiinimehujauheita säilytetty millaisessa suhteellisessa kosteudessa ennen lasisiirtymälämpötilan määrittystä, joten lasisiirtymälämpötilojen vertailu on hieman haastavaa. Joka tapauksessa appelsiinimehujen lasisiirtymälämpötilat ovat korkeammat kuin puolukkamehujauheiden lasisiirtymälämpötilat. Lasisiirtymälämpötilaeroihin voivat vaikuttaa myös eroavaisuudet appelsiini- ja puolukkamehujauheiden koostumuksissa.

Yousefi ym. (2010) saivat granaattiomenamehujauheen lasisiirtymälämpötilaksi 52,8 °C kun kantaja-aineena oli käytetty arabikumia. Mikrokiteisen selluloosan lisääminen (3 %) kantaja-aineeksi nosti lasisiirtymälämpötilan 77,0 °C:seen. Mikrokiteisen selluloosan

lisäämistä voisi kokeilla myös puolukkamehun kantaja-aineeksi. Haittana on mikrokiteisen selluloosan niukkaliukoisuus (Cano-Chauca ym. 2005; Yousefi ym. 2010). Papadakis ym. (2006) määrittivät rusinamehujauheiden lasisiirtymälämpötilat 32 ja 65 °C:een välille. Rusinapitoisuus ja MD:n DE-luku vaikuttivat lasisiirtymälämpötilaan. Pieni DE-luku nosti lasisiirtymälämpötilaa eniten ja korkea rusinapitoisuus laski lasisiirtymälämpötilaa. Rusinamehujauheiden lasisiirtymälämpötilat olivat lähinnä puolukkamehujauheiden lasisiirtymälämpötiloja.

### **3.4.5 Käyttösovellukset**

Käyttösovelluksien tulosten perusteella mikään puolukkamehujauhe ei nouse esille erinomaisuutensa vuoksi vaikka, vertailu-puolukkamehujauhe oli käyttöominaisuuksiltaan monissa osioissa paras. Mm. vertailu-puolukkamehujauheen ennastamisominaisuudet olivat parhaat ja se vaikuttaa puolukkamehujauheen sopivuuteen käyttösovelluksissa. Lisäksi vertailunäytteellä oli tummempi väri kuin muilla puolukkamehujauheilla. Tummempi väri ja hyvä liukoisuus lisäsivät puolukkamehujauheen soveltuvuutta mm. marmeladien, smoothieiden ja vaahtokarkkien valmistukseen.

Vertailu-puolukkamehujauheen vesipitoisuus oli korkein puolukkamehujauheista ja se vaikutti puolukkamehujauheen käsiteltävyyteen heikentävästi. Korkea vesipitoisuus aiheutti tahmeutta ja tarttuvuutta verrattuna muihin puolukkamehujauheisiin. Lisäksi vertailunäyte adsorboi huoneilmasta kosteutta erityisen voimakkaasti ja jauhe muuttui jopa nestemäiseksi oltuaan puoli tuntia huoneilmassa.

Helpoiten käsiteltävä puolukkamehujauhe oli MD-puolukkamehujauhe, jonka vesipitoisuus oli matalin. MD-puolukkamehujauhe oli niukkaliukoisin ja jauheen väri oli vaalea. Poikkeus värin vaaleudessa oli agarilla valmistettu marmeladi, jossa MD-marmeladi oli toiseksi tummin heti vertailunäytteen jälkeen. Vaahtokarkkien valmistuksessa suurimman eron puolukkamehujauheiden välille toi värin vapautuminen vaahtokarkkimassaan. Vertailunäytteenä käytetty puolukkamehu värjäsi vaahtokarkkimassa kaikista parhaiten. MD-puolukkamehujauheen ongelma oli jälleen niukkaliukoisuus ja puolukkamehujauheen

jääminen paakuiksi vaahtokarkkimassan sekaan. WPI-puolukkamehujauhe liukeni paremmin vaahtokarkkimassaan kuin MD-puolukkamehujauhe ja oli siten toiseksi parhaiten soveltuva puolukkamehujauhe vaahtokarkkien valmistukseen. WPI:n vaahtoamisominaisuudet eivät tulleet esille käytännönsovellusten vaahtorakenteissa.

Parhaiten vaahtoa smoothieissa muodosti MD-puolukkamehujauhe ja sen muodostama vaahto oli myös kestävä. Vaahdon ja rakenteen kestävyys taustalla voi olla MD:n kyky nostaa viskositeettia, kuten havaittiin puolukkamehuissa, joihin kantaja-aineita lisättiin. MD-puolukkamehun viskositeetti oli selvästi korkeampi kuin WPI-puolukkamehun. Laun ja Dickinsonin (2005) tutkimuksessa havaittiin sakkaroosin parantavan vaahdon pysyvyyttä nostamalla nestefaasin viskositeettia. Nestefaasin viskositeetin kasvaminen hidastaa nesteen valumista ilmakuplien välistä. Tämä tutkimus osaltaan tukee myös MD:n vaahtorakenteen ylläpitävää toimintamekanismia. MD- ja vertailu-smoothie olivat smoothieista parhaita, koska niiden rakenne pysyi muuttumattomana säilytyksen ajan.

