

# KASVIPOHJAISEN UMAMITUOTTEEN KUIVAUS



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikka, Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

syksy 2022

Hilla Nikkanen

Bio- ja elintarviketekniikka

Tekijä Hilla Nikkanen

Työn nimi Kasvipohjaisen umamituotteen kuivaus

Ohjaaja Ulla Moilanen

Tiivistelmä

Vuosi 2022

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, onko tilaajayrityksenä toimineen Nordic Umami Company Oy:n elintarviketeollisuuden sivujakeita hyödyntävä umamikastike kuivattavissa, sekä mikä olisi mahdollisesti paras kuivausmenetelmä kyseiselle tuotteelle. Kyseinen kastike on yhtiön kehittämä uusi innovaatio, joka tarjoaa vegaanisen sekä soijattoman kiertotalouden periaatteita noudattavan vaihtoehdon ruokien maustamiseen.

Työssä esitellään kolmen erilaisen nesteille sopivan kuivausmenetelmän toimintaperiaatteet. Nämä menetelmät ovat sumukuivaus, valssikuivaus ja kylmäkuivaus. Menetelmien energiatehokkuutta vertaillaan kirjallisuuden avulla. Lisäksi käytännössä kokeiltiin kahta menetelmää, sumu- ja kylmäkuivausta. Kuivauksessa saatavalle lopputuotteelle toivottuja ominaisuuksia olivat jauhemaisuus sekä liukoisuus. Lisäksi lopputuotteista analysoitiin väri, kuiva-ainepitoisuus, tilavuus, veden aktiivisuus sekä L-glutamiinihappopitoisuus, joka kertoo aistittavan umamikokemuksen voimakkuudesta.

Saatujen tulosten perusteella tuote on kuivattavissa. Kuivausmenetelmällä havaittiin olevan vaikutusta lopputuotteen liukoisuuteen sekä maun säilymiseen. Kylmäkuivauksella saatiin liukoisempaa sekä paremmin maun säilyttävää lopputuotetta. Tuote vaaleni kaikilla käytetyillä kuivausmenetelmillä. Kuivausmenetelmästä riippuen kuivatuissa tuotteissa oli alkuperäiseen tuotteeseen nähden 0,7–0,8 yksikköä matalampi veden aktiivisuus ja 61–72 prosenttiyksikköä korkeampi kuiva-ainepitoisuus, nämä tekijät lisäävät tuotteen säilyvyyttä. Tutkimuksissa havaittiin myös kuivauslämpötilan vaikuttavan L-glutamiinihappopitoisuuteen laskevasti.

Lopputuotteen ominaisuuksien perusteella kylmäkuivaus olisi paras kuivausmenetelmä. Kylmäkuivaukseen vaadittu laitteisto sekä energiankulutus lisäävät kuitenkin kysymyksiä sen kannattavuudesta, joten lähemmässä tarkastelussa myöskin hyvään lopputulokseen johtava sumukuivaus osoittautui parhaaksi vaihtoehdoksi kolmesta edellä mainitusta.

Valssikuivauksen toimivuus kyseisen tuotteen kuivaamiseen vaatisi lisätutkimuksia.

Avainsanat Umami, kuivaus, kastike, kiertotalous

Sivut 40 sivua

---

The commissioner of this thesis was Nordic Umami Company Oy. The aim of this thesis was to find out whether the company's umami sauce can be dried, and what would be the best drying method for the product. The company has developed a new kind of umami sauce which offers a vegan and soy-free alternative for seasoning food. This innovation also supports the principle of circular economy as the sauce is mainly made from by-products of food industry.

In this thesis, the operating principles of three different drying methods suitable for liquids were introduced. These methods were spray drying, drum drying and freeze-drying. In addition, the energy efficiency of the methods in question was compared using a literature review, and two methods, spray drying and freeze-drying, were tested in practice. The desired properties of the final product by drying were powder likeness and solubility. In addition, the end products were analyzed for color, dry matter content, volume, water activity and L-glutamic acid content, which indicates the intensity of the umami taste experience.

Based on the results obtained, the product can be dried. The drying method was found to have an effect on the solubility of the final product and on the preservation of taste. Furthermore, drying affects the product's color by changing it lighter. Compared to the original product the dried products had of 0.7–0.8 units lower water activity and 61–72 % higher dry matter content, both of which increase the shelf life of the product. The studies also found that the drying temperature had a decreasing the L-glutamic acid content.

In conclusion, the freeze-drying method for the sauces formed powder with excellent solubility and preserved the umami taste well. However, the equipment required for freeze-drying and its high energy need raise a question about its profitability. In closer studies, spray drying, which also leads to a good result, turned out to be the best option out of the three different drying methods mentioned above. The functionality of drum drying would require further studies.

Keywords Umami, drying, sauce, circular economy

Pages 40 pages

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Kuivaus.....	2
3	Erilaisia kuivausmenetelmiä .....	5
3.1	Sumu- eli spraykuivaus.....	6
3.2	Pakkas- eli kylmäkuivaus.....	8
3.3	Valssikuivaus .....	10
4	Kuivaus ja energiatehokkuus.....	12
5	Tutkimuskysymykset .....	14
6	Materiaalit ja menetelmät .....	14
6.1	Haihdotus .....	14
6.2	Kylmäkuivaus.....	15
6.3	Sumukuivaus .....	16
6.4	Analyysimenetelmät .....	17
6.4.1	Väri .....	17
6.4.2	Kuiva-ainepitoisuus .....	19
6.4.3	Veden aktiivisuus.....	20
6.4.4	L-Glutamiinihappopitoisuus .....	21
6.4.5	Tiheys.....	24
6.4.6	Liukoisuus .....	24
7	Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	24
7.1	Haihdotus .....	24
7.2	Kylmäkuivaus.....	25
7.3	Sumukuivaus .....	26
7.4	Analyysimenetelmien tulokset.....	29
7.4.1	Väri .....	29
7.4.2	Kuiva-ainepitoisuus .....	32
7.4.3	Veden aktiivisuus.....	34
7.4.4	L-Glutamiinihappopitoisuus .....	35
7.4.5	Tiheys.....	36
7.4.6	Liukoisuus .....	37

8 Johtopäätökset .....	39
Lähteet.....	41

## 1 Johdanto

Umamia esiintyy muun muassa sienissä, eläinperäisissä tuotteissa, pitkään kypsytetyissä juustoissa, soijassa sekä muissa palkokasveissa (Poojary, ym. 2017; Hajeb & Jinap, 2014; Drake, 2007). Se syventää elintarvikkeen makuja ja saa aikaan miellyttävän, herkullisen, lihaisaksikin kutsutun aistikokemuksen. Umami on tunnistettu ensimmäisen kerran vuonna 1908, kun japanilainen tiedemies Kikunae Ikeda tutki merilevöpohjaista keittolientä. Tutkimus osoitti, että liemessä esiintyvä herkullinen maku muodostuu aminohappo L-glutamiinista. Ikeda nimesi maun umamiksi ja ehdotti, että se tulisi lisätä viidenneksi perusmauksi happaman, karvaan, suolaisen ja makean rinnalle (Kawai, ym. 2009, ss. 667–671). Vuoden 1908 jälkeen umamitutkimuksia jatkettiin ja tänä päivänä umami kuuluu perusmakuihin (Ruokatieto, n.d.). Myöhemmät tutkimukset ovat myös osoittaneet umamiin, sekä aistikokemuksen voimakkuuteen, vaikuttavan muidenkin yhdisteiden, kuin L-glutamiinihapon. Tiedemiehet ovat löytäneet yhteensä 32 eri aminohapoista muodostuvaa peptidiä, joissa esiintyy umamia. Näiden lisäksi vuoden 2016 loppuun mennessä oli löydetty 20 peptidiä, joista on tehty kyseenalaistettuja umamihavaintoja ( Zhang, ym. 2016).

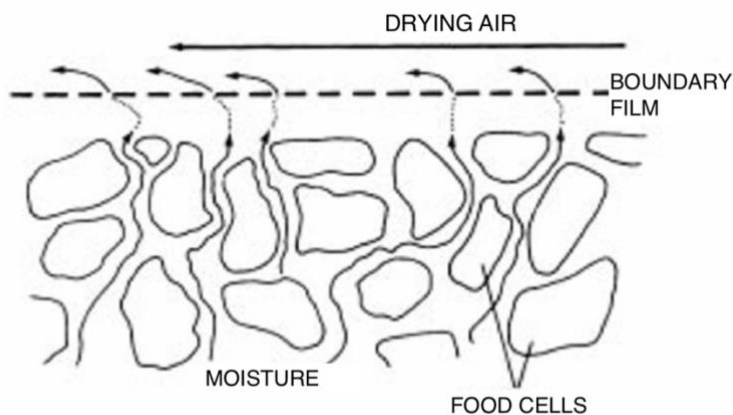
Opinnäytetyön tilaajayritys Nordic Umami Company Oy on kehittänyt uudenlaisen umamituotteen, joka tarjoaa vaihtoehtoisen tavan maustaa ruokia kasvipohjaisesti umamilla ilman soijaa. Tuote vastaa kasvavaan kasvipohjaisten elintarvikkeiden kysyntään sekä kiertotalouden edistämiseen raaka-aineiden tullessa elintarviketeollisuuden sivuvirroista.

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli selvittää voiko tilaajayrityksen tämänhetkistä kastikemuodossa olevaa tuotetta kuivata ja mitä seurauksia sillä olisi tuotteen laatuun sekä ominaisuuksiin. Lisäksi selvitettiin kirjallisuuden avulla mikä voisi olla paras mahdollinen teknologia tuotteen kuivaukseen teollisessa valmistuksessa. Menetelminä käytettiin kylmä- sekä sumukuivausta, laboratorioanalyysijä sekä aistinvaraista arviointia. Opinnäytetyön kokeellista osuutta varten tilaajayritykseltä saatiin kahta erilaista kastiketta, toisen suolapitoisuus oli 7 % ja toisen 12,5 %. Pääosa kokeellisesta osuudesta suoritettiin matalamman suolapitoisuuden kastikkeella ja tämän jälkeen tutkittiin korkeamman suolapitoisuuden näytteen käyttäytymistä parhaiksi havaituissa olosuhteissa.

## 2 Kuivaus

Kuivausta on käytetty jo useita vuosia elintarvikkeiden säilömiseen sekä varastoinnin ja kuljetuksen helpottamiseen. Sen pääperiaatteena on poistaa tuotteesta kosteutta kuuman tai kylmän kaasun avulla. Kuivauksessa tapahtuvaa kosteuden poistumista elintarvikkeesta on kuvattu kuvassa 1, jossa kosteus haihtuu elintarvikkeen molekyyliden välistä. Ennen varsinaista kuivausprosessia kuivattavaa tuotetta voidaan konsentroida eli siitä voidaan poistaa ylimääräistä kosteutta puristamalla, imemällä, suodattamalla, linkoamalla tai käsittelemällä kemiallisesti joko absorboivalla tai adsorboivalla aineella. Tällöin itse kuivaamisprosessista saadaan tehokkaampi. Muita tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat kuivattavan tuotteen asettelu kuivaukseen, tuotteen ominaisuudet, syöttö ja sekoitus kuivauksen aikana, kuivaavan kaasun kosteus, virtausnopeus ja lämpötila sekä kosteuden sitoutuminen kuivattavaan materiaaliin. Kuivattavan tuotteen kuivumiseen vaadittava energia saatetaan kosketukseen kuivattavan tuotteen pinnan kanssa kuivauksessa käytettävän kuuman ilman, savukaasujen tai säteilytyksen avulla. Käytössä on myös teknologioita, joissa lämpö johdetaan erilaisten pintojen läpi tai lämmön siirtymistä mahdollistetaan tuotteen liikuttamista apuna käyttäen. (Pihkala, 2011, ss. 116–120)

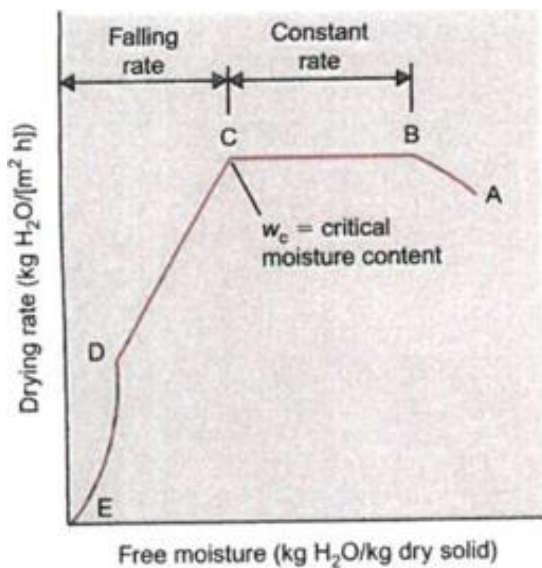
Kuva 1 Kosteuden siirtyminen kuivattavassa materiaalissa (Fellows, 2009, s. 486).



Kuivauksessa tapahtuu aina lämmön- ja aineensiirtoa. Lämmönsiirto tapahtuu tuotteessa lämmön siirtyessä kuivaukseen käytettävästä kaasusta tuotteen rakenteisiin. Aineensiirto tapahtuu kosteuden siirtyessä kuivattavan tuotteen pinnalle, pinnalta kuivaavaan kaasuun ja edelleen ulos kuivurista. Kuivauksesta voidaan erottaa eri vaiheet, joita merkataan kuvassa 2 kirjaimin A–E. Ensimmäisessä vaiheessa (A–B) kuivattavan tuotteen lämpötila nousee ja kuivuminen alkaa. Toisessa vaiheessa (B–C) nesteen haihtumiseen tarvittava optimaalinen lämpötila on saavutettu,

kuivattavan tuotteen pinnalle muodostuu tasaisesti kosteutta ja haihtuminen tapahtuu vakionopeudella. Toisen vaiheen lopussa saavutetaan kriittinen kosteuspiste (kohta C, merkitty myös kirjaimin  $w_c$ ). Kriittinen kosteuspiste tarkoittaa pistettä, jolloin kuivattavasta tuotteesta suurin osa nesteestä on haihtunut. Kriittisen kosteuspisteen jälkeisiä vaiheita (C–E) voi olla kuivumisprosessissa yksi tai useampi. Viimeisten vaiheiden aikana tuotteen kuivuminen tapahtuu hitaammin verrattuna kriittistä kosteuspistettä edeltäviin vaiheisiin. (Clark, ym., 2014, s. 65; Singh, Heldman, 2014, s. 681; Pihkala, 2011, ss. 116–120)

Kuva 2 Kuivauksen eri vaiheet (Singh, Heldman, 2014, s. 681).



