



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Salli Knuutila

Akustisen pakastusteknologian vaikutus elintarvikkeisiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

22.4.2021

Tekijä Otsikko	Salli Knuutila Akustisen pakastusteknologian vaikutus elintarvikkeisiin
Sivumäärä Aika	30 sivua + 7 liitettä 22.4.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Riitta Lehtinen innovaatio- ja tuotekehitysjohtaja Juhani Sibakov
<p>Akustinen pakastus on ääniaaltoihin perustuva uusi pakastusmenetelmä. Työn tarkoituksena oli tutkia akustisen pakastuksen vaikutusta erilaisiin elintarvikkeisiin. Tavoitteena oli saada yleiskuva akustisesta pakastuksesta ja verrata sitä tavanomaiseen pakastukseen.</p> <p>Akustinen pakastus tehtiin Acoustic Extra Freezing -pakastimella (–35 °C) ja verrokinäytteiden pakastus pakkasvarastossa (–18 °C). Pakastuskokeisiin valittiin 10 tuotenäytettä ja 10 raaka-ainenäytettä. Näytteistä tutkittiin jäätymisnopeutta, kosteushäviötä ja aistinvaraisia ominaisuuksia. Jäätymisnopeus mitattiin pakastuksen alusta siihen, kun näytteet siirrettiin pakkassäilytykseen. Näytteistä määritettiin kosteushäviöt sekä pakastuksen että sulatuksen osalta ja näytteille tehtiin aistinvarainen arviointi 1, 2 ja 4 viikon pakkassäilytyksen jälkeen.</p> <p>Kokeissa havaittiin vain pieniä eroja eri pakastusmenetelmien välillä. Suurimmassa osassa tuloksia näytteiden väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Marjapiirakoilla ja suklaamousseleivoksilla akustisella pakastuksella havaittiin parempia tuloksia aistinvaraisista arvioinneista kuin tavallisella pakastuksella. Tuotenäytteillä pakastuksen aiheuttamat painohäviöt olivat melko pieniä, sen sijaan osalla raaka-ainenäytteistä painohäviöt olivat erittäin suuria. Pakkassäilytyksen kesto vaikutti tuotenäytteiden aistinvaraisten arviointien tuloksiin: mitä pidempi pakkassäilytys, sitä heikompia tuotteiden arviointitulokset olivat, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta.</p> <p>Työn tuloksia voitaisiin hyödyntää kohdennettujen jatkotutkimusten suunnittelussa. Ainakin suklaamousseleivosten ja marjapiirakoiden tutkimista akustisella pakastuksella kannattaisi jatkaa. Jatkotutkimuksissa voitaisiin tehdä aistinvaraista arviointia suuremmalla raadilla ja tehdä tuotteille pidempää pakkasseurantaa, jotta nähtäisiin enemmän eroja pakastustulosten välillä.</p>	
Avainsanat	pakastus, akustinen pakastus, leipomotuotteet

Author Title	Salli Knuutila Effect of acoustic freezing technology on food products
Number of Pages Date	30 pages + 7 appendices 22 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Biotechnology and Food Engineering
Instructors	Riitta Lehtinen, Principal lecturer Juhani Sibakov, Director R&D
<p>Acoustic freezing is a new freezing method based on sound waves. The aim of the thesis was to study the effect of acoustic freezing on food products and their raw materials. The aim was to have an overview of acoustic freezing and compare it to conventional freezing.</p> <p>Acoustic freezing was done with an Acoustic Extra Freezing -freezer (−35 °C) and control samples were frozen in a cold storage (−18 °C). Ten product samples and ten raw material samples were selected for the freezing experiments. The freezing rate, moisture loss and sensory properties of the samples were examined. The freezing rate was measured from the beginning of freezing until the samples were transferred to frozen storage. The samples were stored in frozen storage and evaluated after 1, 2 and 4 weeks of storing. After the storing sensory evaluation and moisture loss determination for both freezing and thawing were made for the samples.</p> <p>In the freezing tests only small differences between the different freezing methods were detected. In most of the results, the differences were not statistically significant. Acoustic freezing received better results from sensory evaluations for chocolate pastries and berry pies than regular freezing. The weight losses caused by freezing were rather small for the product samples, whereas in some of the raw material samples the weight losses were significant. For most of the product samples, storage time influenced the sensory evaluation results, i.e. the longer the storage time, the weaker the results.</p> <p>The results of the study could be utilized for planning targeted further studies in the future. Future studies with acoustic freezing for at least chocolate pastries and berry pies could give interesting results. If further research would be carried out, a larger number of evaluators could be used in the sensory evaluations. Evaluation for the products that have been stored longer in the freezer could be made to see more differences between the different freezing methods.</p>	
Keywords	freezing, acoustic freezing, bakery products