WPI-puolukkamehujauheilla tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että vaahdon muodostumiseen vaikuttaa pH. WPI muodostaa parhaiten vaahtoa pH:n ollessa 3,5–4,0. Vaahdon muodostuminen laski merkittävästi pH:n muuttuessa pH 4:stä pH 7:ään tai oli alle optimialueen (Marinova ym. 2009). Puolukkamehun pH:ksi mitattiin 2,7, joka oli selvästi alle optimi pH-alueen. Marinova ym. (2009) havaitsivat myös, että proteiinipitoisuuden kasvu lisäsi vaahtoutuvuutta ja paransi vaahdon pysyvyyttä. Vaahtoavuuden lisäämiseksi ja vaahdon pysyvyyden parantamiseksi WPI-smoothieen olisi voitu lisätä viskositeettia nostavaa yhdistettä ja lisätä puolukkamehujauheen kantaja-ainepitoisuutta. Kuidun lisäämisen oli havaittu lisäävän viskositeettia (Sun-Waterhouse ym. 2010). Kuidun lisääminen terveystuotteeseen olisikin hyvä keino, mutta kuidun lisääminen vaikutti heikentävästi smoothieiden aistittaviin ominaisuuksiin ja kuluttajien hyväksyntään (Sun-Waterhouse ym. 2010).

WPI:lle on tyypillistä vaahtorakenteen hajoaminen siten, että ilmakuplien välistä valuu vesi pois ja ilmakuplat kohoavat nestefaasin pinnalle (Marinova ym. 2009). Lopputuloksena on

toisistaan erottuneet neste- ja vaahtofaasi. Juuri näin tapahtui WPI-smoothieille säilytyksen aikana. Toinen ilmiö, joka WPI-smoothien vaahtorakenteessa havaittiin verrattuna MD- ja vertailu-smoothieen oli ero ilmakuplien koossa. MD- ja vertailu-smoothien vaahtofaasi koostui tasakokoisista ja pienistä ilmakuplista, kun taas WPI- ja MD+WPI-smoothieiden vaahtofaasi sisälsi muutamia suuria ilmakuplia, joita pienet ilmakuplat ympäröivät. Ilmiö oli havaittavissa WPI-smoothiessa paremmin kuin MD+WPI-smoothiessa. Tästä päätellen ilmiön taustalla on kantaja-aine WPI.

Weairen ja Hutzlerin (2001) mukaan kuplakoon jakautumisen taustalla oli kaasujen diffuusio ilmakuplien seinämien läpi. Diffuusio tapahtui pienistä ilmakuplista suuriin ilmakupliin, jolloin ilmakuplien kokojakauma muuttui. Kuplien kokojakauman muuttuminen ei välttämättä johtanut vaahton tilavuuden pienenemiseen, mutta suurien ilmakuplien seinämät olivat herkempiä repeämislle (Ivanov 1988). WPI- ja MD+WPI-smoothieissa oli nähtävissä rakenteen repeämistä säilytyksen aikana. Repeämät tulivat esille aivan faasien erottumisen alussa. Vaahtorakenne alkoi repeillä ja nestefaasi valui smoothien pohjalle. WPI- tai vertailu-smoothiella ei ollut nähtävissä tällaista repeilyä.

Kantaja-aineilla havaittiin olevan vaikutusta smoothieiden rakenteiden pysyvyyden lisäksi myös smoothieiden väriin. MD:tä sisältävien smoothiet olivat väriltään samanlaisia vaikka MD- ja vertailu-puolukkamehujauhe olivat väriltään hyvin erilaisia. WPI-smoothie oli väriltään kaikkein punaisin ja MD+WPI-smoothie oli ruskeaa.

Smoothieiden värit säilyivät 6 vuorokauden säilytyksen (4 °C) muuttumattomina. Sun-Waterhouse ym. (2010) tutkivat mm. smoothieiden värin voimakkuuden muutosta säilytyksen aikana ja värin havaittiin korreloivan kokonaisfenolipitoisuuden kanssa. Tutkimuksessa smoothieita säilytettiin 14 päivää 4 °C:n lämpötilassa ja kuitua oli lisätty 2,5; 4,5 ja 7,4 g/300 millilitraa smoothieta kohden. Sun-Waterhouse ym. (2010) havaitsivat, että fenoliset yhdisteet ja väri säilyivät paremmin silloin kun kuitua oli lisätty smoothieihin enemmän. Vähemmän kuitua sisältävät smoothiet olivat vaaleampia ja niissä oli enemmän keltaista ja punaista väriä. Säilytyskokeen kahdeksantena päivänä fenolisten yhdisteiden



pitoisuus oli vielä ennallaan, mutta päivän 14 jälkeen häviötä oli tapahtunut 54 %. Erityisesti punaisuudessa havaittiin muutosta 14 päivän säilytyksen jälkeen. Punaisuuden vähenemisen taustalla arvioitiin olevan antosyaanien tuhoutuminen.