Tärkeä kuivauksella kontrolloitava ja säilyvyyteen vaikuttava tekijä on veden aktiivisuus ( $A_w$ ). Veden aktiivisuudella tarkoitetaan elintarvikkeessa olevan vesihöyryn paineen ja elintarvikkeen ulkopuolella olevan vesihöyryn paineen suhdetta. Se kuvaa kemiallisiin reaktioihin vapaana olevaa vettä elintarvikkeessa ja sitä kuvataan numeerisesti asteikolla 1–0. Veden aktiivisuus laskee, mikäli vesimolekyylit sitoutuvat elintarvikkeessa oleviin liukenemattomiin kiintoaineisiin tai mikäli vesimolekyylejä pystytään poistamaan elintarvikkeesta, esimerkiksi kuivaamalla. Liukenemattoman kiintoaineen lisäksi liukoisen kiintoaineen määrä tuotteen nestefaasissa vaikuttaa veden aktiivisuuteen. Veden aktiivisuudella on tärkeä rooli mikrobin elinvoimaisuuteen elintarvikkeessa ja eri mikrobeille on määritelty omat vedenaktiivisuusrajansa. Esimerkkinä, bakteerit tarvitsevat veden aktiivisuudeksi yli 0,91 ja useimmat homeet yli 0,80. Elintarvikkeissa



veden aktiivisuuteen voidaan vaikuttaa kuivauksen lisäksi vapaata vettä sitovien aineiden, kuten suolan ja sokerin lisäyksellä tuotteeseen. Veden aktiivisuus voidaan laskea kaavalla 1. (Smith & Hui, 2004, s. 32)

$$A_w = \frac{P_v}{P_s} \quad (1.)$$

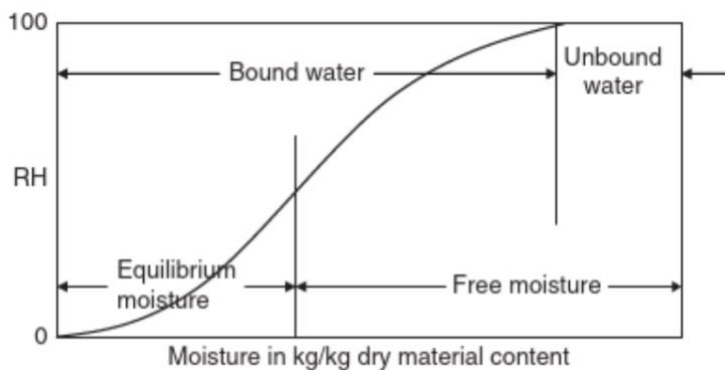
Jossa  $A_w$  on veden aktiivisuus

$P_v$  on höyrynpaine elintarvikkeessa

$P_s$  on ympäröivän ilman höyrynpaine

Tuotteessa oleva kosteus voidaan jaotella neljään ryhmään kuvan 3 mukaisesti. Nämä ryhmät ovat tasapainotilainen kosteus (equilibrium moisture), vapaa kosteus (free moisture), sitoutumaton kosteus (bound water) ja sitoutunut kosteus (unbound water). Tasapainotilassa oleva kosteus on tasapainossa tuotetta ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden kanssa. Jotta tämä kosteus saadaan poistettua, täytyy ympäröivässä ilmassa olevaa suhteellista kosteutta laskea. Vapaa kosteus on tasapainotilan ylittävä kosteus. Tämä kosteus voidaan kuivata muuttamatta tuotteen tasapainokosteutta. Sitoutumaton kosteus on tuotteen kosteus, joka ylittää kuvassa 2 esitellyn kriittisen kosteuspisteen ( $W_c$ ). Kosteuspisteen ollessa kriittisen pisteen yläpuolella on veden aktiivisuus tuotteessa yksi. Sitoutunut kosteus on kosteuspitoisuus kriittisen pisteen ( $W_c$ ) alapuolella. Kosteuspitoisuuden laskiessa kuivauksen seurauksena sitoutuneelle tasolle veden aktiivisuus tuotteessa laskee alle yhden. Koska kuivauksella pyritään useimmiten parantamaan tuotteen säilyvyyttä sen tavoitteena, on minimoida kaikki edellä mainitut kosteusryhmät. (Clarks, ym., 2014, s. 67)

Kuva 3 Kuivauksen eri vaiheet (Clarks, ym., 2014, s. 67).



Kuivaukseen on kehitetty useita erilaisia teknologioita sopimaan erilaisille tuotteille. Se vaatii paljon energiaa ja voi tämän vuoksi tuoda taloudellista raskautta. Tästä syystä kuivaukseen kannattaa valita aina optimaalisin ratkaisu (Smith & Hui, 2004, s. 31).

### 3 Erilaisia kuivausmenetelmiä

Elintarvikkeiden kuivauksessa käytettävät laitteistot vaihtelevat kuivattavan elintarvikkeen sekä halutun lopputuotteen mukaan. Laitteet voidaan jaotella lämmönsiirtoon eli lämmitettäviin, sekä epäsuorasti lämmitettäviin kuivureihin ja tuotteen liikkeeseen perustuviin eli staattisiin (materiaali pysyy kuivauksen ajan paikallaan) sekä dynaamisiin kuivureihin (materiaali on liikkeessä kuivauksen ajan) (Pihkala, 2011, s. 120). Kuivauksen perustuessa lämpötilan muutokseen tulee laitteistoa valittaessa huomioida tuotteen lämpöherkkyys. Väärät lämpötilat voivat pilata tuotteessa komponentteja, jotka vaikuttavat tuotteeseen haluttuihin ominaisuuksiin kuten makuun, väriin ja rakenteeseen (Fellows, 2009, s. 337).

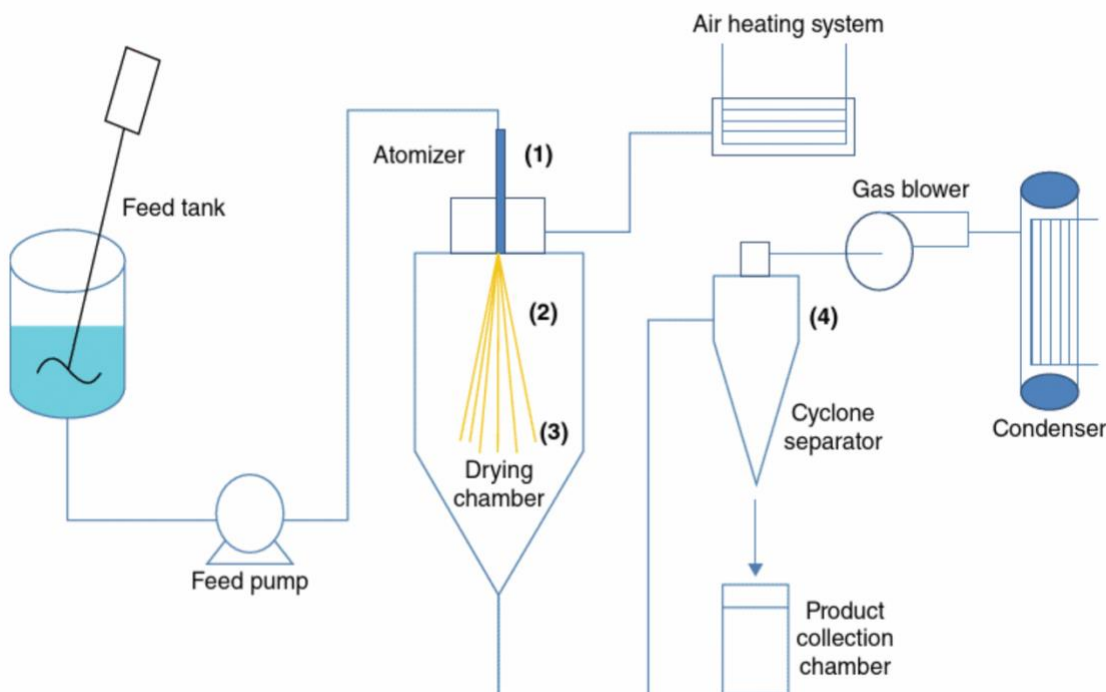
Kuivauslaitteita on olemassa monia erilaisia. Elintarviketeollisuudessa on käytössä mm. rumpukuivureita, tunnelikuivureita, flash- eli virtauskuivureita ja tyhjiökuivurit (Pihkala, 2011, s. 122–123). Opinnäytetyön lähtötuotteena ollessa kastike työssä keskityttiin kuivureihin, jotka toimivat nesteiden kuivauksessa. Tällaisia kuivureita ovat esimerkiksi sumu- eli spraykuivuri, valssikuivuri sekä kylmä- eli pakkaskuivuri (Bhandari, ym. 2013). Tässä luvussa esitellään kyseisten kuivureiden toimintaa.

### 3.1 Sumu- eli spraykuivaus

Sumukuivaus on yleinen menetelmä liuosten, suspensioiden ja emulsioiden kuivauksessa. Kuivattava materiaali ja kuivaava ilmavirta virtaa laitteessa myötä- tai vastavirtaperiaatteella. Kuivausaika on lyhyt, jolloin kuivattavan tuotteen sisälämpötila ei nouse kovin korkeaksi. Tästä johtuen sumukuivaus sopii myös lämpöherkille tuotteille. (Pihkala, 2011, s. 124–125)

Sumukuivauksessa kuivattava neste suihkutetaan kuivauskammioon, johon ohjataan samanaikaisesti kuumaa ilmaa. Kuivattavassa tuotteessa oleva kosteus haihtuu ja poistuu poistoilman mukana kammioista. Kuivunut lopputuote ohjataan kuivauskammion jälkeen talteenottoon. (Singh & Heldman, 2014, s. 686) Kuvassa 4 on esitettyä sumukuivuri vuokaaviona.

Kuva 4 Sumukuivurin vuokaavio (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015, s. 2).



Kuivauslaitteistossa voidaan säätää kuivaavan ilman lämpötilaa ja virtausnopeutta sekä näytteen syöttönopeutta ja -painetta (Tontul & Topuz, 2017). Lisäksi sumukuivauksessa tarkkaillaan näytteen poistumislämpötilaa, jota säädetään aiemmin mainituilla toiminnoilla. Mitä suurempi ero kuivaavan ilman lämpötilalla ja näytteen poistumislämpötilalla sitä suurempi on lopputuotteen kosteuspitoisuus. Kuivauksessa käytetyillä lämpötiloilla on vaikutusta myös muihin lopputuotteen ominaisuuksiin, kuten partikkelikokoon. Lopputuotteen laadun takaamiseksi kuivattavalle

tuotteelle on hyvä etsiä juuri sille sopivat kuivaussäädöt ja lisäksi ulostulolämpötila on hyvä pitää vakiona säätämällä syötteen määrää optimaaliseksi. Kun syöttövirtausta kasvatetaan, kuivauskammion lämpötila laskee ja näin ollen myös ulostulolämpötila laskee. Vastaavasti mikäli näytteen syötevirta laskee ei kuivaus vaadi niin paljoa energiaa, jolloin lämpöenergiaa jää enemmän vapaaksi ja ulostulolämpötila nousee. (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015, ss. 1–12)

Lämpötilojen lisäksi sumukuivurissa käytetty suutin vaikuttaa kuivauksen lopputulokseen. Suuttimia on saatavilla erilaisia. Suuttimen valintaan vaikuttavat useat tekijät. Tärkeimpiä niistä ovat kuivattavan tuotteen ominaisuudet kuten viskositeetti, haluttu kuivausvolyymi sekä kuivaukseen käytettävä energianlähde. Erilaisia suutinvaihtoehtoja ovat pyörivät suuttimet, painesuuttimet, ultraäänisuuttimet ja elektrohydrodynaamiset suuttimet. (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015, ss. 1–12)

Ennen sumukuivausta kuivattavalle tuotteelle voidaan tehdä valmisteluja ja esikäsitteilyjä. Kuivattavaan tuotteeseen voidaan lisätä saantoa parantavia sekä kuivausta helpottavia apuaineita. Apuaineena voidaan käyttää muun muassa maltodekstriiniä, heraproteiini-isolaattia, kurkumiinia tai mikrokiteistä selluloosaa (Wang, 2012; Wang & Zhou, 2015; Wang, Jiang, Zhou, 2012). Apuaine toimii kuivauksessa mm. lasisiirtymälämpötilan nostajana sekä saannon lisääjänä.

Lasisiirtymälämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa, jossa aine muuttua olemustaan kovaksi ja hauraaksi (CorrosionPedia, 2021). Matalan lasisiirtymälämpötilan omaavilla elintarvikkeilla sumukuivaus on haastavaa näille elintarvikkeille tyypillisen korkeissa lämpötiloissa esiintyvän tahmaisuuuden vuoksi (Roos, 2002, luku 4). Joissakin tapauksissa kuivattavaa tuotetta on myös hyvä konsentroida ennen kuivausta. Näin ollen haihdutettavaa nestettä on vähemmän ja kuivauksesta saadaan energiatehokkaampaa. Sumukuivaus voidaan jakaa neljään pääkohtaan, joita ovat:

1. syötteen sumutus
2. kuumen ilman sekä tuotteen kohtaaminen
3. tuotteen kuivuminen
4. kuivuneen tuotteen erotus kosteasta ilmasta

Syötteen sumutuksessa tuote sumutetaan kuivauskammioon valitun suuttimen läpi ja kuivaukseen käytettävä pinta-ala tuotteessa kasvaa. Pinta-alan lisääminen tehostaa kuivaukseen tarvittavaa

lämmön sekä aineen siirtoa. Kun kuuma ilma sekä näyte kohtaavat kohdassa kaksi, lämpöenergia siirtyy sumutuksessa syntyneisiin pisaroihin, joiden kosteus laskee. Tässä vaiheessa tapahtuu jo aiemmin tässä kappaleessa kuvattu kuivauskammion lämpötilan lasku kuivattavan tuotteen määrän lisääntyessä kammiossa. Tämän jälkeen, kohdassa kolme, pisaroiden lämpötila nousee kuivauskammion kuuman ilman vaikutuksesta kastepisteeseen ja tuote kuivuu niin kauan, kunnes tuotepisaran päälle muodostuu kova kuori. Tämä vaihe kestää siihen asti, kunnes lämpötila kuivaavan ilman ja tuotepisaran välillä tasapainottuu. Lopuksi kuivunut tuote erotellaan ja kerätään talteen. Tämä vaihe voidaan toteuttaa syklonilla, pussisuodattimella, märkäpesurilla tai sähkösuodattimella sumukuivauslaitteesta riippuen. Kuivauksen pääkohdat ovat numeroituna sumukuivauksen vuokaaviokuvassa kuvassa 3. (Tontul & Topuz, 2017)

### **3.2 Pakkas- eli kylmäkuivaus**

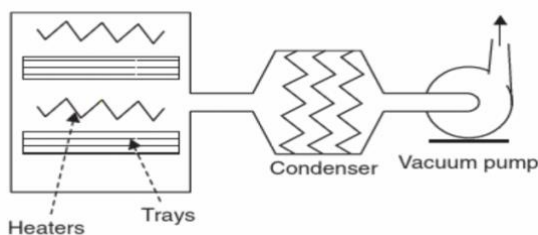
Kylmä- eli pakkaskuivauksen sanotaan olevan yksi parhaista elintarvikkeiden kuivausmuodoista, koska kuivattavan tuotteen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet säilyvät siinä niin hyvin (Rybak, ym., 2021). Kylmäkuivurin toiminta perustuu haihduttamisen sijaan sublimoitumiseen eli ilmiöön, jossa aine muuttaa olomuotoaan suoraan kiinteästä kaasuksi. Kylmäkuivauksessa tuotteet asetetaan jäätyneinä kuivuriin, jonka käyttölämpötila on yleensä  $-50\text{ °C}$  ja  $-85\text{ °C}$  välissä. Kylmäkuivurin kuivauskammioon luodaan vakuumi, eli alipaine, kuivauksen ajaksi. Alipaine mahdollistaa sublimoitumisen laskiessaan kammion paineen ilmanpainetta alemmaksi. Kylmäkuivauksen etuja ovat muun muassa tuotteen vähäiset rakennemuutokset sekä makujen ja aromien hyvä säilyvyys. Kylmäkuivaus on usein kuitenkin kalliimpaa verrattuna muihin kuivausmenetelmiin sen vaativan suuren energiamäärän vuoksi ja sitä kannattaa käyttää teollisessa mittakaavassa vain, mikäli kylmäkuivaus nostaa merkittävästi tuotteen arvoa. (Anandharamarishnan, 2017, s. 99; Bhandari, ym. 2013 s. 58–68; Smith & Hui, 2014, s. 40)

Kylmäkuivaus voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, jotka ovat jäädytys, primäärikuivuminen ja sekundäärikuivuminen. Jäädytyksessä tuotteet jäädytetään, jolloin tuotteiden sisältämä kosteus muodostaa kiteitä. Tässä vaiheessa muodostuvat kiteet määrittelevät kylmäkuivauksessa syntyvän lopputuotteen säilöntäominaisuudet sekä rekonstroitusominaisuudet. Primäärikuivauksen vaiheessa kiteinen kosteus sublimoituu ja haihtuu. Sekundäärikuivauksessa sublimoitumisprosessin jälkeen tuotteessa vielä esiintyvä kosteus poistuu desorptiolla, eli pintaan nousseiden kosteuspartikkeleiden vapautumisilmiöllä. Joissakin tapauksissa ennen jäädyttämistä