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Leipien ja leivonnaisten pakastus	2
2.1	Pakastamisen aiheuttamat muutokset elintarvikkeissa	2
2.2	Pakkassäilytys	4
2.3	Pakkausmateriaalit	5
3	Pakastusmenetelmät	6
3.1	Perinteiset pakastimet ja pakastusmenetelmät	6
3.2	Akustinen pakastus	6
4	Materiaalit ja menetelmät	8
4.1	Pakastuskokeiden toteutus	8
4.2	Analyysimenetelmät	10
4.2.1	Jäätymisnopeuden määrittäminen	10
4.2.2	Kosteushäviö	12
4.2.3	Aistinvarainen arviointi	12
5	Tulokset ja niiden tarkastelu	15
5.1	Raaka-ainenäytteet	15
5.2	Tuotenäytteet	19
6	Yhteenveto	27
	Lähteet	29

Liitteet

Liite 1. Esimerkki aistinvaraisen arvioinnin arviointilomakkeesta

Liite 2. Raaka-ainenäytteiden lämpötilakäyrät

Liite 3. Raaka-ainenäytteiden kosteushäviöt

Liite 4. Raaka-ainenäytteiden aistinvaraisten arviointien tulokset

Liite 5. Tuotenäytteiden lämpötilakäyrät

Liite 6. Tuotenäytteiden kosteushäviöt

Liite 7. Tuotenäytteiden aistinvaraisten arviointien tulokset

1 Johdanto

Pakastus on elintarviketeollisuudessa käytetty menetelmä, jolla voidaan usein pidentää tuotteiden säilyvyysaikaa. Pakastuksen ansiosta tuotteita voidaan ajaa tuotannossa suuria määriä kerrallaan pakkassäilytykseen, mikä säästää lajinvaihtoihin kuluvaan aikaa, eikä kaikkia tuotteita tarvitse näin ollen valmistaa päivittäin. Pakastuksella on yllä mainittujen positiivisten vaikutusten lisäksi myös useita negatiivisia vaikutuksia elintarvikkeisiin. Negatiivisia vaikutuksia pyritään minimoimaan uusien pakastusteknologioiden, kuten akustisen pakastusteknologian, avulla. Akustinen pakastus on ääniaaltoihin perustuva pakastusmenetelmä.

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli tutkia akustisen pakastusteknologian vaikutusta eri elintarvikkeisiin ja verrata sitä tavanomaiseen pakastamiseen. Työn tavoitteena oli saada yleiskuva akustisesta pakastuksesta ja sen vaikutuksista elintarvikkeiden laatuun, rakenteeseen, kuivumiseen ja aistinvaraisiin ominaisuuksiin. Lisäksi työn tavoitteena oli selvittää pakastuksen aiheuttamien muutosten taustalla olevia ilmiöitä.

Työn kirjallisessa osassa tutkittiin pakastusmenetelmiä sekä leipä- ja leivonnaistuotteiden pakastusta. Kokeellisessa osassa tutkittiin pakastettujen näytteiden aistinvaraisia ominaisuuksia, kosteushäviötä ja jäätymisnopeutta. Pakastuskoe näytteille tehtiin kolme aistinvaraista arviointia, joilla pyrittiin selvittämään pakastuksen vaikutusta aistittaviin ominaisuuksiin. Näytteiden jäätymisnopeutta selvitettiin lämpötilamittauksilla ja kosteushäviötä punnitsemalla tuotteita ennen ja jälkeen pakastuksen. Pakastuskokeissa tutkittiin monipuolisesti erilaisia tuotteita, jotta saatiin mahdollisimman laaja käsitys akustisen pakastuksen vaikutuksista erilaisissa tuotteissa.