Sun-Waterhousin ym. (2010) tutkimuksen perusteella saadaan tukea WPI-smoothien punaisimmalle värille. WPI-puolukkamehujauhe sisälsi eniten antosyaaneja verrattuna muihin puolukkamehujauheisiin. Antosyaanipitoisuus ilmeisesti näkyi smoothien värissä. Jos smoothieita olisi säilytetty 14 päivää, olisi smoothieiden värissä ehtinyt tapahtua enemmän muutoksia. Fenolisten yhdisteiden säilymisestä ei ole tehty paljon tutkimuksia, elintarvikkeiden prosessoinnilla ja varastointiajalla tiedetään kuitenkin olevan vaikutusta antosyaanipitoisuuteen (Törrönen 2006).

Liivateella ja agarilla valmistetut marmeladit poikkesivat toisistaan. Syy eroihin oli pääasiassa marmeladien erilainen rakenne ja väri. Suurin ero oli puolukkamehujauheiden tuoma väri. Liivateella valmistettu marmeladi ei soveltunut käyttökohteeksi MD+WPI-puolukkamehujauheelle vaan liivate-marmeladit muuttuivat ruskeiksi. Sama ruskea väri oli havaittavissa smoothieissa. Ilmeisesti MD+WPI kantaja-aineseos ei sovellu värintuojaksi elintarvikkeisiin, joissa on proteiinipohjaisia yhdisteitä. Ruskeaa väriä ei kuitenkaan esiintynyt vaahtokarkeissa. Toisaalta, ruskea väri voi olla lähtöisin sumutuskuivauksesta ja siellä tuhoutuneista fenolisista yhdisteistä. MD+WPI-puolukkamehujauhe oli ehkä ainoa puolukkamehujauhe, joka erottui muista, mutta erottumisen takana oli epämiellyttävä väri ja värin ilmentymisen epävarmuus. Esimerkiksi smoothieta valmistettaessa MD+WPI-puolukkamehujauhe värjäsi erottuneen nestefaasin oranssinruskeaksi, kun muut smoothiet olivat punertavia tai vähän sinipunaisia. Ruskeasta väristä johtuen DM+WPI-puolukkamehujauhe soveltui huonoiten käyttösovelluksiin.

Kiinteissä tai vähän vettä sisältävissä elintarvikkeissa puolukkamehujauheiden erot olivat vielä pienempiä kuin nestemäisissä tuotteissa. Puolukkalevitteessä puolukkamehujauheiden välille ei muodostunut selviä eroja. Vain vertailunäytteenä käytetty puolukkamehu alkoi

sulaa säilytyksen aikana ja se muodosti nestepisaroita levitteen pinnalle. Väriin vapautuminen puolukkamehujauheissa ei myöskään aiheuttanut suuria eroja puolukkamehujauheiden välille.

Puolukkajauheiden maku oli hyvin samanlainen kaikissa tuotteissa. Maun perusteella ei ollut mahdollista arvata, mikä puolukkamehujauhe on kyseessä. Bayramin ym. (2008) tutkimuksessa selvitettiin aromiyhdisteiden säilymistä sumutuskuivauksen aikana, kun kantaja-aineena käytettiin WPI:tä. Tutkimusryhmä havaitsi, että kuiva-ainepitoisuuden nostaminen 5 prosentista 25 prosenttiin lisäsi aromiyhdisteiden säilymistä 5 prosenttia. Puolukkamehujauheiden kohdalla ei tutkittu aromiyhdisteiden säilymistä. Puolukkamehujauheet olivat kaikki maultaan hyvin voimakkaita ja maistuivat puolukalle, joten voidaan sanoa, että ainakin puolukan aromiyhdisteet säilyivät hyvin kun kantaja-ainetta oli käytetty yli 25 % puolukkamehun kokonaiskuiva-ainepitoisuudesta. Smoothiessa puolukkamehujauhetta ja sokeria oli lisätty 10 g 200 millilitraan maitoa. Puolukkamehujauhe riitti hyvin värjäämään ja maustamaan maidon, vaikka ilmakuplien sekoittuminen maitoon yleensä peittää makua. Puolukan maku oli jopa paremmin maistettavissa kuin sokerin makeus.

### **3.4.6 Kokonaisfenolipitoisuuden määrittäminen**

Törrösen (2006) tutkimuksessa puolukan fenolisten yhdisteiden pitoisuudeksi saatiin noin 250 mg/100 g. Tulos tukee puolukkamehulle määritettyä tulosta, jossa puolukkamehun fenolisten yhdisteiden summaksi saatiin 246,4 mg/100 g. Puolukan ja marjojen fenolisten yhdisteiden pitoisuuksiin vaikuttavat monet tekijät, kuten lajike, kasvupaikan maantieteellinen sijainti, sääolosuhteet ja kypsyyssaste (Myllymäki ym. 2007).