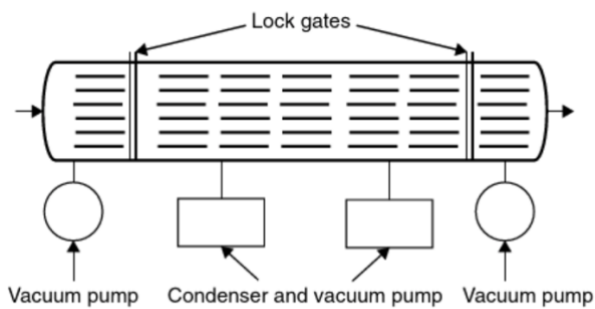
kuivattaville tuotteille voidaan myös tehdä esikäsitteily. Esikäsitteilyn tarkoituksena on tehostaa kuivausta lisäämällä kuivauspinta-alaa tai apuaineita tuotteeseen. Kiinteille elintarvikkeille esikäsitteily voi olla tuotteen paloittelua tai jauhamista ennen kuivausta ja nestemäisille tuotteille haihduttamista tai apuaineiden lisäämistä. (Anandharamarishnan, 2017, ss. 95–97; Bhandhari, ym. 2013, s.60)

Kylmäkuivureita voi olla joko jatkuvatoimisia tai panostoimisia. Kuivurin osia ovat tiivis kuivauskammio, josta vakuumi ei pääse vuotamaan, tarjottimet, hyllyt tai karryt kuivattaville tuotteille, lämmönlähde, vakuumpumppu, jäähdytyslauhdutin ja mittaus- sekä ohjauslaitteet. Kuvassa 5 on esiteltyä panostoiminen kylmäkuivurin vuokaaviona ja kuvassa 6 jatkuvatoiminen kylmäkuivuri vuokaaviona. Panostoimisessa kylmäkuivurin kuivauskammiossa on yleensä yksi ovi kammion täyttöön sekä tyhjentämiseen. Lauhdutin pyritään sijoittamaan lähelle kuivauskammiota, jotta myös suuria määriä kosteutta sisältävien tuotteiden kuivaus onnistuisi tehokkaasti. Suuremmissa panostoimisissa kuivureissa suositellaan käyttämään kahta lauhdutinta kuivauskammiota kohden. Jatkuvatoimisissa kylmäkuivureissa on erilliset täyttö- ja tyhjennysovet, jotka ovat suunniteltu siten, ettei niiden avaaminen pilaa kuivurissa olevaa vakuumia. Jatkuvatoimisissa kylmäkuivureissa on yleensä useampi lauhdutin sekä vakuumpumppu. Toisin kuin panostoimisissa kylmäkuivureissa jatkuvatoimisissa kylmäkuivureissa tuotteet liikkuvat kulkien kuivurin läpi tarjottimilla tai hyllyissä. (Berk, 2008, ss. 519–520)

Kuva 5 Panostoimisen kylmäkuivurin vuokaavio (Berk, 2008, s. 520).



Kuva 6 Jatkuvatoimisen kylmäkuivurin vuokaavio (Berk, 2008, s. 520).



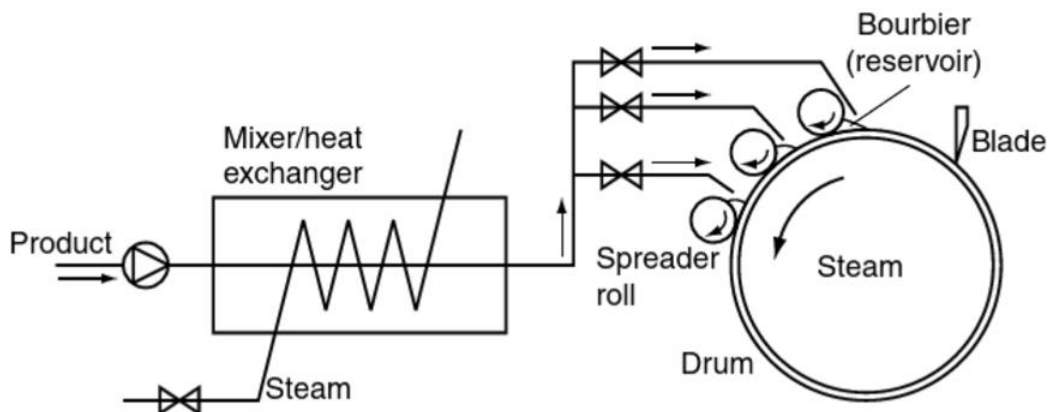
### 3.3 Valssikuivaus

Valssikuivauksessa nestettä syötetään ohuena kerroksena pyörivien valssitelojen päälle. Kuivureita on yksi- ja kaksitelaisia. Telat lämmitetään kuumiksi höyryllä, jolloin telan päällä olevaan tuotteeseen saadaan siirrettyä lämpöenergiaa ja se kuivuu. Kuivumisaika valssikuivauksessa on 3–5 sekuntia telan pyörimisnopeudesta riippuen. Valssikuivaus mahdollistaa tehokkaan kuivauksen myös matalammissa lämpötiloissa, kuten 100–120 °C (Galaz, ym., 2017). Syötteen paksuutta voidaan säätää telojen lähelle asennetuilla terillä. Kuivumisen jälkeen tuote kerätään telan päältä hiutaleina. Valssikuivaus on hyvä vaihtoehto jauheiden valmistukseen elintarviketeollisuudessa sen matalan energiakulutuksen ja lopputuotteen hyvien ominaisuuksien, kuten hyvän liukoisuuden, vuoksi. Joissakin tapauksissa valssikuivaus ei kuitenkaan sovellu kuivaukseen. Kaikki elintarvikkeet eivät muodosta kuivauksen vaatimaa kalvoa kuivurin telan pinnalle. Myös joidenkin korkeahiilihydraattisten tuotteiden valssikuivaus voi olla mahdotonta tuotteen jäädessä kiinni kuivaustelaan. Lisäksi teloihin voi muodostua pistekorroosiota, mikäli kuivattavassa tuotteessa on korkea suolapitoisuus. (Smith & Hui, 2014, s. 41; Bhandhari, ym. 2013, ss. 85–89; Anandharamarishnan, 2017, ss. 43–46; Juming, ym., 2003, s. 212)

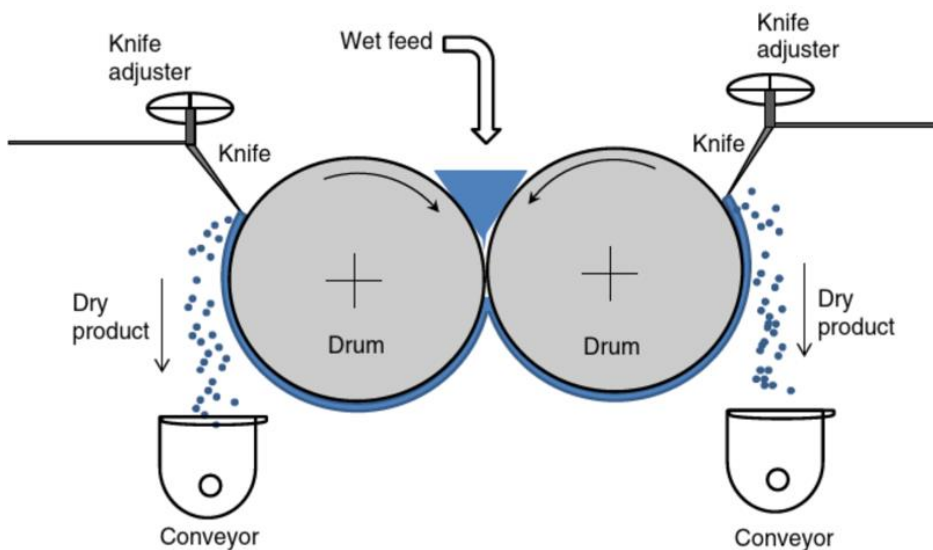
Ennen varsinaista kuivausta tuote voidaan esikäsitellä ajamalla se lämmönvaihtimen läpi. Lämmönvaihtimessa tuotteen lämpötila nostetaan lähelle 100°C:tta, jolloin kuivaukseen tarvitaan vähemmän energiaa ja se on tehokkaampaa. Valssikuivaus voidaan jakaa erillisiin vaiheisiin, kuten sumu- ja kylmäkuivauskin. Ensimmäinen on kuivattavan tuotteen saattaminen valssitelalle.

Yksinkertainen tapa on kuivattavaa tuotetta sisältävä astia telan alla, johon telan alaosa upotetaan. Jos kyseessä on nestemäisempi tuote, se voidaan myös suihkuttaa telalle. Kuvissa 7, 8 ja 9 on esiteltyä erilaisten valssitelojen toiminta vuokaavioina. Kuvassa 7 valssikuivausprosessiin on liitettyä lämmönvaihdin ja kuvissa 8 ja 9 on esitettyä kuivausprosessi ilman esikäsittelyä toimivaa lämmönvaihdinta. Kuvissa on myös erilaiset näytteensyöttömallit. (Bhandhari, ym., 2013, s. 89)

Kuva 7 Yksitelaisen valssikuivurin vuokaavio lämmönvaihtimella (Bhandhari, ym. 2013).

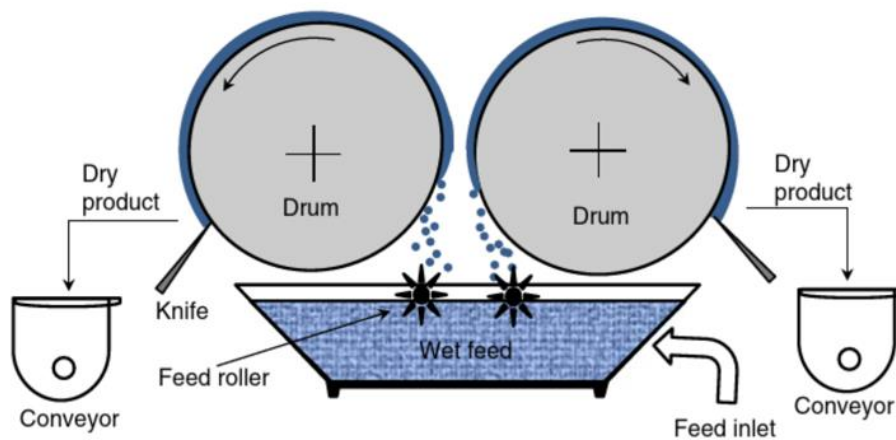


Kuva 8 Kaksitelainen valssikuivuri, jossa syöte telojen yläpuolelta (Anandharamakrishnan, 2017, s. 47).





Kuva 9 Kaksitelainen valssikuivuri, jossa syöte telojen alapuolelta (Anandharamakrishnan, 2017, s. 47).



Teloille saattamisen jälkeisessä vaiheessa kuivattava tuote lämmitetään valssitelojen seinien lävitse purkautuvalla lämpöenergialla haihdutettavan kosteuden kiehumispisteeseen, jolloin kosteus haihtuu. Tämä aloittaa tuotteen kuivumisen. Kuivussa tuotteen kuiva-ainepitoisuus kasvaa muuttamalla näin kalvon paksuutta. Vaikka kuivaus yleensä kutistaa tuotetta, kalvon paksuus ei kuitenkaan välttämättä ohene. Valssikuivauksessa tapahtuva tuotteen kiehuminen aiheuttaa materiaaliin huokoisuutta ja täten kalvo saattaa muuttua jopa paksummaksi kuivuessaan. Kun valssikuivurin tela on pyörinyt kaksi tai kolme neljäsosaa pyörimissyklistään, on tuote kuivunut kokonaan. (Bhandhari, ym., 2013, ss. 89–90)

Kolmannessa vaiheessa kuivunut tuote raavitaan terän avulla pois valssitelan päältä. Tässä vaiheessa tuote voi muodostaa levymäisen rakenteen, mutta valssikuivuriin voi lisätä sekoittajan, joka hajottaa levyn pieniin hiutalemaisiin partikkeleihin. Tämän jälkeen, eli kuivauksen neljännessä vaiheessa, valssitela lämmitetään höyryllä uudestaan, jonka jälkeen kuivausprosessi voidaan aloittaa alusta. (Bhandhari, ym., 2013, s. 90)

#### 4 Kuivaus ja energiatehokkuus

Kuivaus vie suuren osan kokonaisenergiankulutuksesta teollisuudessa. Vuonna 2011 sen prosentuaalisen osuuden on laskettu olevan noin 10–20 % kaikesta teollisuuden kuluttamasta energiasta (Tsotas, ym., 2011, s.1). Energiaa kuluu kuivausprosessissa useampaan eri vaiheeseen, joita ovat:

- Kuivattavan tuotteen lämpötilan nostaminen
- Kosteuden höyrystäminen
- Höyrystyneen nesteen lämpötilan nosto laitteestapoistumislämpötilaan
- Kuivattavan tuotteen lämpötilan nosto laiteesta poistumislämpötilaan
- Erilaiset lämpöhäviöt (Pihkala, 2011, s. 116–120).

Energiatehokkuuden kannalta parhaaseen lopputulokseen päästään usein käyttämällä jo aiemmissa kappaleissa mainittuja esikäsittelyjä, jotka jakavat tuotteen kuivumisen useampaan osaan. Kuivaustekniikkaa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon syötteen, halutun lopputuotteen ja kuivausympäristön vaatimukset. Energiatehokkuutta sekä kannattavuutta selvitettäessä tulee huomioida käytössä olevat hyödykkeet, lämmöntalteenottopotentiaali, mahdollisuus hyödyntää hukkalämpöä tai muita korkean hyötysuhteen energianlähteitä sekä laitteita ja monia muita seikkoja. Kokonaisuudessaan energiatehokkuussuunnitelmaa tehtäessä huomioidaan kaikki mahdolliset vaihtoehdot, ympäristövaikutukset, turvallisuus, järjestelmän huollettavuus sekä mahdollisista koulutuksista syntyvät kustannukset. (Heikkilä I., ym., 2008, s. 73–75)

Nesteitä kuivatessa tehokkaimpia tapoja energiatehokkuuden parantamiseen ovat tuotteen konsentrointi ennen kuivausta ja kuivausilman lämpötilan nosto, jolloin kuivaus on nopeampaa. Kuivausilman lämpötilan nosto voi kuitenkin vaikuttaa negatiivisesti lopputuotteeseen, joten sitä ei voida aina käyttää. Myös juuri optimaalinen kuivausaika eli ns. ylikuivauksen välttäminen ja kuivurin kuivauskapasiteetin tehostaminen parantamalla kuivurin lämmöneristävyyttä, asentamalla lämmöntalteenottojärjestelmä tai muuttamalla prosessin parametrejä lisäävät energiatehokkuutta. Tehtaan energiakustannuksien voidaan vähentää yleisellä tasolla esimerkiksi käyttämällä lämmön sekä sähkön yhteistuotantoa (CHP), parantamalla energiantuottoon käytettävän laitteiston tehokkuutta, hyödyntämällä jätteet energiaksi tai käyttämällä muita edullisempia energiavaihtoehtoja. Koska suurin osa kuivauksen energiasta kuluu luonnollisesti kuivaavan kaasun lämmittämiseen tai viilentämiseen olisi energiatehokkuuden kannalta parasta, jos tuotteen esikäsittely ennen varsinaista kuivausta olisi yhteydessä kuivaavaan laitteistoon. Aiemmin esitellyistä kolmesta kuivausteknologiasta valssikuivauksen on raportoitu olevan energiatehokkuudessa paras 60–90 % energiatehokkuudella, sumukuivauksen toiseksi paras 25–60 % energiatehokkuudella kylmäkuivauksen jäädessä huonoimmaksi vaihtoehdoksi sen energiatehokkuuden ollessa useimmiten alle 50 %. (Tsotas, ym., 2011, s. 1–46; Niels, ym., 1985, ss. 244–245; Fangyuan, ym., 2018; Juming, ym., 2003, s. 211; Hawach Scientific, 2020.)