2 Leipien ja leivonnaisten pakastus

2.1 Pakastamisen aiheuttamat muutokset elintarvikkeissa

Pakastuksella pyritään pidentämään elintarvikkeiden säilyvyysaikaa. Pakastus lisää elintarvikkeiden säilyvyyttä, koska veden aktiivisuus laskee pakastaessa [1, s. 400]. Pakastus tappaa tai vaurioittaa osaa bakteereista, joten tuotteessa voi olla sulatuksen jälkeen säilyvyysajan loppupuolella vähemmän pesäkkeitä muodostavia bakteereja kuin pakastamattomassa tuotteessa [2, s. 4]. Pakastus ei kuitenkaan tapa itiöllisiä bakteereita eikä kaikkia muitakaan bakteereista. Monien mikro-organismien aktiivisuus pysähtyy pakastuksessa, mutta niiden kyky lisääntyä säilyy, jolloin elintarvikkeen sulettua niiden aktiivisuus palautuu. [3, s. 27.] Pakastetun tuotteen laatuun vaikuttaa se, miten tuote on pakastettu ja minkälaiset pakkasvarastoinnin olosuhteet ovat. Epätasainen lämpötila pakassäilytyksessä aiheuttaa tuotteen osittaista sulamista ja jään uudelleenkiteytymistä, mikä heikentää tuotteen laatua. Optimaalinen pakastusprosessi vaihtelee kyseessä olevan tuotteen mukaan. [4, s. 521.]

Tuotteen hidas jäätyminen aiheuttaa veden siirtymistä tuotteessa, mikä voi aiheuttaa solujen kuivumista, häiriöitä soluseinissä ja kuivuneiden solujen murskautumista. Nämä aiheuttavat muutoksia sekä tuotteen rakenteessa että veden luovutuksessa sulatuksen aikana. Kosteuden siirtyminen sekä jään kiteytyminen ja uudelleenkiteytyminen ovat suurimpia fyysisiä muutoksia pakastuksen aikana. Molemmat muutokset liittyvät veden stabiiliuteen tuotteen sisällä ja pinnassa. [3, s. 224.] Elintarvikkeen jäädytysaika vaikuttaa jääkiteiden muodostumiseen, solujen ja niiden ympäristön väliseen osmoottiseen tasapainoon ja tuotteen rakenteeseen [1, s. 400–401].

Pakastuksessa jään muodostuminen aiheuttaa laatua heikentäviä fyysisiä ja kemiallisia muutoksia elintarvikkeissa. Ihannetilanteessa pakkasessa säilytetty ja sen jälkeen sulatettu tuote ei eroaisi tuoretuotteesta, mutta pakastettava tuote vaikuttaa siihen, kuinka saavutettavissa tilanne on. Tuotteiden, joiden solut vaurioituvat herkästi, laatu heikkenee muita tuotteita enemmän. Varastointi- ja kuljetusolosuhteilla on suuri vaikutus pakastet-

tujen elintarvikkeiden laatuun. [3, s. 1, 224.] Pakastettaessa jäätymättömän veden konsentraatio kasvaa ja tämä voi kiihdyttää proteiinien denaturoitumista, rasvojen hapettumista ja kolloidisten rakenteiden tuhoutumista [1, s. 400].

Pakastus pysäyttää leivän tärkkelyksen uudelleen kiteytymisen eli retrogradaation, mutta sulatuksen jälkeen laadun heikkeneminen tapahtuu nopeammin kuin pakastamattoman leivän. Tärkkelyksen retrogradaatio on nopeampaa jääkaappilämpötilassa kuin huoneenlämmössä tai pakkasessa. Retrogradaatio aiheuttaa leivän vanhenemista eli laadun heikkenemistä, jolloin leivän rakenne muuttuu kovemmaksi. Pakastettaessa leipä myös käy kaksi kertaa lämpötila-alueella, jossa sen retrogradaatio on nopeimmillaan: ensimmäisen kerran pakastuksen aikana ja toisen kerran sulatuksen aikana. [5, s. 296.]

Taikinoiden huonon lämmönjohtokyvyn vuoksi liian hidaskäyttäminen voi aiheuttaa pintakerroksen halkeilua. Tämä johtuu siitä, että hiivan toiminta taikinassa jatkuu jäädyttämisen aikana siihen asti, kunnes taikina on jäässä. Mitä lämpimämpi taikina on, sitä voimakkaampaa hiivan toiminta on. Taikinan pintakerrokset jäätyvät sisäosia nopeammin ja sisäosat jatkavat kohoamista, jolloin pintakerrokseen muodostuu halkeamia. Halkeamat näkyvät lopputuotteen pinnassa, koska halkeilu ei korjaannu sulatuksen aikana. [5, s. 189–190.] Halkeilua voi aiheuttaa tuotteen epähomogeenisuus. Enemmän vettä sisältävät osat tuotteesta laajenevat enemmän, mikä aiheuttaa mekaanista stressiä, joka voi johtaa halkeamiin. Tällaista halkeilua voidaan osittain ehkäistä käyttämällä liukoisia aineita, kuten sokeria. [1, s. 409.]