Tärkein syy puolukkamehujauheiden matalalle fenolisten yhdisteiden pitoisuudelle löytynee sumutuskuivauksessa käytetyistä lämpötiloista. Sumutuskuivauksessa käytettiin sisäänmenolämpötilana 280 °C ja ulostulolämpötilana 90 °C, jotka ovat muihin tutkimuksiin verrattuna korkeat. Sisäänmeno- ja ulostulolämpötilat oli kuitenkin havaittu hyviksi puolukkamehun sumutuskuivauksessa ennakkokokeissa. MD-puolukkamehujauhetta

sumutuskuivattaessa ulostulolämpötila nousi muita korkeammaksi (103 °C). Ulostulolämpötila voi olla syynä MD-puolukkamehujauheen matalaan kokonaisfenolipitoisuuteen verrattuna WPI- ja MD+WPI-puolukkamehujauheisiin.

Puolukkamehujauheiden kerääntyminen sumutuskuivaimen seinämiin oli varmasti heikentänyt puolukkamehujauheiden laatua pienentämällä kokonaisfenolipitoisuutta, koska fenoliset yhdisteet ovat herkkiä lämmölle. Kuivauskammion seinämiltä kerätyt jauheet olivat altistuneet korkealle lämpötilalle pidempään kuin jauheet, jotka olisi kerätty talteen keräysastiasta (Langrish ym. 2007). Normaalisti sumutuskuivattava jauhe olisi näin korkeassa lämpötilassa vain muutaman sekunnin eikä lämpötila ehdi nousta 100 °C:n yläpuolelle (Modeira ym. 2010).

Cain ja Corken (2000) tutkimuksessa havaittiin, että yli 180 °C:een sisäänmenolämpötila ja yli 96 °C:een ulostulolämpötila lisäävät fenolisten yhdisteiden ja luontaisten väriaineiden tuhoutumista. Lisäksi Ersus ja Yurdagel (2007) havaitsivat, että ulostulolämpötilan laskeminen 107 °C:sta 102 °C:seen lisäsi antosyaanipitoisuutta 36,83–7,9 % kantaja-aineesta riippuen. Ma (2007) käytti sisäänmenolämpötilana 150 °C ja ulostulolämpötilana 80 °C ja 90 °C. Toisin kuin Ersus ja Yurdagel (2007) ja Cai ja Corke (2000) Ma (2007) ei havainnut merkitsevää eroa kokonaisfenolipitoisuudessa ulostulolämpötilojen välillä.

MD-puolukkamehujauhetta sumutuskuivattaessa Cain ja Corken (2000) esittämät lämpötilarajat ylittyivät. MD-puolukkamehujauheen väri ei kuitenkaan poikennut merkittävästi muista puolukkamehujauheista ollen vaaleampi, joten on vaikea sanoa vaikuttivatko sumutuskuivauslämpötilat puolukkamehujauheen luontaisiin väriaineisiin. Ersus ja Yurdagel (2007) havaitsivat myös, että maltodekstriinillä (DE oli 28–31) tapahtui sumutuskuivauksen aikana hapettumista ja aldehydyryhmän reaktioita, joiden seurauksena maltodekstriinin rakenne saattoi muuttua. Muutoksien takia maltodekstriini ei ehkä pystynytkään mikrokapseloimaan antosyaaneja. Mikrokapseloinnin avulla on mahdollista saada lämpöherkkiä yhdisteitä säilymään paremmin sumutuskuivauksen aikana.

MD-puolukkamehujauheen kokonaisfenolipitoisuus oli kuitenkin kaikista puolukkamehujauheista pienin. MD:n kemialliset reaktiot sumutuskuivauksen aikana voivat selittää MD-puolukkamehujauheen fenolisten yhdisteiden matalan pitoisuuden. Rakenteen muutokset voivat olla myös niukkaliukoisuuden syynä. MD-puolukkamehujauheen kokonaisfenolipitoisuutta on voinut pienentää myös jauheen rakenne. MD-puolukkamehujauhe oli ilmavaa ja hienojakoista. Yousefi ym. (2010) esittivät pohdinnoissaan, että jauheen ilmavuus olisi voinut altistaa antosyaanit hapelle ja näin ollen lisätä yhdisteiden tuhoutumista säilytyksen aikana. Proantosyanidiinien pidättyminen maltodekstriinirakenteisiin on myös mahdollista, sillä proantysyanidiinit pystyvät sitoutumaan hiilihydraattien ja proteiinien kanssa kestäväillä sidoksilla (Wang 2007). Tällaisessa tapauksessa näytteiden fenolipitoisuuden analysointi vaatisi uusien rakenteiden rikkomista esimerkiksi hydrolysoimalla.

WPI-puolukkamehujauheella kokonaisfenolipitoisuus oli puolukkamehujauheista korkein. Tämä voi johtua esimerkiksi jauheen paremmasta liukenemisestä 10-prosenttiseen metanoliin ennen UPLC-ajoa. Tällöin UPLC-laitteisto olisi havainnut fenoliset yhdisteet paremmin eikä yhdisteitä olisi jäänyt ruiskusuodattimeen. Lisäksi WPI-puolukkamehu oli ainoa puolukkamehu, jota ei tarvinnut pakastaa ennen sumutuskuivausta.