Energianäkökulmasta kylmäkuivaus on siis kuluttavin ja kallein. Kylmäkuivauksen energiatehokkuutta voidaan parantaa optimoimalla prosessin olosuhteita. Tämä tarkoittaa esimerkiksi kuivauskammiossa olevan paineen säätöä sekä kuivausaluustojen lämpötilan säätöä. Huomioimatta kokonaisenergiankulutusta, mukaan lukien tuotteiden esikäsitteily, kylmäkuivaus voi olla jopa neljä kertaa kalliimpaa sumukuivaukseen ja kahdeksan kertaa kalliimpaa muuhun lämmöllä tapahtuvaan kuivaukseen verrattuna. Otettaessa huomioon myös esikäsitteilyn tuomat kustannukset jää kylmäkuivaus 1.3 kertaa kalliimmaksi lämmöllä tapahtuvaan kuivaukseen verrattuna. (Kozak, ym., 2011)

## 5 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymyksiä laadittaessa keskityttiin tuotteen tärkeinä pidettyihin ominaisuuksiin.

Tutkimuskysymykset olivat:

1. Onnistuuko tuotteen kuivaus niin, että lopputuote on jauhetta?
2. Kuinka kuivaus vaikuttaa tuotteen väriin ja L-glutamiinihappopitoisuuteen?
3. Kuinka liukoista kuivattu tuote on?
4. Mikä on optimaalisin kuivausmenetelmä tuotteen teolliseen valmistukseen, huomioiden energiankulutus sekä tuotteelle asetetut vaatimukset, kuten liukoisuus, väri, maku ja syntyneen lopputuotteen rakenne?

## 6 Materiaalit ja menetelmät

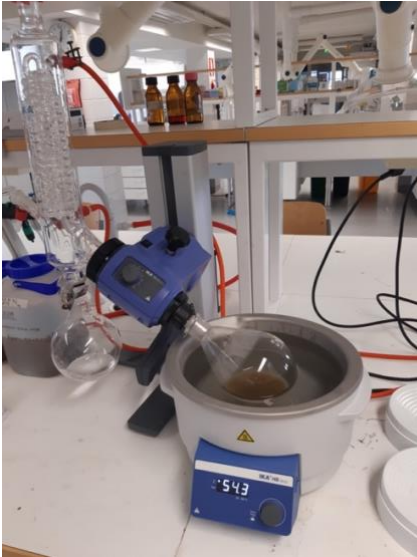
Menetelminä työssä käytettiin haihdutusta, kylmäkuivausta ja sumukuivausta. Lisäksi tuotteita analysoitiin ennen ja jälkeen kuivauksen, jotta saatiin selvitettyä kuivauksen vaikutusta näytteisiin. Energiankulutukseen perehdyttiin vain kirjallisuuden avulla tekemättä käytetyille kuivauslaitteistoille tarkempia laskelmia.

### 6.1 Haihdutus

Näytekastikkeita haihdutettiin ennen kuivausta kuvassa 10 olevalla IKA RV 8 V -pyöröhaihduttimella. Haihduttimen vesihaude säädettiin lämpötilaan 55 °C ja haihdutuskolvin

pyörimisnopeus arvoon 3. Haihdutusaika sekä 7 % suolapitoisuuden näytteellä että 12,5 % suolapitoisuuden näytteellä oli noin 12 minuuttia.

Kuva 10 IKA RV 8 V -haihdutin.



## 6.2 Kylmäkuivaus

Kylmäkuivaukseen käytettiin kuvassa 11 olevaa Heto Drywinner kylmäkuivuria. Näytteiden kuivausaluksina käytettiin kylmäkuivuriin tarkoitettuja petrimaljoja, joiden halkaisija oli 13 cm. Kylmäkuivauksessa kuivattiin sekä 7 % suolapitoisuuden kastiketta että 12,5 % suolapitoisuuden kastiketta. Alkuperäisessä suunnitelmassa näytettä laitettiin 100 ml/malja, mutta tilavuuden huomattiin olevan liian suuri, joten näytemäärä laskettiin matalampisuolaisen näytteen kohdalla 75 ml/malja ja korkeasuolaisen näytteen kohdalla 65 ml/malja.

Näytteet esikäsiteltiin pakastamalla ne ennen kuivausta. Esikäsitelyä yritettiin toteuttaa ensin kotitalouspakkasessa, jonka lämpötila oli noin  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Näytteiden korkean suolapitoisuuden vuoksi niiden jäätymispiste oli kuitenkin niin alhainen, etteivät näytteet jäätyneet kotitalouspakkasessa. Tämän vuoksi näytteet siirrettiin kahden tunnin ajaksi syväpakkastimeen, jonka lämpötila oli säädetty  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een. Sen jälkeen näytteet siirrettiin kylmäkuivuriin kuivumaan. Matalampi suolaiset näytteet asetettiin alhaalta päin luettuna kuivurin kolmannelle ja neljännelle hyllylle ja korkeampi suolaiset näytteet alimmaisiksi, ensimmäiselle ja toiselle hyllylle.

Näytteitä pidettiin kylmäkuivurissa 27 tuntia, jonka jälkeen kuivuri sammutettiin ja näytteet nostettiin pois. Kuivauksen jälkeen näytteet kaavittiin irti maljoilta ja ne pakattiin vakuumiin odottamaan analysointeja.

Kuva 11 Heto Drywinner -kylmäkuivuri.



### 6.3 Sumukuivaus

Sumukuivaukseen käytettiin kuvassa 12 olevaa Büchin valmistamaa B-290 Mini Spray Dryer sumukuivainta. Kuivauksessa käytettiin apuaineena Brouwlandin maltodekstriiniä.

Sumukuivauksessa kuivattiin sekä 7 % suolapitoisuuden että 12,5 % suolapitoisuuden näytettä.

Kuivauslämpötiloina käytettiin 135 °C–185 °C:tta, ulostulolämpötila pidettiin 75 °C–80 °C:ssa. Syöttövirtaus pidettiin välillä 0,3–0,6 m<sup>3</sup>/h ja kuivausilman virtauksena oli 28 m<sup>3</sup>/h. Kuivattava näytetilavuus oli 150 ml. Näytteisiin lisättiin 30 % w/v maltodekstriiniä apuaineeksi. Referenssinä kuivauksille kuivattiin soijakastiketta 175°C kuivauslämpötilassa, 75 °C–80 °C ulostulolämpötilalla, 0,5 m<sup>3</sup>/h syöttövirtauksella ja 28 m<sup>3</sup>/h kuivausilman virtauksella. Kaikki sumukuivatut näytteet pakattiin vakuumiin kuivauksen jälkeen.

Kuva 12 Büchi B-290 Mini Spray Dryer.



## 6.4 Analyysimenetelmät

Kastikkeista analysointiin ennen kuivausta sekä kuivauksen jälkeen väri, kuiva-ainepitoisuus, veden aktiivisuus ja L-glutamiinihappopitoisuus. Lisäksi kuivauksissa saaduista jauheista analysointiin liukoisuus sekä tilavuus.

### 6.4.1 Väri

Väri analysointiin kuvassa 13 olevalla HunterLabin ColorFlex EZ laitteella. Ennen analysointia laite kalibroitiin valmistajan ohjeen mukaan käyttäen mustaa sekä valkoista kalibrointilevyä. Tämän jälkeen laitteeseen kuuluvaan kyvetiin mitattiin näytettä. Nestemäisiä näytteitä analysoidessa näytetilavuus oli 30 ml ja jauheita analysoidessa 15 g. Kyveti asetettiin laitteen lukijan yläpuolelle ja analysointi käynnistettiin.

HunterLabin värimäärityslaite mittaa näytteen vaaleutta, puna-viher- ja kelta-sinitasapainon antaen jokaiselle mitattavalle yksikölle oman arvonsa. Laitteen antama  $L^*$ -arvo kuvaa vaaleustasapainoa,  $a^*$ -arvo kuvaa punaisen (+) ja vihreän (-) tasapainoa ja  $b^*$ -arvo kuvaa keltaisen (+) ja sinisen (-) tasapainoa. Kuvassa 14 olevasta HunterLabin tekemästä selitteessä on havainnollistettu mittaustulosten tulkintaa.

Saaduista tuloksista laskettiin kokonaisvärimuutos kaavalla 2.

$$E\Delta = \sqrt{(L_0 - L_1)^2 + (a_0 - a_1)^2 + (b_0 - b_1)^2} \quad (2.)$$

Jossa  $E\Delta$  on kokonaisvärimuutos

$L_0$  on vaaleustasapainon lähtöarvo

$L_1$  on vaaleustasapainon loppuarvo

$a_0$  on puna-vihertasapainon lähtöarvo

$a_1$  on puna-vihertasapainon loppuarvo

$b_0$  on kelta-sinitasapainon lähtöarvo

$b_1$  on kelta-sinitasapainon loppuarvo

Kuva 13 ColorFlex EZ -värimäärityslaite.



Kuva 14 HunterLabin selitekuva värianalyysituloksiin.



#### 6.4.2 Kuiva-ainepitoisuus

Kuiva-ainepitoisuus määritettiin soveltaen S. Suzanne Nielsenin Food analysis laboratory manual-julkaisussa kuvaamaa kosteuspitoisuusmittaus alipaineuunilla -menetelmää (Nielsen, 2017, ss. 109–110). Näytettä punnittiin upokkaisiin, joita oli taarattu kaksi tuntia 105°C lämpöisessä uunissa sekä jäähdytetty puoli tuntia eksikaattorissa. Upokkaiden taarattu paino kirjattiin ylös tulosten laskentaa varten. Käytetty näytemäärä oli nesteillä noin 5 ml ja jauheilla noin 2 g. Tarkat näytteiden massat ovat merkittynä liitteinä 1 ja 2 oleviin tulostaulukoihin. Tämän jälkeen näytteitä kuivattiin 105°C lämmössä 18 tuntia. Kuivauksen jälkeen näytteen sisältäviä upokkaita jäähdytettiin eksikaattorissa yksi tunti ja punnittiin. Kun näytteet oli punnittu, laitettiin ne takaisin uuniin kahdeksi tunniksi, jonka jälkeen jäähdytys ja punnitus toistettiin. Tämä tehtiin, jotta varmistuttiin näytteiden saavuttaneen vakiopaino. Jokaisesta näytteestä tehtiin kolme rinnakkaisnäytettä. Kuiva-ainemäärityksessä käytettiin kuvassa 15 olevaa Memmertin UI 40 kuivausuunia. Kun näytteen vakiopaino oli varmistettu, kuiva-ainepitoisuus saatiin punnitustuloksista laskemalla kaavalla 3.

$$K - a \% = \frac{a-b}{c} * 100 \quad (3.)$$

Jossa K-a % on kuiva-ainepitoisuus (%)

a on upokkaan sekä kuivatun näytteen massa (g)

b on upokkaan massa (g)

c on kuivaamattoman näytteen massa (g)



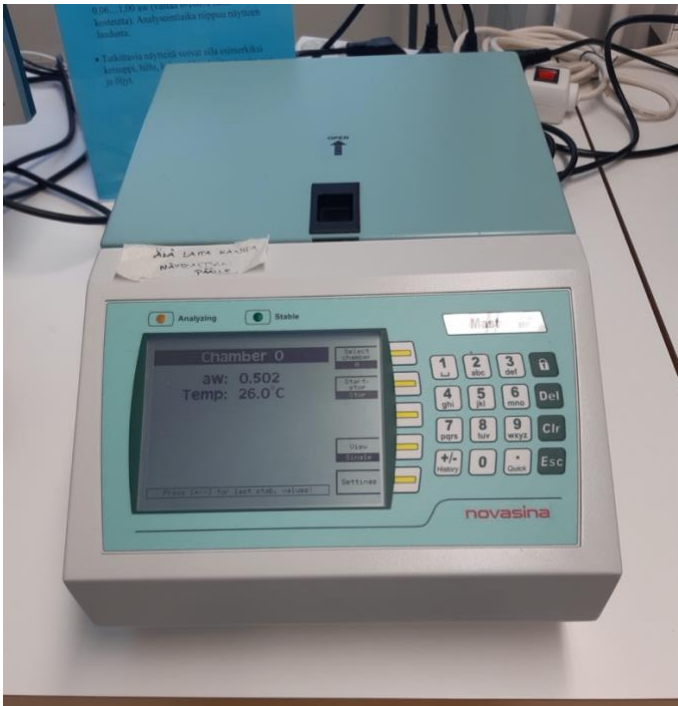
Kuva 15 Memmert UI 40 -kuivausuuni.



### 6.4.3 Veden aktiivisuus

Veden aktiivisuus mitattiin kuvassa 16 olevalla Novasinan AW SPRINT laitteella. Huoneenlämpöisiä näytteitä mitattiin laitteen omiin näyteastioihin astiassa olevaan merkkiviivaan saakka. Tämän jälkeen näyteastia asetettiin ilman kantta mittauskammioon analyysia varten. Veden aktiivisuuden mittaaminen perustuu suljetussa kammiossa tuotteen yläpuolelle syntyvään suhteelliseen kosteuteen (Clark ym., 2014, s. 61). Kuvassa 17 on näytteitä veden aktiivisuusmittarin näyteastioissa odottamassa analyysiä.

Kuva 16 AW SPRINT veden aktiivisuuden määrittelylaite.



Kuva 17 Näytteitä odottamassa veden aktiivisuuden mittausta. Ylärivissä sumukuivatut, alarivissä kylmäkuivatut.



#### 6.4.4 L-Glutamiinihappopitoisuus

Glutamiinihappopitoisuuden määrittämisessä käytettiin Megazymen L-glutamiinihapon analysointipakkausta ja kuvassa 18 olevaa VWR:n V-1200 spektrofotometriä. Ennen analysointia kuivatut näytteet liuotettiin RO-veteen palauttaen analysoitavien näytteiden kuiva-ainepitoisuudet

vastaamaan alkuperäisiä. Tämän jälkeen näytteitä laimennettiin suhteessa 1:20 lisäämällä 50 µl näytettä 950 µl:n RO-vettä. Näytteitä suodatettiin homogeenisyyden varmistamiseksi ennen analysointia VWR:n 401 suodatinpaperin lävitse, joiden partikkeliläpäisevyys on 12–15 µm.

Menetelmässä käytettiin neljää reagenssia, jotka olivat puskuriliuos, nikotiiniamidiadeniiniidinukleotidi ja jodonitrotetratsoliumkloridi -yhdiste (NAD<sup>+</sup>/INT), diaforaasisuspensio sekä glutamaattidehydrogenaasiliuos. Kyvetiin sekoitettiin 1000 µl RO-vettä, 50 µl laimennettua näytettä, 250 µl puskuriliuosta, 100 µl NAD<sup>+</sup>/INT-yhdistettä sekä 25 µl diaforaasisuspensiota. Tämän jälkeen näytteen annettiin odottaa noin kaksi minuuttia, jonka jälkeen tehtiin ensimmäinen mittaus spektrofotometrillä 492 nm aallonpituudella. Tämän mittauksen jälkeen kyvetiin lisättiin 25 µl glutamaattidehydrogenaasiliuosta ja sekoitettiin. Näytteet mitattiin vielä kolmesti tämän jälkeen. Mittaukset tehtiin, kun aikaa oli kulunut neljännen reagenssin lisäämisestä 12 minuuttia, 16 minuuttia sekä 20 minuuttia.

L-glutamiinihappopitoisuus voidaan laskea kaavalla 4.

$$C = \frac{V * M_w}{\epsilon * d * v} * \Delta A_{L-glutamiinihappo} \quad (4.)$$

Jossa C on pitoisuus

V on kyvetissä olevan nesteen tilavuus (ml)

M<sub>w</sub> on L-glutamiinihapon molekyylipaino (g/mol)

ε on INTin molaarinen absorptiokerroin 492 nm aallonpituudella (l\*<sup>-1</sup>\*mol<sup>-1</sup>\*cm<sup>-1</sup>)

d on valon matka (cm)

v on näytteen tilavuus (ml)

ΔA<sub>L-glutamiinihappo</sub> on mitattu absorbanssin muutos 20 minuutissa


Megazyme on myös luonut valmiin taulukkolaskentapohjan, johon sijoittamalla spektrofotometrin antamat absorbanssitulokset, saadaan tietää L-glutamiinihapon määrä näytteessä yksikössä g/l.

Pohja on esitettyinä kuvassa 19. Tässä opinnäytetyössä tulokset laskettiin kyseisellä pohjalla.

Kuva 18 VWR:n V-1200 spektrofotometri.