Pitkään pakkasvarastoitavien raakapakastetaikinoiden hiivan määrää kannattaa lisätä, koska osa hiivasoluista kuolee pakastuksen aikana. Rikkaat taikinat, joissa on paljon sokeria ja rasvaa, soveltuvat köyhiä taikinoita paremmin pakkasleivontaa, koska rasva ja sokeri suojaavat hiivaa ja taikinan rakennetta. [6, s. 69; 7, s. 341.] Jääkiteiden muodostuminen voi hajottaa hiivan soluseinän ja samalla tappaa hiivan, ja kiteiden muodostuminen voi myös nostaa solun sisäistä painetta, joka johtaa hiivasolun kuivumiseen. Nämä vähentävät hiivan toimintaa taikinassa ja hiivan kykyä tuottaa hiilidioksidia. [8, s. 25–26.] Kuollut hiiva myös vapauttaa aineita, kuten glutationia, jotka heikentävät gluteenin sidoksia ja heikentää taikinan rakennetta [9, s. 6].

Pakastus heikentää hiivan toimintaa, mutta hiivan pakkaskestävyyttä voidaan lisätä paranteilla. Paranteita voidaan myös käyttää pakastetuissa elintarvikkeissa ylläpitämään tuotteen reologisia ja termofysikaalisia ominaisuuksia. [8, s. 25–26.] Paranteet ovat leivonnassa käytettäviä lisäaineita, joilla pyritään parantamaan tuotteiden työstettävyyttä, laatua ja säilyvyyttä. Paranteet voivat koostua esimerkiksi entsyymeistä, emulgointi-, happamuudensäätö-, hapettumisenesto- ja säilöntäaineista. [10; 11.]

Pakastus heikentää taikinan kykyä pidättää hiilidioksidikuplia. Pakastetaikinan tilavuus pienenee, kun hiivan taikinaan tuottamien kaasukuplien hiilidioksidia liukenee taikinaan. Samalla taikinan typpikuplat pienenevät ja osa tuestä diffundoituu ympäristöön. Pakastettuun taikinaan voi paiston aikana tulla näkyviin vaaleita laikkuja. Ne voidaan nähdä mikroskoopin avulla jo ennen paistoa, mutta tulevat paistonaikaisen värin muodostumisen myötä näkyvämmiksi. Nämä vaaleat laikut johtuvat todennäköisesti hiilidioksidin lisääntyneestä liukoisuudesta taikinassa. [5, s. 204–205.]

2.2 Pakkassäilytys

Varastointi- ja kuljetusolosuhteilla on suuri vaikutus pakastettujen elintarvikkeiden laatuun [3, s. 224]. Pakastimen lämpötila vaikuttaa säilyvyysaikaan niin, että kylmempi säilytyslämpötila pidentää säilyvyysaikaa. Pitää kuitenkin huomioida, että epätasainen lämpötila lyhentää merkittävästi pakastetun tuotteen säilyvyysaikaa. Tyypillinen pakastuslämpötila elintarviketeollisuudessa on -18 °C . [4, s. 552.] Lämpötilan vaihtelua pakkasvarastossa voidaan minimoida täsmällisellä lämpötilansäädöllä, automaattisilla ovilla ja ilmatiiviillä verhoilla, nopeilla kuljetuksilla ja oikeanlaisella varastojen hallinnalla ja kierrolla. [12, s. 674.]

Pakastuksen ja pakkassäilytyksen aikana vedenpaine aiheuttaa kosteuden siirtymistä sekä tuotteen sisällä että tuotteesta ympäristöön. Kosteudella on tapana siirtyä tyhjiin tilaan elintarvikkeen ympärillä sekä kerääntyä tuotteen pinnalle ja pakkauksen sisäpintaan. Lämpötilan vaihtelu lisää kosteuden siirtymistä, joten tasaisen lämpötilan ylläpitäminen pakkassäilytyksen aikana on tärkeää tuotteen kosteushäviön minimoimiseksi. Ilman sopivaa pakkausmateriaalia kosteutta häviää tuotteen pinnalta ympäristöön, koska ilman suhteellinen kosteus pakkasvarastoissa on pienempi kuin tuotteen pinnan kosteus.

Kosteuden siirtyminen tuotteesta ympäristöön jatkuu, kunnes höyrynpaine pinnalla ja ympäristössä on sama. Tuotteen kuivumista voi ehkäistä ohuella kerroksella jäätä pakkaamattoman tuotteen ympärillä tai oikeanlaisella pakkauksella. [3, s. 224–225.]