Tonon ym. (2010) havaitsivat acai-marjamehujauheen vesipitoisuuden vaikuttavan antosyaanipitoisuuteen. Mitä korkeampi vesipitoisuus jauheella oli, sitä nopeammin antosyaanit tuhoutuivat. Vesipitoisuuden vaikutus voi olla havaittavissa vertailu-puolukkamehujauheessa. Vertailu-puolukkamehujauheen fenolisten yhdisteiden pitoisuus oli matalin puolukkamehujauheista ja vesipitoisuus jauheessa oli korkein. Lisäksi vertailu-puolukkamehu oli valmistettu ennen muita puolukkamehujauheita. On siis mahdollista, että vertailu-puolukkamehujauheen fenolisten yhdisteiden pitoisuus oli ehtinyt vähentyä säilytyksen aikana.

Helposti tahmeutuvia tuotteita sumutuskuivattaessa näytteiden kerääminen kannattaisi tehdä jo sumutuskuivauksen aikana kuivauskammioista, mikäli sumutuskuivauslaitteisto soveltuu

tällaiseen. Sumutuskuivaimen valmistajan mukaan kuivauskammioista kerätty jauhe olisi hyvälaatuaista ja sitä voi verrata keräysastian jauheeseen.

#### 4 PÄÄTELMÄT

Puolukkamehujen sumutuskuivaus onnistui käyttämällä 280 °C:n sisäämeno- ja 90 °C:n ulostulolämpötiloja. Kantaja-aineet (MD, WPI ja MD+WPI) sopivat myös käytettäväksi puolukkamehun sumutuskuivauksessa. Kantaja-aine vaikutti puolukkamehujauheen ominaisuuksiin, joten käyttösovellusta mietittäessä olisi hyvä ottaa huomioon kantaja-aineen ominaisuudet.

Puolukkamehujauheiden ominaisuuksista tärkeimpiä olivat ennastettavuus, käsiteltävyys ja väri. Ennastettavuus vaikutti puolukkamehujauheen värin vapautumiseen. Niukkaliukoinen puolukkamehujauhe paakkuuntui ja liukeni vain jauhepartikkelin pinnalta, jolloin jauheen väri ei levittänyt tuotteeseen. Puolukkamehujauheen käsiteltävyyteen vaikutti eniten jauheen lasisiirtymälämpötila ja vesipitoisuus. Puolukkamehujauheiden väri vaihteli vaaleanpunaisesta tumman viininpunaiseen. Käyttösovelluksissa väriskaala vaihteli ruskeasta violettiin. Jos puolukkamehujauhetta käytettäisiin luontaisena väriaineena, olisi värin muodostumista ja säilymistä tutkittava lisää.

Puolukkasmoothie oli käyttösovelluksista mielenkiintoisin, koska se toi konkreettisesti esiin erot kantaja-aineiden välillä. MD- ja vertailu-puolukkamehujauheet sopivat hyvin osaksi puolukkasmoothieta, koska MD nosti smoothien viskositeettia ja ylläpiti smoothien rakennetta. Lisäksi MD- ja vertailu-puolukkamehujauheet toimivat luontaisina väriaineina smoothieissa. WPI:tä sisältävät puolukkamehujauheet eivät ylläpitäneet smoothien rakennetta vaan smoothie erottui neste- ja vaahtofaasiksi pian valmistuksen jälkeen. Kiinteissä käyttösovelluksissa (puolukkalevite, -marmeladit ja -vaahtokarkit) erot puolukkamehujauheiden välillä aiheutuivat pääasiassa värieroista.

Jos puolukkamehujauheesta haluttaisiin kehittää terveyttä edistävä tuote, olisi kokonaisfenolipitoisuuden oltava korkea. Tutkimuksessa käytetty sisäänmenolämpötila

saattoi olla liian korkea puolukkamehun fenolisille yhdisteille. Toisaalta on otettava huomioon haasteet fenolianalytiikassa, sillä puolukan fenoliyhdisteet saattavat muodostaa uusia komplekseja kantaja-aineiden kanssa.