Kuva 19 Taulukkopohja L-Glutamiinihappopitoisuuden laskentaan (Megazyme.com, n.d.).



## Mega-Calc™ Data Calculator

### L-Glutamic Acid (K-GLUT) - Determination

Setting New Standards in Test Technology



[Creep Calculation](#)  
[Instructions](#)  
[Contact Us](#)

**Sample details**

**Blank absorbance values**

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
1	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
2	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>

**Sample absorbance values**

Sample identifier	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> Creep corrected	Sample volume (mL)	Dilution (-fold)
1	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
2	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
3	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
4	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
5	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
6	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
7	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
8	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
9	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
10	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
11	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
12	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
13	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
14	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
15	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
16	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
17	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
18	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
19	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20
20	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	0.10	20

**Results**

Δ Abs (L-Glutamic acid)	L-Glutamic acid (g/L)	Sample (g/L)	L-Glutamic acid (g/100g)
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>
<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>	<input style="width: 40px;" type="text"/>

[Back to Top of Page](#)

### 6.4.5 Tiheys

Tiheyden mittauksessa käytettiin soveltaen Sablania ym. soveltamaa Jangmanin ja Thoratin vuonna 2010 kuvaamaa tilavuuden määrittymenetelmää (Sablania, ym., 2017; Jangman & Thorat, 2010). Jauheiden tiheys mitattiin punnitsemalla 1 gramma jauhetta 10 ml:n koeputkeen. Jokaiseen koeputkeen merkattiin jauheen määrä. Tämän jälkeen koeputkia naputettiin vasten kovaa alustaa 25 kertaa niin, ettei jauheen pinta enää laskenut. Koeputkiin tehtiin uudet merkinnät jauhepinnan korkeudesta. Tämän jälkeen mitattiin kuinka monta millilitraa vastasi jauheilla mitattua tilavuutta. Näin saatiin jauheiden ominaistilavuus. Ominaistilavuus on tiheyden käänteisarvo, eli tuloksista saatiin jauheiden tiheys laskemalla saatujen arvojen käänteisluvut.

### 6.4.6 Liukoisuus

Liukoisuus määritettiin jauheen vettyvyydellä soveltaen Fuchs ym. kuvaamaa analyysimenetelmää. Jauheita mitattiin 0,2 grammaa, jonka jälkeen mitattu määrä kaadettiin nopeasti kokonaisuudessaan 100 ml dekantterilasiin, jossa oli 100 ml huoneenlämpöistä vettä. Tämän jälkeen mitattiin jauheen liukenemiseen veden pinnalta kulunut aika. (Fuchs, ym., 2006, s. 30)

## 7 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Tuloksissa esitellään opinnäytetyön kokeelliseen osuuteen liittyvien analyysien sekä testien tulokset. Tuloksia havainnollistetaan kuvien, kuvaajien sekä taulukoiden avulla.

### 7.1 Haihdutus

Haihdutuksessa huomattiin, että kastike alkaa kiehua ja saavuttaa haihtumispisteensä erittäin nopeasti. Haihdutusta tehdessä havaittiin myös tapahtuvan suolan erottumista. Kuvassa 20 on kastiketta säilöpullossa haihduttamisen jälkeen. Erottunut suola on vajonneena näytepullon pohjalle. Tästä syystä haihdutetut näytteet jätettiin kuivaamatta alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen.

Kuva 20 Haihdutettu kastike, suola erottunut pullon pohjalle.



## 7.2 Kylmäkuivaus

Kuivauksen alussa huomattiin ylimmällä petrimaljalla olevan matalampi suolaisen näytteen irronneen maljan reunoista. Tämä aiheutti näytteen liikkumista ylös ja alas. Tilanteesta on kuva kuvassa 21. Tarkemmassa tarkastelussa huomattiin petrimaljan reunaa pitkin valuvan ikään kuin pisara siinä vaiheessa, kun näyte oli yläasennossa. Tämän näytteen ajateltiin hieman sulaneen. Muut näytteet eivät liikkuneet maljoilla eivätkä osoittaneet mitään sulamisen merkkejä.

Kuivauksen päätyttyä silmämääräisesti tarkasteltuina kaikki näytteet olivat kuivuneet, mutta ylemmillä tasoilla olleissa näytteissä oli havaittavissa enemmän väriä, joten niiden epäiltiin kuivuneen hieman huonommin. Näytteitä kaavittaessa petrimaljoilta ylempänä olleiden matalampi suolaisten näytteiden huomattiin olevan hieman tahmeita. Tämä vahvisti jo aiemmin olleita epäilyjä kuivumisen epätäydellisyydestä. Aistinvaraisessa arvioinnissa kylmäkuivattujen näytteiden todettiin säilyttäneen umamin maku. Lisäksi näytteitä kuvailtiin paahteiseksi ja suolaiseksi.

Kuva 21 Näytteet kylmäkuivurissa. Ylimmän hyllyn näyte on irronnut alustasta ja hyppii petrimaljalla.



### 7.3 Sumukuivaus

Sumukuivaukseen käytettiin referenssinä soijakastiketta. Soijakastikkeen sumukuivauksessa tarvitaan pääsääntöisesti apuaineita muun muassa sen alhaisen lasisiirtymälämpötilan vuoksi. Sumukuivaus tilaajayrityksen tuotteella onnistui hyvin käyttämällä kirjallisuudesta löydettyjä soijakastikkeen kuivauksen kuivausparametrejä sekä apuainepitoisuutta (Wang & Zhou, 2015; Wang, Jiang, Zhou, 2012).

Suurin haaste tilaajayrityksen tuotteen sumukuivauksessa oli holvaantuminen, eli ilmiö, jossa kuivattava tuote takertuu kiinni kuivauskammion seinämiin jääden sinne jumiin. Ilmiön aiheuttaa väärä näyttesyötön ja kuivausilmavirtauksen suhde. Toisin sanoen kuivauskammiossa ei ole riittävästi energiaa kuivaamaan syötettävää näytemäärää. Holvaantumista tapahtui enemmän kuivattaessa korkean kuivauslämpötilan näytteitä, näiden näytteiden kohdalla näytesyöttöä säädettiin suuremmaksi matalan kuivauslämpötilan näytteisiin verrattuna ulostulo lämpötilan vakaana pitämiseksi. Lisäksi havaittiin, että toisin kuin lähtökohtaisesti odotettiin, maltodekstriinitön näyte holvaantui vähiten. Syitä voivat olla se, että näytteen syöttöä pystyttiin kontrolloimaan paremmin myöhemmissä näytteissä ja kasvanut sumukuivaimen käyttökokemus

saattoi vaikuttaa holvaantumisen määrään. Kuvassa 22 on kuivauskammio irrotettuna laitteesta korkeammalla kuivausilman lämpötilalla kuivaamisen ja holvaantumisen jälkeen. Kuvasta voi havaita näytteen takertuneen pahasti kuivauskammion seiniin. Vertailuksi kuvassa 23 on kuivauskammio viimeisen näytteen, eli maltodekstriinittömän näytteen kuivauksen jälkeen. Kuivauskammion seinissä ei juurikaan ole havaittavissa näytejämiä, vaan kuivunut näyte on kuvan oikeassa alakulmassa syklonin alla olevassa näytteenkeräyssäiliössä.

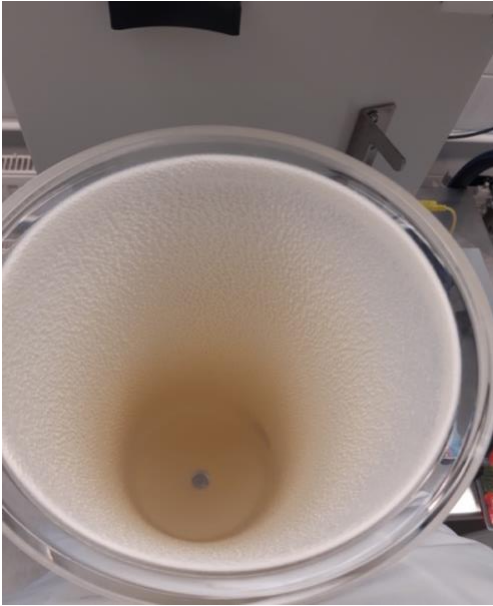
Aistinvaraista arviointia tehdessä havaittiin korkeammassa lämpötiloissa kuivattujen tuotteiden olevan heikompilaatuisia. Niiden maku oli muuttunut voimakkaasti maistuvasta herkullisesta umamista pistäväksi ja heikoksi. Aistinvaraisen arvioinnin tuloksena päädyttiin kokeilemaan korkeamman suolapitoisuuden näytteen kuivausta vain kahdessa lämpötilassa, matalimmassa 135°C sekä makumuutosten rajalla olleessa 160°C.

Referenssinä kuivattuun soijakastikkeeseen oli lisätty apuainetta 30 % w/v ja sen kuivauksen odotettiin sujuvan yhtä hyvin, kuin tilaajayrityksen tuotteen kuivauksen. Kuitenkin soijakastikkeen lopputuotteen huomattiin olevan paljon karkeampaa. Aistinvaraisesti arvioituna kuivattu soijakastike muistutti hiekkaa ja jopa palanutta. Lisäksi soijakastike holvaantui erittäin pahasti kuivauskammioon eikä kuivausta voitu jatkaa kovin pitkään. Soijakastikkeen kuivauksen todettiin olevan aivan erilaista kuin tilaajayrityksen tuotteen kuivauksen. Tästä johtuen tehtiin päätelmä, että toisin kuin ajateltiin, tilaajayrityksen tuote voisi olla kuivattavissa myös pienemmillä apuainepitoisuuksilla, jopa kokonaan ilman apuainetta.

Apuainepitoisuus laskettiin 10 % kerrallaan, kunnes pitoisuus oli 0 %. Lopputuotteissa ei havaittu aistinvaraisesti suuria eroavaisuuksia näytteeseen, jossa apuainepitoisuus oli 30 %. Kuitenkin näyte, jonka apuainepitoisuus oli 10 % tuntui matalampisuolaisessa näytteessä hieman kosteammalta muihin verrattuna. Apuaineeton lopputuote oli tahmeaa ja partikkelit paakkuuntuivat osassa jauhetta toisiinsa. Tuotteen tahmeudella ajateltiin olevan tekemistä paakkuuntumisen kanssa. Kuvassa 24 on maltodekstriinipitoisuuksiltaan erilaisia lopputuotteita.



Kuva 22 Holvaantunut kuivauskammio korkeamman kuivauslämpötilan näytteen jälkeen.



Kuva 23 Kuivauskammio viimeisen näytteen kuivauksen jälkeen.



Kuva 24 Sumukuivattuja näytteitä eri apuainepitoisuuksilla. Ylärivissä korkeamman suolan näytteet ja alarivissä matalamman suolan näytteet.



## 7.4 Analyysimenetelmien tulokset

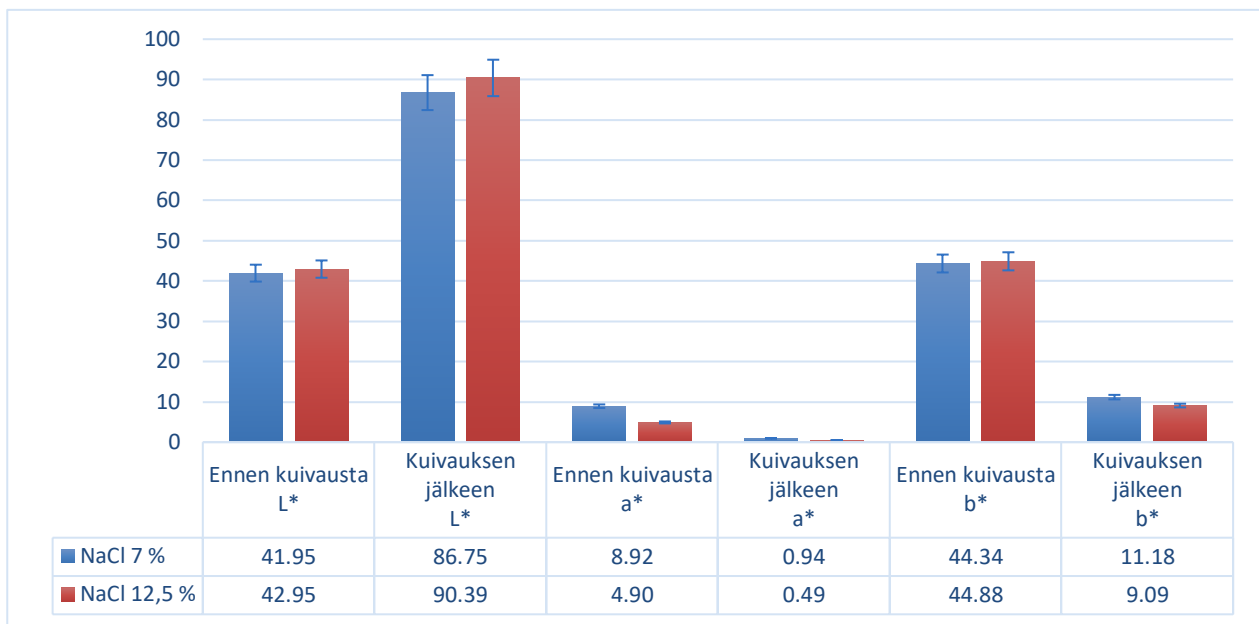
Tässä kappaleessa esitellään kaikki eri analyysimenetelmistä saadut tulokset.

### 7.4.1 Väri

Kuivattuja tuotteita tarkastellessa pystyttiin jo silmämääräisesti havaitsemaan, että kylmäkuivaus poistaa tuotteesta havainnoitavan värin. Kastikkeen alkuperäinen rusehtava väri oli muuttunut silminnähden melkein valkoiseksi kummassakin näytteessä. Kylmäkuivauksen tunnetaan vaalentavan muitakin elintarvikkeita. Värin vaalenemisen aiheuttaa kuivauksessa tapahtuva pigmenttien hapettuminen. (Rajkumar, Ganesan, 2021).

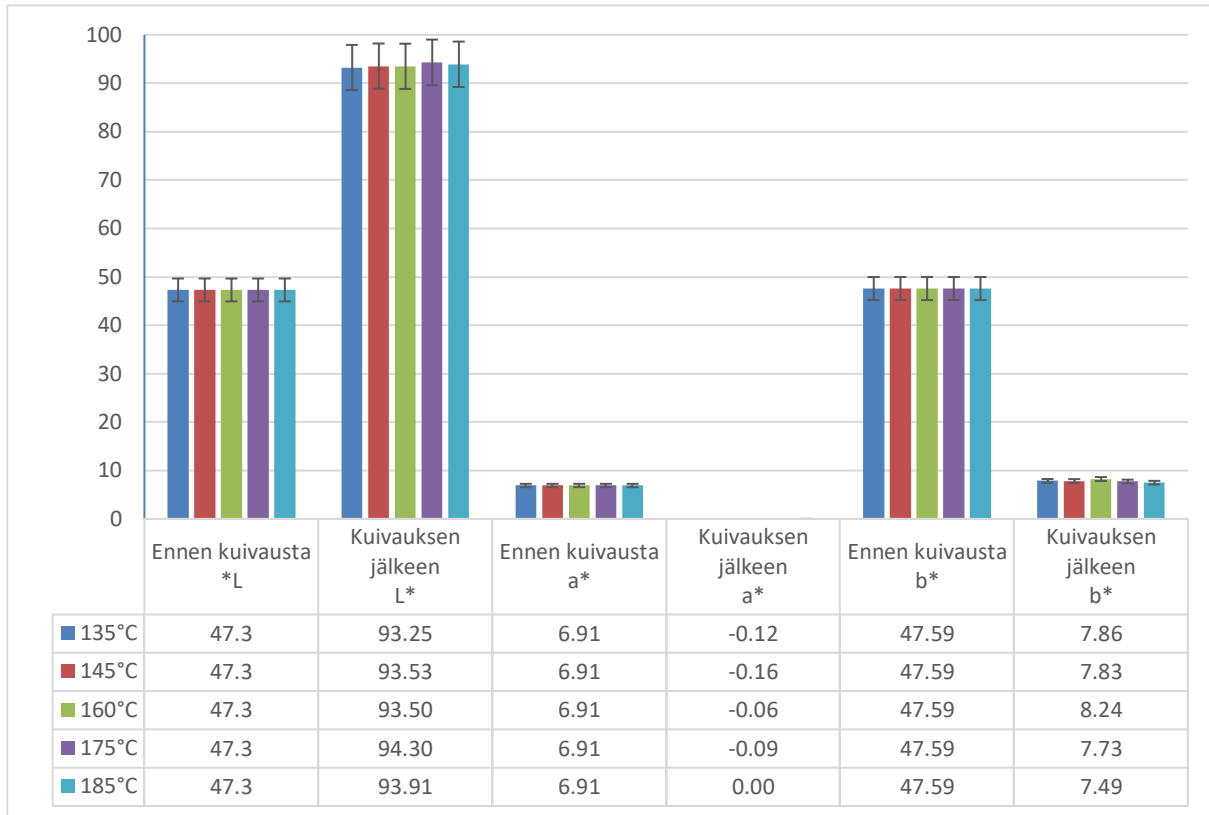
Näytteen L\*-arvo eli vaaleus, joka on havaittavissa valkoisena värinä, oli noussut matalamman suolan näytteellä 106,8 prosenttiyksikköä, a\*-arvo eli punaisuus oli laskenut 86,5 prosenttiyksikköä pysyen kuitenkin vielä punaisen puolella, b\*-arvo eli keltaisuus (+) oli laskenut 78,8 prosenttiyksikköä. Korkeamman suolan näytteellä L\*-arvo oli noussut 110,5 prosenttiyksikköä, a\*-arvo oli laskenut 90,0 prosenttiyksikköä ja b\*-arvo oli laskenut 79,4 prosenttiyksikköä. Tulokset ovat esitettyinä pylväsdiagrammina kuvassa 25.

Kuva 25 Kylmäkuivattujen näytteiden värianalyysin tulokset.

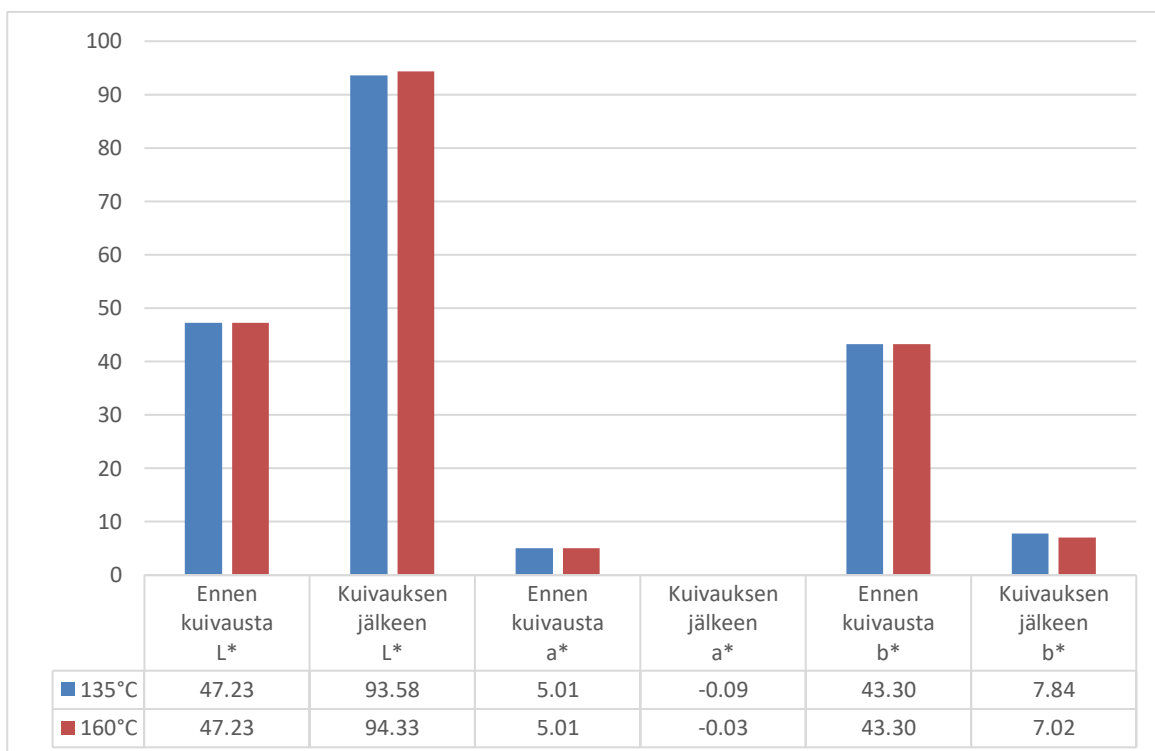


Sumukuivauksen lopputuotteissa oli havaittavissa visuaalisesti samankaltaista värikatoa, kuin kylmäkuivatuissa näytteissä. Kaikki matalamman suolapitoisuuden näytteet huomioiden vaaleusarvo L\* kasvoi keskiarvoisesti 97,9 prosenttiyksikköä, punaisuus a\* laski 101,6 prosenttiyksikköä kadoten kokonaan ja siirtyen vihreän puolelle tulosten ollessa negatiivisia ja keltaisuus b\* laski 83,4 prosenttiyksikköä jääden kuitenkin nollan yläpuolelle ja näin ollen säilyttäen keltaisuutta. Korkeamman suolapitoisuuden näytteissä havaittiin samankaltaista muutosta kuin matalampi suolaisissa näytteissä vaaleusarvo L\*:<sup>n</sup> kasvaessa 98,9 prosenttiyksikköä, punaisuus a\*:<sup>n</sup> laskiessa 101,2 prosenttiyksikköä ja keltaisuus b\*:<sup>n</sup> laskiessa 82,8 prosenttiyksikköä. Kuvissa 26 ja 27 on esitetty värimuutokset pylväsdiagrammeihin. Kuivattujen tuotteiden a\*-tulosten ollessa todella lähellä nollaa niitä ei voi kyseisistä diagrammeista havaita.

Kuva 26 Sumukuivattujen näytteiden värianalyysin tulokset, näytteiden suolapitoisuus 7 %.



Kuva 27 Sumukuivattujen näytteiden värianalyysin tulokset, näytteiden suolapitoisuus 12,5 %.



Kokonaisvärimuutos oli suurimmillaan sumukuivatuilla matalamman suolapitoisuuden näytteillä. Näiden näytteiden kokonaisvärimuutos vaihteli välillä 61,09–62,02. Pienin kokonaisvärinmuutos oli kylmäkuivatulla matalan suolapitoisuuden näytteellä tuloksen ollessa 56,31. Kaikki kokonaisvärimuutosten tulokset ovat esitettynä taulukossa Taulukko 1.

Taulukko 1 Kaikkien näytteiden kokonaisvärimuutokset.

Näyte	Kokonaisvärimuutos
NaCl 7 % kylmäkuivattu	56,31
NaCl 12,5 % kylmäkuivattu	59,59
NaCl 7 % sumukuivaus 135 °C	61,15
NaCl 7 % sumukuivaus 145 °C	61,17
NaCl 7 % sumukuivaus 160 °C	61,09
NaCl 7 % sumukuivaus 175 °C	62,02
NaCl 7 % sumukuivaus 185 °C	61,87
NaCl 12,5 % sumukuivaus 135 °C	58,58
NaCl 12,5 % Sumukuivaus 160 °C	59,67

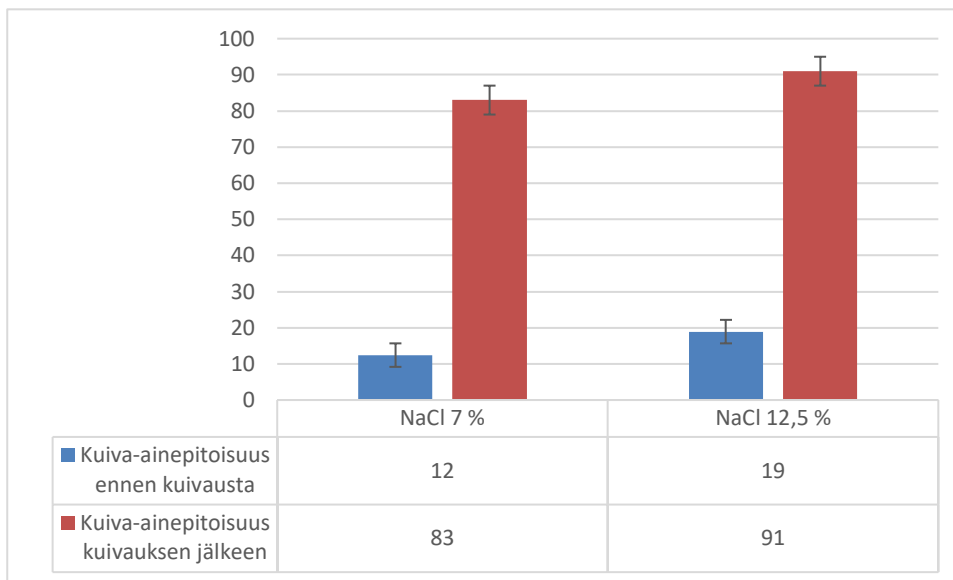
#### 7.4.2 Kuiva-ainepitoisuus

Kylmäkuivatuissa matalamman suolan näytteissä kuiva-ainepitoisuus nousi 71 prosenttiyksikköä kuivauksessa muuttuen lähtöarvosta 12 % arvoon 83 %. Korkeamman suolan näytteissä kuiva-ainepitoisuus nousi 72 prosenttiyksikköä kuivauksessa muuttuen lähtöarvosta 19 % arvoon 91 %. Kylmäkuivatuissa näytteissä matalamman suolapitoisuuden näytteiden lopullinen kuiva-ainepitoisuus jäädessä matalammaksi vahvistui epäily epätydellisestä kuivumisesta. Kylmäkuivauksen kuiva-ainepitoisuustulokset ovat esiteltynä kuvan 28 pylväsdiagrammissa.

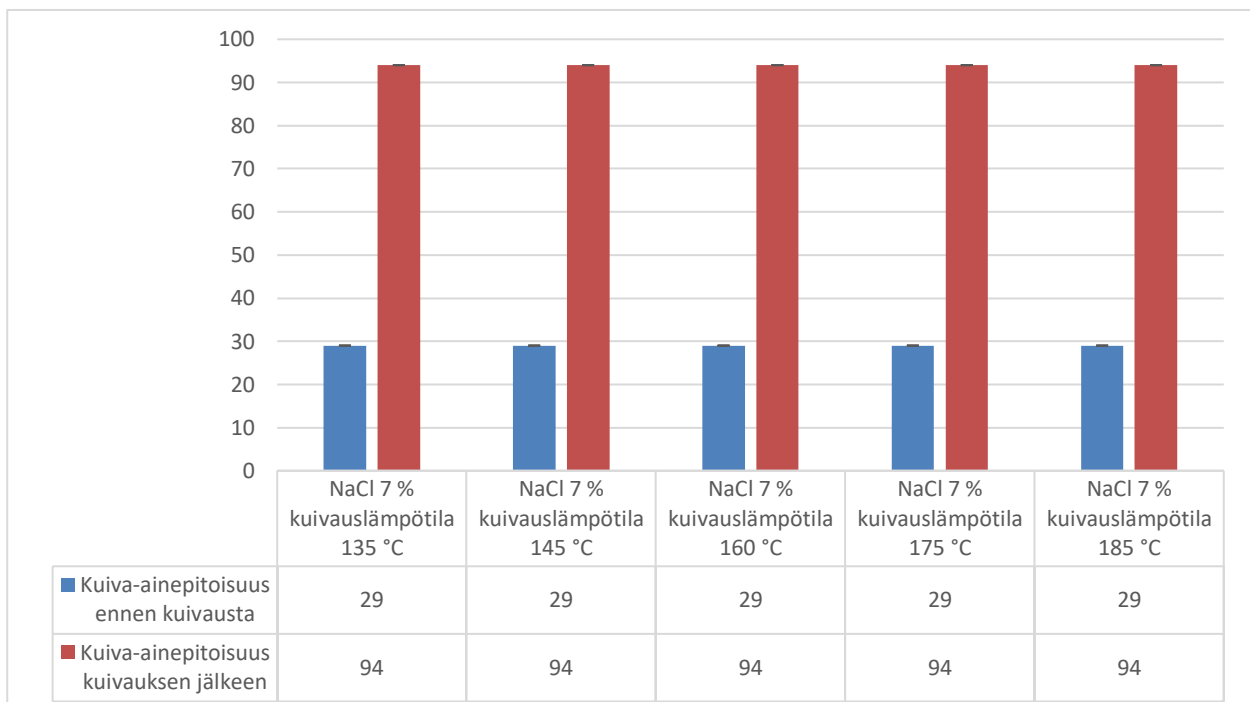
Sumukuivauksessa kuiva-ainepitoisuuksien prosentuaalinen muutos oli maltillisempaa, mutta lopputuotteen kuiva-ainepitoisuudet olivat kuitenkin korkeampia sillä maltodekstriinin lisäys kasvatti kastikkeiden pitoisuuksia jo ennen kuivausta. Sumukuivauksessa kaikkien matalampi suolaisten näytteiden kuiva-ainepitoisuus nousi 65 prosenttiyksikköä muuttuen lähtöarvosta 29 % arvoon 94 %. Korkeamman suolapitoisuuden näytteissä kuivauslämpötilalla 135 °C:sta muutos oli

61 prosenttiyksikköä arvosta 34 % arvoon 95 % ja 160 °C:sta kuivauslämpötilassa 62 prosenttiyksikköä arvosta 34 % arvoon 96 %. Kuiva-ainepitoisuuksien noususta voi todeta sumukuivauksen onnistuneen. Sumukuivattujen näytteiden kuiva-ainepitoisuudet ovat esiteltyinä kuvien 29 ja 30 pylväsdiagrammeissa.

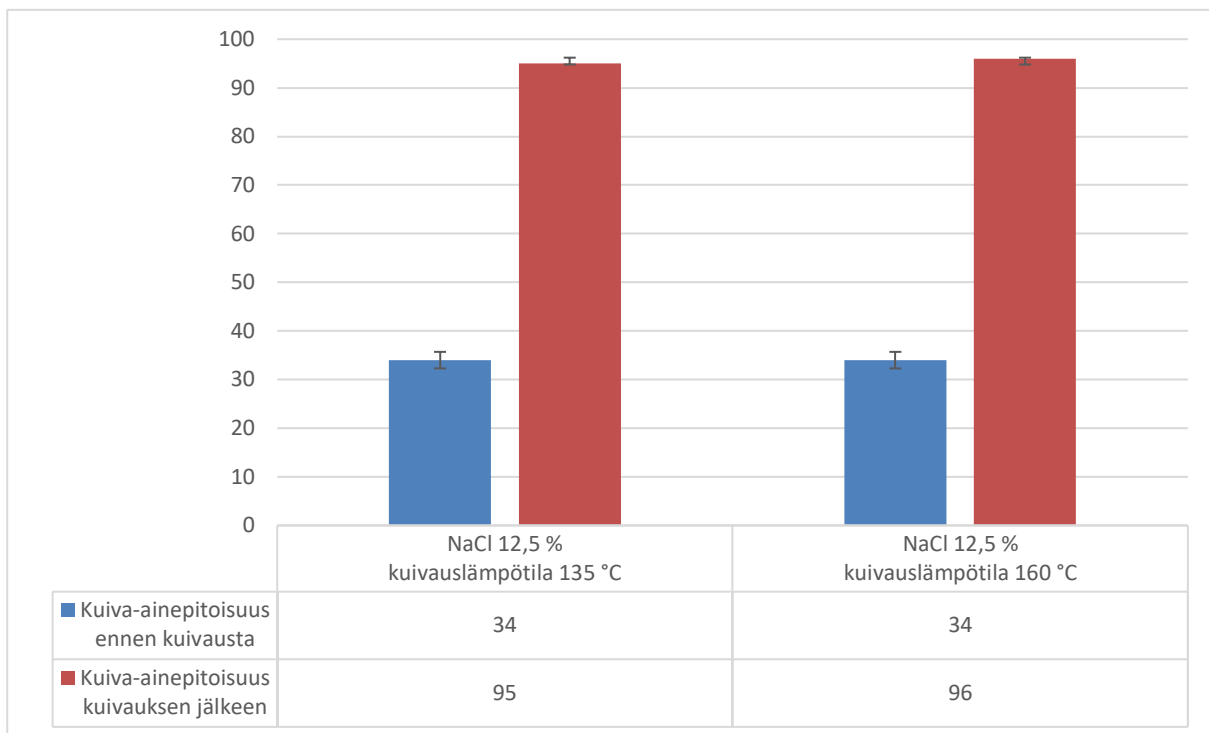
Kuva 28 Kuiva-ainepitoisuudet ennen ja jälkeen kylmäkuivauksen.