## LÄHDELUETTELO

- Ahvenainen-Rantala R. 2007. Elintarvikkeiden pakkaaminen. Teoksessa: Järvi-Kääriäinen T, Ollila M. Toimiva pakkaus. 1.p. Helsinki: Hakapaino Oy. s. 50–5.
- Bayram OA, Bayram M, Terik AR. 2005. Spray drying of sumac flavour using sodium chloride, sucrose, glucose and starch as carriers. *J Food Eng* 69:53–60.
- Bayram OA, Bayram M, Terik AR. 2008. Whey powder as a carrier in spray drying of sumac concentrate. *J Food Eng* 31:105–19.
- Bhandari BR, Senoussi A, Dumoulin ED, Lebert A. 1993. Spray drying of concentrated fruit juices. *Drying Technol* 11:1081–92.
- Bhandari BR, Datta N, Howes T. 1997. Problems associated with spray drying of sugar rich foods. *Drying Technol* 15:671–84.
- Cai YZ, Corke H. 2000. Production and properties of spray-dried amaranthus betacyanin pigments. *J Food Sci* 65:1248–52.
- Cano-Chauca M, Stringheta PC, Cal-Vidal J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Sci* (4):420–8.
- Chen XD, Özkan N. 2007. Stickiness, functionality, and microstructure of food powders. Teoksessa: *Drying Technology*. Taylor & Francis Group. s 969–79.
- Ersus S, Yurdagel U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus Carota L.*) by spray drier. *J Food Eng* 80:805–12.
- Evira. 2007. Selvitys suomen Elintarvikemarkkinoilla käytettävistä terveystähteistä [sähköinen julkaisu]. Helsinki: Evira. 316 s. Saatavilla: <http://www.evira.fi/portal/fi/evira/julkaisut/?a=view&productId=188>.
- Evira. 2009: Lisäaineopas [sähköinen julkaisu]. Helsinki: Evira. Saatavilla: <http://www.evira.fi/uploads/WebShopFiles/1245060810034.pdf>
- Fellows PJ. 2000. Food processing technology: principles and practice. 2. p. Cambridge: Woodhead. 575 s.
- Figuerola FE. 2007. Dehydration of berries. Teoksessa: Zhao Y, toim. Berry fruit. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 313–34.
- Fineli: [www.fineli.fi](http://www.fineli.fi)
- Giusti MM, Wrolstad RE. 1996. Radish anthocyanin extract as a natural red colorant for maraschino cherries. *J Food Sci* 61(4):688–94.
- Goula AM, Adamopoulos KG. 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Sci* 11(2):342–51.
- Hellström JK, Mattila PH. 2008. HPLC determination of extractable and unextractable proanthocyanidins in plant material. *J Agric Food Chem* 56:7617–24.

- Ivanov IB. 1988. Thin liquid films: Fundamentals and applications. New York: Marcel Dekker. 379 s.
- Johanson K. 2005. Powder flow properties. Teoksessa: Onwulata C. toim. Encapsulated and powdered foods. Taylor and Francis. Boca Raton. s 331–61.
- Jurczak HE, Olney ES, keksijä; Kraftoo Corporation, New York, hakija. 8.8.1972. Marshmallow confection. U.S. Patent Office 3,682,659.
- Kim EHJ, Chen XD, Pearce D. 2009. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. J Food Eng 94:169-81.
- Kontiokari T, Nuutinen M, Pokka T, Koskela M, Uhari M. 2001. Randomised trial of cranberry-lingonberry juice and Lactobacillus GG drink for the prevention of urinary tract infections in women. [sähköinen julkaisu]. Oulu: University of Oulu. 5 s. Saatavilla: [http://www.bmj.com/highwire/filestream/360577/field\\_highwire\\_article\\_pdf/0.pdf](http://www.bmj.com/highwire/filestream/360577/field_highwire_article_pdf/0.pdf).
- Kylli P, Nohynek L, Puupponen-Pimiä R, Westerlund-Wikström B, Leppänen T, Welling J, Moilanen E, Heinonen M. 2011. Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*) and European cranberry (*Vaccinium microcarpon*) proanthocyanidins: isolation, identification, and bioactivities. J Agric Food Chem 59:3373–84.
- Laaksonen TJ, Roos YH. 2000. Thermal, dynamic-mechanical, and dielectric analysis of phase and state transitions of frozen wheat doughs. J Cereal Sci 32:281–92.
- Laine P, Kylli P, Heinonen M, Jouppila K. 2008. Storage stability of microencapsulated cloudberry (*Rudus chamaemorus*) phenolics. J Agric Food Chem 56:11251–261.
- Lau CK, Dickinson E. 2005. Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. Food Hydrocol 19:111–21.
- Long J, keksijä; Jason Long, Danbury. 22.7.2004. Marshmallow. Patent Application Publication 2004/0142092.
- Ma KLM. 2007. Effects of spray drying on antioxidant capacity and anthocyanidin content of blueberry and grape by-products. Michigan state University.
- MaHeVi Oy: <http://www.mahevi.com>. Tulostettu 23.5.2011.
- Milton CC, Stringheta PC, Cal-Vidal J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. Innovative Food Sci 6:420–8.
- Modeira GÉG, Cordeiro de Azeredo HM, Dantas de Medeiros MDF, Sousa de Brito E, De Souza ACR. 2010. Ascorbic acid and anthocyanin retention during spray drying of acerola pomace extract. J Food Process Preserv 34(5):915–25.
- Monzon J, keksijä; 222 W. Beaver Ave. 304, State College, Pa. 16801, hakija. 22.9.1992. Marshmallow. U.S. patent 329,526.
- MTV3: Smoothie on kesäkelin ykkösuoma. Saatavilla: <http://www.mtv3.fi/makuja/ajankohtaista.shtml?1122003>



- Myllymäki O, Morkkila M, Sainio T. 2007. Selvitys marjojen fenolihdisteiden eristämisen teknologiasta [sähköinen julkaisu]. Espoo: VTT. 18 s. Saatavilla: <http://www.sitra.fi/julkaisut/muut/marjojen%20fenolisten.pdf>.
- de Oliveira M, Maia GA, Wilane de Figueiredo R, de Souza ACR, de Brito ES, de Azeredo HMC. 2009. Addition of cashew tree gum to maltodextrin-based carriers for spray drying cashew apple juice. *Int J Food Sci Technol* 44:641–5.
- Papadakis SE, Bahu RE. 1992. The sticky issues of drying. *Drying Technol* 15:817–37.
- Papadakis SE, Gardeli C, Tzia C. 2006. Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technol* 24:173–80.
- Riihinen K. 2005. Phenolic compounds in berries [väitöskirja]. Kyo:n julkaisu C 187. Kuopio: University of Kuopio. 97 s. Saatavilla: [http://granum.uta.fi/granum/kirjanTiedot.php?tuote\\_id=13020](http://granum.uta.fi/granum/kirjanTiedot.php?tuote_id=13020)
- Sampels S, Sli MA, Vogt G, Mørkøre T. 2010. Berry marinades enhance oxidative stability of herring fillets. *J Agri Food Chem* 58:12230–7.
- Sharma R. 2005. Market trends and opportunities for functional dairy beverages [sähköinen julkaisu]. Adelaide, Austraalia: The 2005 dairy science world series conference. Saatavilla: <http://www.ozscientific.com/Presentations/Ranjan%20Sharma%20-%20Functional%20dairy%20foods%202005.pdf>
- Shrestha AK, Ua-arak T, Adhikari BP, Howes T, Bhandari BR. 2007. Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *Int J Food Prop* 10:661–73.
- Sloan EA. 2005. Top 10 global food trends. *Food Tech* 59.
- Sun-Waterhouse D, Nair S, Wibisono R, Wadhwa SS, Massarotto C, Hedderley DI, Zhou J, Jaeger SR, Corrigan V. 2010. Insights into smoothies with high levels of fibre and polyphenols: Factors influencing chemical, rheological and sensory properties. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 65:323–32.
- Suomen Lisäraavinne Oy: Lehdistöiedoite 10.3.2011. Saatavilla: <http://www.suomenlisaravinne.fi/uutiset.html?6>
- Tamime AY. 2009. *Milk Processing and Quality Management*. John Wiley & Sons. 350 s.
- Tonon RV, Bradet C, Hubinger MD. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried acai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Res Int* 43:907–14.
- Törrönen R. 2006. Tutkimustietoa marjojen terveellisyydestä ja terveysvaikutuksista. Elintarvikkeiden terveysvaikutusten tutkimuskeskus (ETTK), Kliinisen ravitsemuksen yksikkö, Kuopion yliopisto.
- Törrönen R. 2009. Marjojen terveysvaikutukset. Elintarvikeyrittäjyyden kehittämisen hankeseminaari. Kuopio 2.12.2009. [http://www.tkk.utu.fi/extkk/ruokasuomi/materiaalit\\_hankesem\\_12-2009\\_Torronen.pdf](http://www.tkk.utu.fi/extkk/ruokasuomi/materiaalit_hankesem_12-2009_Torronen.pdf)
- Valion keittokirja: <http://www.valio.fi/reseptit/#/haku%3Dmarja>

Wang SY. 2007. Antioxidant capacity and phenolic content of berry fruits as affected by genotype, preharvest conditions, maturity, and postharvest handling. Teoksessa: Zhao Y toim. Berry Fruit: Value-added products for health promotion. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 147–86.

Weaire D, Hutzler S. 2001. The physics of foams. Oxford University Press. 264 s.

Yildirim Z. 2002. Effects of storage time and temperature on the solubility of whey protein isolate. *Milchwissenschaft-milk Sci Int* 57:269–71.

Yousefi S, Emam-Djomeh Z, Mousavi SM. 2010. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). *J Food Sci Technol* 48:677–84.

### Liite 1. Lasisiirtymän alkamislämpötilan määrittämisessä käytetyt lämpötilaohjelmat.

DCS-näytteiden ajo-ohjelmat ja ohjelmien korjatut lämpötilat eri suhteellisissa (0, 11, 24, 33 ja 44 %) kosteuksissa säilytetyille puolukkamehunäytteille. 0% tarkoittaa puolukkamehunäytettä, jonka kanteen oli tehty reikä.