Kuva 29 Kuiva-ainepitoisuudet ennen ja jälkeen sumukuivauksen, suolapitoisuus 7 %.



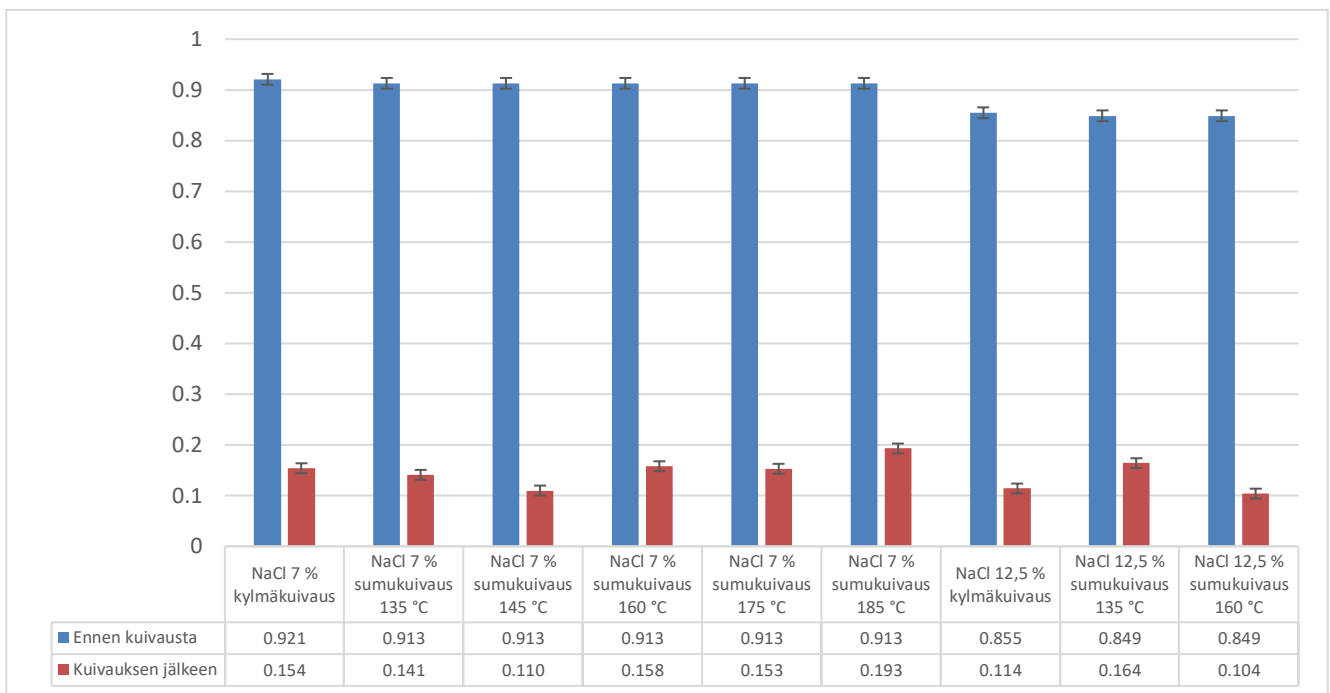
Kuva 30 Kuiva-ainepitoisuudet ennen ja jälkeen sumukuivauksen, suolapitoisuus 12,5 %.



### 7.4.3 Veden aktiivisuus

Kylmäkuivauksessa korkeamman suolapitoisuuden näytteessä saavutettiin hieman matalampi veden aktiivisuus kuin matalampisuolaisissa näytteissä. Sumukuivauksessa matalamman suolapitoisuuden näytteissä matalin veden aktiivisuus tulos saatiin kuivauslämpötilalla 145 °C. Sumukuivauksessa korkeamman suolapitoisuuden näytteissä matalin tulos saatiin 160 °C kuivauslämpötilalla. Tuloksissa esiintyi jonkin verran hajontaa, mutta kaikkien näytteiden veden aktiivisuus laski kylmäkuivauksen ja sumukuivauksen seurauksena huomattavasti alle arvon 0,6, jonka alapuolella tuotteessa ei tapahdu enää mikrobikasvua, mutta bakteerien itiöt voivat kuitenkin säilyä (Edu, n.d.). Täten veden aktiivisuusmittausten perusteella kuivaus oli onnistunut. Kuvassa 31 on esitettyä veden aktiivisuus mittausten tulokset.

Kuva 31 Veden aktiivisuus mittausten tulokset ennen kuivausta ja kuivauksen jälkeen.



#### 7.4.4 L-Glutamiinihappopitoisuus

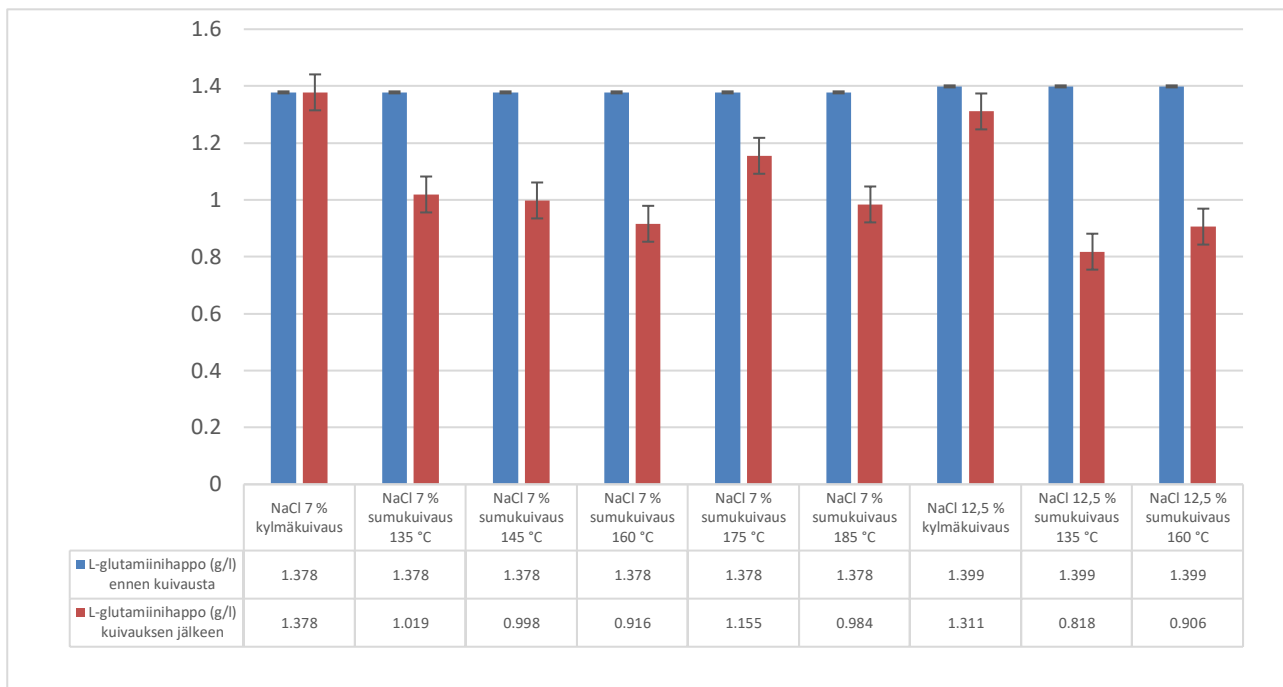
Kylmäkuivauksessa matalamman suolan näytteiden L-glutamiinihappopitoisuus pysyi lähtötuotteen tasolla. Korkeamman suolan näytteessä pitoisuus laski 4,9 prosenttiyksikköä pitoisuudesta 1,399 g/l pitoisuuteen 1,311 g/l. Kylmäkuivauksen säilyttäessä parhaiten alkuperäisen tuotteen ominaisuudet tulos oli odotettavissa. Sumukuivauksessa L-glutamiinihappopitoisuudet laskivat kaikkien kuivauslämpötilojen kohdalla. Suurin lasku tapahtui kuivauslämpötilassa 160 °C:ta, jolla pitoisuus laski 33,5 prosenttiyksikköä. Vähäisin muutos tapahtui kuivauslämpötilalla 175 °C:ta, jolla lasku oli 16,2 prosenttiyksikköä. Tulos on hieman yllättävä, glutamiinin hajoamislämpötilan ollessa 185–280 °C ja käytettyjen sumukuivauslämpötilojen ollessa tätä alhaisempia pois lukien yksi näyte (Weiss, ym., 2018, s. 5). Sumukuivauksen ollessa nopea ja herkillekin materiaaleille sopiva prosessi ei tuotteen sisälämpötilan olisi pitänyt nousta sen aikana glutamiinin hajoamislämpötiloihin.

Kuivatun tuotteen L-glutamiinihappopitoisuuden säilyminen mahdollisimman lähellä alkuperäistä pitoisuutta on tavoiteltavaa kyseisen aminohapon ollessa avaintekijä umamin aistimisessa. Tarkasteltaessa L-glutamiinihappopitoisuutta kylmäkuivauksen lopputuote oli siis onnistuneempi,



kuin sumukuivattu lopputuote. Mikäli kuivausmenetelmä valittaisiin huomioimalla ainoastaan L-glutamiinihappopitoisuuden muutokset ei sumukuivausta voitaisi suositella ensisijaiseksi kuivausmenetelmäksi tilaajayrityksen tuotteelle. L-glutamiinihappopitoisuuksien mittaustulokset ennen ja jälkeen kuivausten on esiteltyä kuvassa 32 .

Kuva 32 L-glutamiinihappo tulokset ennen ja jälkeen kuivauksen.



#### 7.4.5 Tiheys

Kylmäkuivatuilla näytteillä todettiin olevan korkeampi tiheys, kuin sumukuivatuilla näytteillä. Kylmäkuivattujen näytteiden havaittiin jo silmämääräisesti koostuvan isommista partikkeleista, kuten kuvassa 17 olevista näytteistä voidaan havaita, joten kylmäkuivattujen näytteiden suurempi tiheys oli odotettavissa. Sumukuivauksessa havaittiin, että tiheys laskee mitä korkeampaa lämpötilaa kuivauksessa on käytetty. Sumukuivattujen näytteiden tulos oli ristiriidassa ennako-odotusten kanssa. Tämä johtui luvun 7.3 toisessa kappaleessa todetusta, korkeampien kuivauslämpötilojen näytteen syöttövirtauksen lisäämisestä ulostulolämpötilan vakaava pitämiseksi. Syöttövirtauksen lisäämisen pitäisi kasvattaa pisarakokoa ja näin ollen nostaa tiheyttä (Chegini & Ghobadian, 2007; Rodriguez, ym., 2020). Tulokset eivät siis ole luotettavia sumukuivattujen näytteiden osalta. Tiheydenmäärittäminen tuloksissa on myös hyvä huomioida, että alkuperäisessä menetelmässä naputtelu tehtiin koneellisesti ja tässä opinnäytetyössä käytettiin

käsin naputtelua. Taulukossa Taulukko 2 on esitettyä menetelmän naputteluvaiheen jälkeiset ominaistiheydet ja ominaistiheyksien perusteella lasketut tiheydet.

Taulukko 2 Kuivattujen näytteiden ominaistiheydet ja ominaistiheyksistä lasketut tiheydet.

Näyte	Ominaistiheys (ml/g)	Tiheys (g/ml)
NaCl 7 % kylmäkuivaus	1,64	0,61
NaCl 7 % sumukuivaus 135 °C	1,65	0,61
NaCl 7 % sumukuivaus 145 °C	1,74	0,57
NaCl 7 % sumukuivaus 160 °C	2,10	0,48
NaCl 7 % sumukuivaus 175 °C	2,09	0,48
NaCl 7 % sumukuivaus 185 °C	2,39	0,42
NaCl 12,5 % kylmäkuivaus	1,60	0,63
NaCl 12,5 % sumukuivaus 135 °C	1,46	0,68
NaCl 12,5 % sumukuivaus 160 °C	1,69	0,59

#### 7.4.6 Liukoisuus

Kuvassa 33 esitellään vettyvyysaikojen tulokset, joista liukoisuus on pääteltävissä. Jauheen luetaan olevan liukoista, mikäli vettyvyysaika on alle 120 s (Dolivet, ym., 2012, ss. 38–39).

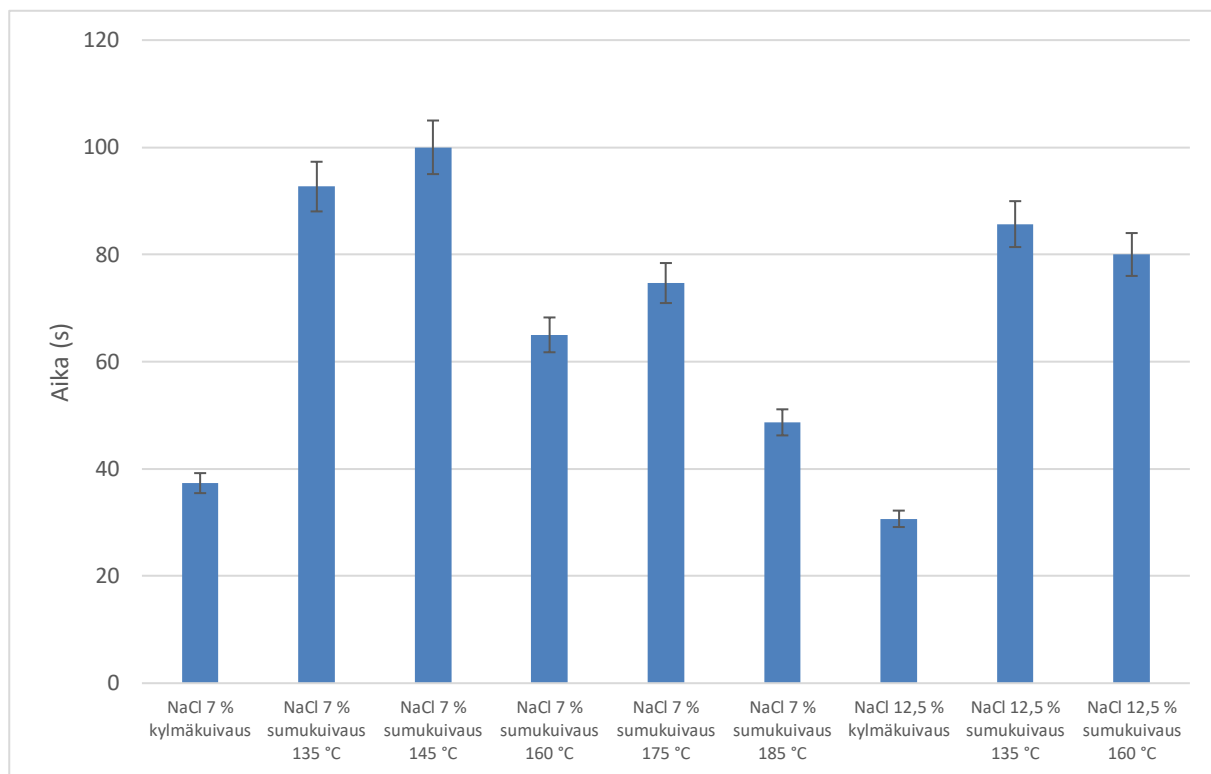
Kylmäkuivattujen näytteiden vettyvyysajat olivat matalampi suolaisella näytteellä 37 sekuntia ja korkeampi suolaisella näytteellä 30 sekuntia. Sumukuivatuilla näytteillä vettyvyysajat vaihtelivat matalampi suolaisilla näytteillä 48–100 sekunnin välillä ja korkeampi suolaisten näytteillä 80–85 sekunnin välillä.

Toisin kuin ennako-odotuksena oli, tulosten perusteella kylmäkuivatut näytteet olivat kaikista näytteistä liukoisimpia. Kylmäkuivatut näytteet todettiin tiheyden mittauksessa ja aistinvaraisesti arvioiden suuripartikkeleiseksi, jonka pitäisi vettyä hienojakoista ja pienipartikkelista jauhetta heikommin. Tutkimuksissa on osoitettu, että suuret partikkelit sisältävät enemmän massaa ja täten suuremmalla määrällä tuotetta on vähemmän pinta-alaa vettyä pienipartikkeliseen

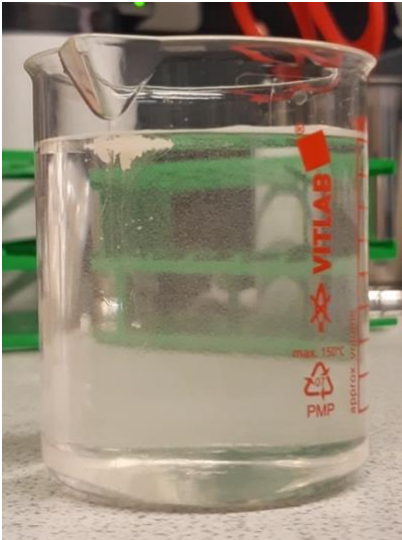
jauheeseen verrattuna ja, että pienien partikkeleiden suurempi pinta-ala mahdollistaa suuremman vuorovaikutuksen liuottimen kanssa ja täten nopeamman liukenemisen. (Hussain, ym., 2018)

Tuloksia tulkitessa on kuitenkin hyvä ottaa huomioon luvussa 3.2 kerrotusta kylmäkuivauksen kyvystä säilyttää alkuperäiset ominaisuudet ja kylmäkuivatun kastikkeen huokoinen rakenne. Nämä seikat voivat selittää kylmäkuivatun näytteen hyvän vettyvyyden ja näin ollen liukoisuuden suurista partikkeleista huolimatta. Korkeampien kuivauslämpötilojen näytteet liukenevan nopeammin tulosten mukaan. Kuvassa 34 suoritetaan vettyvyysanalyysia, 100 ml dekanterilasiin kaadettu näyte on alkanut liukenemaan.

Kuva 33 Vettyvyys tulokset.



Kuva 34 Sumukuivattu näyte liukenemassa vettyvyysanalyysissa.



## 8 Johtopäätökset

Tilajayrityksen tuote on kuivattavissa jauhemaiseksi tuotteeksi. Kuivaus parantaa tuotteen säilyvyyttä laskien sen veden aktiivisuutta ja kuiva-ainepitoisuutta. Tuotteen sisältämä umamin maku säilyy kuivauksessa. L-glutamiinihappo analyysit kuitenkin osoittivat, että tarvittaisiin lisätutkimuksia, jotta varmistuttaisiin optimaalisimmasta kuivauslämpötilasta kuumalla ilmalla kuivattaessa. Ennako-odotuksista poiketen tuotteen sumukuivaus ilman apuaineita onnistui. Lopputuote oli liukoista sekä jauhemaista, kuten sen toivottiinkin olevan.

Kylmäkuivaus säilytti L-glutamiinihappopitoisuuksia hyvin. Kuitenkin kuivaustekniikkaa valittaessa on muistettava kirjallisuudesta löydetyt kylmäkuivauksen heikkoudet kustannuksissa sekä energiankulutuksessa verrattaessa sumukuivaukseen ja valssikuivaukseen sekä tuotteen suolapitoisuudesta johtuva jäätymispisteen nousu (Tsotas, ym., 2011, s. 1–46; Hawach Scientific, 2020.). Kyseinen jäätymispisteen nousu lisää kylmäkuivauksen energiankulutusta jäätymisen ja sen seurauksena tapahtuvan, kylmäkuivauksessa tarvittavan, sublimoitumisen hankaloituessa. Lisäksi laskenut jäätymispiste voi tuoda muitakin haasteita kylmäkuivausprosessiin.

Kirjallisuuden perusteella energiakulutusta ajatellen tehokkain kuivausmuoto olisi valssikuivaus (Juming, ym., 2003, s. 211). Valssikuivaus vaatisi kuitenkin lisätutkimusta käytännössä, sillä tuote todettiin lämpöherkäksi L-glutamiinihappopitoisuustesteissä. Valssikuivauksen ollessa hitaampaa verrattuna sumukuivaukseen tuotteen sisälämpötila saattaa nousta valssikuivauksessa niin

korkeaksi, että tuotteessa tapahtuu L-glutamiinihappokadon lisäksi muitakin ei-toivottuja ilmiöitä. Lisäksi haihdutus osoitti tuotteessa tapahtuvan erottumista tietyissä olosuhteissa, joten tätä erottumista saattaisi tapahtua myös hiljalleen pyörivän valssin päällä. Edellä mainittujen huomioiden lisäksi lisääineettomassa lopputuotteessa havaittiin tahmaisuuutta sumukuivauksen jälkeen, joten kastikkeen tarrautumisesta valssin päälle kuivumisen aikana ja apuaineiden tarpeesta ei voida olla varmoja ilman lisätutkimuksia. Valssikuivauksessa tulisi myös huomioida laitteiston korroosiokestävyys tuotteen korkean suolapitoisuuden vuoksi.

Sumukuivaus haihdutti tuotteesta prosentuaalisesti enemmän kosteutta kuin kylmäkuivaus, eikä sumukuivauksen lopputuotteita analysoidessa löytynyt suurempia negatiivisia huomioita. Sumukuivaus on myös kirjallisuuden perusteella melko energiatehokasta ja sitä voidaan käyttää myös esikäsitellyille sekä esikäsittelemättömille elintarvikkeille. Tuotteen korkea suolapitoisuuskaan ei tuo haasteita sumukuivaukseen, kuten se voi tuoda kahteen muuhun tässä opinnäytetyössä tarkasteltuun kuivausmenetelmään. Näistä syistä sumukuivausta voidaan pitää parhaana vaihtoehtona tilaajayrityksen tuotteen kuivaukselle.

## Lähteet

Anandharamakrishnan, C. (2017). Handbook of Drying for Dairy Products. *John Wiley & Sons, Incorporated*. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/reader.action?docID=4801041>

Anandharamakrishnan, C., Ishwarya, S. P. (2015). *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation*. John Wiley & Sons, Incorporated. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/detail.action?docID=2006102#>

Bhandari, B., Bansal, N., Zhang, M., Schuck, P. (Eds.). (2013). *Handbook of Food Powder: Processes and Properties*. Elsevier Science & Technology. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/detail.action?docID=1574962#>

Berk, Z. (2008). *Food Process Engineering and Technology*. Elsevier Science & Technology. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/detail.action?docID=369462#>

Brito De Souza, V., Thomazini, M., César de Carvalho Baliero, J., Fávaro-Trindade, C. S. (2015). Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). *Food and Bioproducts Processing*, 93(41), 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.11.001>

Chegini, G.R., Ghobadian B. (2005). Effects of Spray-Drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying technology*, 23(1), 657–668. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/DRT-200054161?journalCode=ldrt20>

Clark, S., Jung, S., Lamsai, B. (2014). Food Processing: Principles and Applications. *John Wiley & Sons, Incorporated*. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/reader.action?docID=1662196>

CorrosionPedia. (2021). Glass transition temperature (Tg). <https://www.corrosionpedia.com/definition/593/glass-transition-temperature-tg>

Dolivet, A., Schuck, P., & Jeantet, R. (2012). *Analytical methods for food and dairy powders*. John Wiley & Sons, Incorporated. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/detail.action?docID=865169#>

Drake, S.L., Carunchia Whetsine, M.E., Drake, M.A., Courtney, P., Flinger, K., Jenkins, J., Pruitt, C. (2007). Sources of Umami Taste in Cheddar and Swiss Cheeses. *Journal of Food Science*, 72(6), 360–366. <https://doi-org.ezproxy.hamk.fi/10.1111/j.1750-3841.2007.00402.x>

Edu. (n.d.). *Veden aktiivisuuden vaikutus elintarvikkeiden pilaantumiseen*. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/hygieniaosaaminen/vedenaktiivisuus.htm>

Fangyuan, C., Xueyong, Z., Yanmei, L. (2018). Methods for Improvement of the Thermal Efficiency during Spray Drying. *E3S Web of Conferences* 53. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185301031>

Fellows, P. J. (2009). *Food Processing Technology: Principles and Practice*. Woodhead Publishing Series in Food Technology and Nutrition Ser. E-kirja. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/detail.action?docID=1639821>

Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M.E., Ordonnaud, C, Peyrat-Maillard, M.N., Dumoulin E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of food engineering*, 75(1), 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.047>

Galaz, P., Valdenegro, M., Ramírez, H., Nunez, H., Almonacid, S., Simpson, R. (2017). Effect of drum drying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel. *Journal of Food Engineering*, 208(1), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.002>

Hajeb, P., Jinap, S. (2014). Umami Taste Components and Their Sources in Asian Foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55 (2015). <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.678422>

Hawach Scientific. (2020). Optimization of freeze-drying energy consumption. <https://www.hawachdryer.com/optimization-of-freeze-drying-energy-consumption/>

Heikkilä, I., Huomo, M., Siitonen, S., Seitsalo, P., Hyytiä, H. (2008). *Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT), Teollisuuden energiatehokkuus*. Suomen ympäristökeskus. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38378/SY\\_51\\_2008.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38378/SY_51_2008.pdf?sequence=1)

Hussain, K., Qamar, A., Bukhari, N. I., Hussain, A., Shehzadi, N., Qaman, S., Parveen, S. (2018). Impact of Particle-Size reduction on the solubility and antidiabetic activity of extract of leaves of vinca rosea. University of Punjab, Punjab University of college of pharmacy.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32454732/>

Jangam, S.V., Thorat, B.N. (2010). *Drying Technology*, 28(12), 1426–1434.

<https://doi.org/10.1080/07373937.2010.482699>

Juming, T., Hao, F., Guo-Qi, S. (2003). Drum Drying. *Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering*. Marcel Dekker Inc.

<https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/1254/2016/04/book-drumdry-tang03.pdf>

Kawai, M., Uneyama, H., Miyano, H. (2009). Taste-active Components in Foods, with Concentration on Umami compounds. *Journal of Health Science*, 55(5), 667–673.

[https://www.istage.jst.go.jp/article/jhs/55/5/55\\_5\\_667/\\_pdf](https://www.istage.jst.go.jp/article/jhs/55/5/55_5_667/_pdf)

Kozak, P., Dziki, D., Krzykowski, A., & Rudy, S. (2011). Optimization of energy consumption in the freeze drying process of champignon (*Agaricus bisporus* L). *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 11. <https://bibliotekanauki.pl/articles/792659>

Niels, G.H., Jansen, L.A., van Boxtel, A.J.B. (1985). Control and Energy Aspects of Milk Powder Spray-Drying in Relation to Product Quality. In: Toei, R., Mujumdar, A.S. (eds) *Drying '85*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-21830-3\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-662-21830-3_30)

Nielsen, S.S. (2017). *Food Analysis Laboratory Manual*. Food Science text series – third edition. Purdue University, West Lafayette, IN, USA.

<http://41.63.34.241:8080/jspui/bitstream/123456789/633/1/Food%20Analysis%20Laboratory%20Manual.pdf>

Pharmaapproach. (2020). Rotary dryer. <https://www.pharmaapproach.com/rotary-dryer/>

Pihkala, J. (2011). *Prosessiteknikka. Yksikkö- ja tuotantoprosessit*. Opetushallitus, ISBN-978-952-13-4614-9.



Poojary, M. M., Orlie, V., Passamonti, P., Olsen, K. (2017). Enzyme-assisted extraction enhancing the umami taste amino acids recovery from several cultivated mushrooms. *Food Chemistry*, 234, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.157>

Rajkumar, H., Ganesan, N. D. (2021). Effects of freeze-drying process on the production of cashew apple powder: Determination of bioactive compounds and fruit powder properties. *Institute of Food Science + Technology*. <https://doi-org.ezproxy.hamk.fi/10.1111/jfpp.15466>

Rodriguez, J. F. C., Uresti-Marin, R. M., Gomez M. G. S., Santiago-Adame R., Ortiz-Basurto R. I. (2020). Evaluation of spray-drying's operable condition for obtaining orange juice powder: effects on physicochemical properties. *CyTA-Journal of Food*, 18, 195–202.

<https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1728388>

Roos, Y. (2002). Importance of glass transition and water activity to spray drying and stability of dairy powders. *Le Lait, INRA Enditions*, 82(4), 475–484. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00895369/document>

Ruokatieto. (N.d.). *Makujen monipuolinen maailma*.

<https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/ravitsemus-ja-ruuan-valinta/miten-syoda/makujen-monipuolinen-maailma>

Rybak, K., Parniakov, O., Samborska, K., Wiktor, A., Witrowa-Rajdher, D., Nowacka, M. (2021). Energy and Quality Aspects of Freeze-Drying Preceded by Traditional and Novel Pre- Treatment Methods as Exemplified by Red Bell Pepper. *Sustainability* 2021, 13, 2035.

<https://doi.org/10.3390/su13042035>

Sablania, V., Shubham, R., Sowriappan, J. D. B., Manzoor, A. S. (2017). Microencapsulation of *Murraya koenigii* L. leaf extract using spray drying. *Journal of Food Measurement and Characterization* 12(2), 1–10.

[https://www.researchgate.net/publication/321759486\\_Microencapsulation\\_of\\_Murraya\\_koenigii\\_L\\_leaf\\_extract\\_using\\_spray\\_drying](https://www.researchgate.net/publication/321759486_Microencapsulation_of_Murraya_koenigii_L_leaf_extract_using_spray_drying)

Smith, S. J., Hui, Y. (2004). *Food processing: principles and applications*, 1<sup>st</sup> edition. Blackwell publishing, ISBN 0-8138-1942-3.

Singh, P., Heldman, D.R. (2014). *Introduction to Food Engineering, 5<sup>th</sup> edition*. Food Science and Technology series, Academic Press. ISBN 978-0-12-398530-9

Tontul, I., Topuz, A. (2017). Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect on drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in Food Science & Technology*, 63, 91–102. <https://doi-org.ezproxy.hamk.fi/10.1016/j.tifs.2017.03.009>

Tsotas, E., Mujumdar, A. S., Mujumdar, A. (Eds.). (2011). *Modern Drying Technology, Volume 4: Energy savings*. John Wiley & Sons, Incorporated. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/reader.action?docID=834635>

Wang, W. (2012). *Soy sauce powder production by spray drying and powder property characterization for anti-caking*. National university of Singapore. <https://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/37703>

Wang, W., Zhou, W. (2015). Characterisation of spray dried soy sauce powder made by adding crystalline carbohydrates to drying carrier. *Food Chemistry*, 168, 417–422 <https://doi-org.ezproxy.hamk.fi/10.1016/j.foodchem.2014.07.065>

Wang, W., Jiang, Y., Zhou, W. (2013). Characteristics of soy sauce powders spray-dried whey proteins and maltodextrins as drying aids. *Journal of Food Engineering*, 119(4), 742–730 <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.047>

Weiss, I. M., Muth, C., Kirchner, H. O. K., Drumm, R. (2018). Thermal decomposition of the amino acids glycine, cysteine, aspartic acid, asparagine, glutamic acid, glutamine, arginine and histidine. *BMC Biophysics*. <https://doi.org/10.1186/s13628-018-0042-4>

Zhang, Y., Venkatasamy, C., Pan, Z., Liu, W., Zhao, L. (2016). Novel Umami Ingredients: Umami Peptides and Their Taste. *Journal of Food Science*, 82(1), 16–23. <https://doi-org.ezproxy.hamk.fi/10.1111/1750-3841.13576>