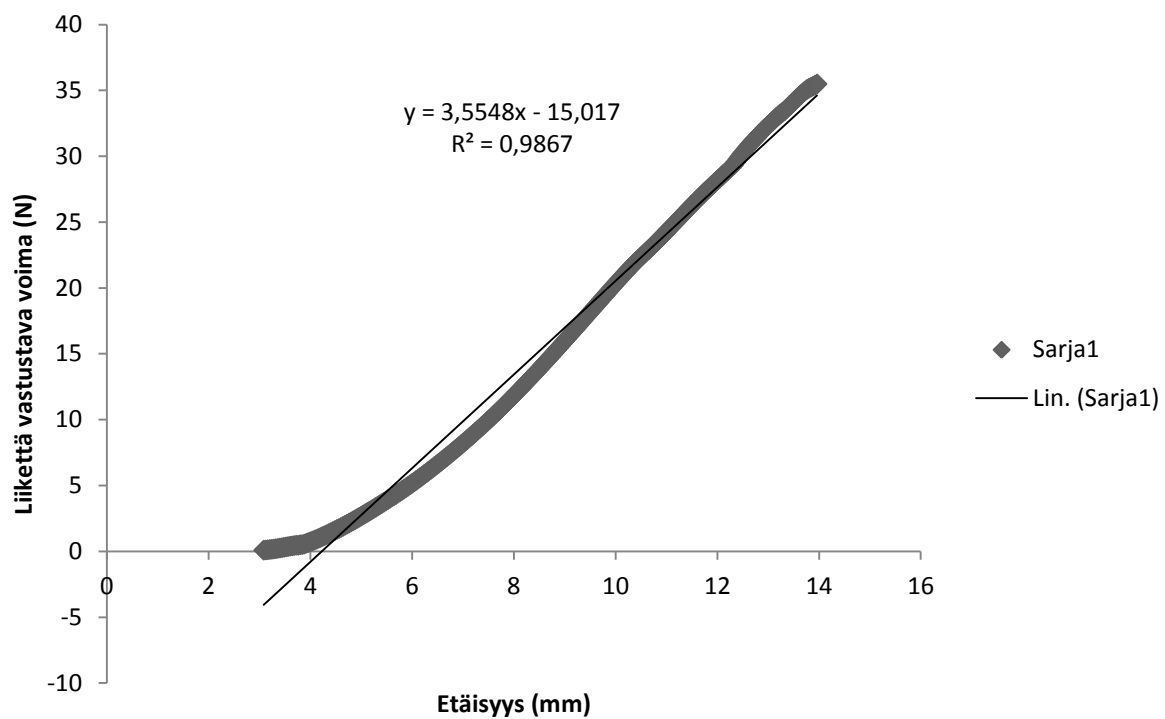
Näyte	0 %	0 %	11 %	24 %	33 %	44 %
MD	0-70; 70-0;0-70	0-70	0-60	0-50 korjattu: -20-60 ja -30-60	-30-30	-40-20
WPI	0-70; 70-0;0-70	-50-50 korjattu: 0-70	-20-50	-30-30	-50-10 korjattu: -40-20	-60-10
MD+WPI	0-70; 70-0;0-70	-10-60 korjattu: 0-70	0-50	-20-50	-40-20	-50-10
Vertailu	0-70; 70-0;0-70	0-70	0-60	-20-60 korjattu: -10-50	-30-30	-40-20

Puolukkamehujauheiden punnitusmäärät kokonaisfenoliprofiilin määrittämistä varten. Kokonaisfenoliprofiilin määrittämistä varten punnittiin kolme rinnakkaista näytettä.

Näyte	Punnittu määrä (mg)	Näyte	Punnittu määrä (mg)
MD <sup>A</sup>	2,40	MD+WPI <sup>A</sup>	2,40
MD <sup>B</sup>	0,90	MD+WPI <sup>B</sup>	1,23
MD <sup>C</sup>	1,39	MD+WPI <sup>C</sup>	1,17
WPI <sup>A</sup>	085	Vertailu <sup>A</sup>	1,64
WPI <sup>B</sup>	1,98	Vertailu <sup>B</sup>	1,13
WPI <sup>C</sup>	2,77	Vertailu <sup>C</sup>	2,51

## Liite 2. Esimerkki Instron-mittauksien tulosten kuvaajista.

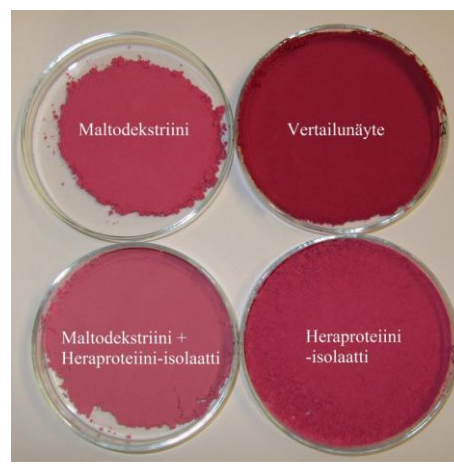
Kuvaajaan on otettu alun lineaarinen osuus. Yhtälön kulmakertoimen avulla on mahdollista vertailla eri näytteitä toisiinsa.



Liite 3. Kuvia puolukkamehusta, puolukkamehujauheista ja käytännönsovelluksista.



Kantaja-aineiden aiheuttamat erot puolukkamehun värissä ja vaahtoavuudessa. Vasemmalla WPI-puolukkamehu ja oikealla MD-puolukkamehu.



Kantaja-aineen vaikutus puolukkamehujauheen väriin.



Erot värissä, liukoisuudessa ja liuosten kirkkauksissa.



Erot puolukkasmoothieiden välillä (0 % rasvaa). Smoothiet ovat seisonet tässä vaiheessa noin tunnin.



Värierot eri kantaja-aineiden välillä valmiissa puolukkalevitteessä.