2.3 Pakkausmateriaalit

Elintarvikepakkauksen tärkeimpiä tehtäviä on säilyttää ja suojata elintarviketta, informoida kuluttajaa ja helpottaa kuljetuksessa. Pakkaus suojelee elintarviketta ympäristöltä ja ulkoisilta vahingoilta. Elintarvike tarvitsee suojaa esimerkiksi biologiselta saastumiselta, kosteusvaihteluilta, rasvojen ja muiden aineiden hapettumiselta, virhearomeilta ja fyysisiltä vahingoilta. Pakkauksesta pitää käydä ilmi mm. tuotteen ainesosat, allergeenit, paino, ravintosisältö, alkuperämaa ja valmistaja tai valmistuttaja. [13, s. 850; 3, s. 243.]

Käytetyn pakkausmateriaalin tulee olla kemiallisesti inertti, myrkytön, vakaa, joustava, repeämätön ja suojata vesihöyryltä ja haihtuvilta aineilta. Yleisimmät pakkausmateriaalit elintarvikepakasteilla on pahvi ja muovimateriaalit. Pahvilla on heikot barrier-ominaisuudet, mutta hyvä suojaus fyysisiltä vaurioilta. Muovimateriaaleilla on erinomaiset kosteuden, hapen ja aromien barrier-ominaisuudet. [3, s. 243–244.] Raakapakasteleivonnaisen pakkausmateriaaleina käytetään usein molempia yhdessä niin, että sisäpakkaus on muovia ja ulkopakkaus pahvia.

3 Pakastusmenetelmät

3.1 Perinteiset pakastimet ja pakastusmenetelmät

Optimaalinen pakastusprosessi vaihtelee erilaisilla tuotteilla. Pakastusmenetelmät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: suoran ja epäsuoran kontaktin menetelmiin. Suoran kontaktin menetelmissä jäähdytysaine, esimerkiksi kylmä ilma, koskee elintarvikkeen tai sen pakkauksen pintaa pakastettaessa. Epäsuoran kontaktin menetelmissä elintarvikkeen ja jäähdytysaineen välillä on jokin este, esimerkiksi metallilevy. [13, s. 455–456.]

Perinteisiä pakastusmenetelmiä on

- kylmällä ilmalla pakastus esimerkiksi pakastusspiraalissa
- kontaktipakastus esimerkiksi levypakastimella
- pakastus kylmään nesteeseen upottamalla
- kuivaava pakastus esimerkiksi kryogeeninen pakastus. [1, s. 423.]

Yksinkertaisin kylmällä ilmalla pakastus on kaappipakastin, jossa kylmää ilmaa kierrätetään elintarvikkeen ympärillä tuulettimien avulla. Teollisuudessa tämän menetelmän pakastimista useimmin on käytössä tunneli-, spiraali- tai leijupetipakastin. [1, s. 423–424.] Leipomotuotteiden pakastuksessa käytetään usein spiraali- tai tunnelipakastimia.

3.2 Akustinen pakastus

Akustinen pakastus on ääniaaltoihin perustuva uusi pakastusmenetelmä. Ääniaallot aiheuttavat nanokokoisten jääkiteiden muodostumista suurien jääkiteiden sijaan. Suuret jääkiteet voivat vaurioittaa soluja. Akustisella menetelmällä saadaan pakastuksen aikana paljon pieniä jääkiteitä, kun perinteisillä menetelmillä saadaan pienempi määrä isompia jääkiteitä. Akustinen laitteisto tuottaa ääniaaltoja, mutta ei itsessään pakasta vaan se lisätään pakastuslaitteistoon, joka tuottaa kylmää. Laitteiston voi lisätä esimerkiksi kaappi-, spiraali-, kontakti- tai tunnelipakastimeen. [14, s. 2–3.] Tuotteet pakastetaan akustista menetelmää käyttäen, mutta voidaan sen jälkeen säilyttää ja kuljettaa perinteisen kylmäketjun mukaan vähintään -20 °C:ssa [15, s. 3].

Akustinen pakastus on suunniteltu elintarvikkeiden korkealaatuiseen pakastukseen. Akustisella menetelmällä pakastettaviksi sopii iso osa elintarvikkeista, mutta poikkeuksen muodostaa laitteistovalmistajan mukaan esimerkiksi tuoreina ja kokonaisina tomaatti, kurkku, vesimeloni, omena ja banaani. Akustisella teknologialla pakastetuissa tuotteissa elintarvikkeen solut säilyvät pakastusprosessista toisin kuin perinteisillä menetelmillä pakastetuissa tuotteissa. Solujen säilyminen vähentää huomattavasti veden haihtumisesta aiheutuvaa painohäviötä. Perinteisillä menetelmillä pakastetuissa tuotteissa jääkiteet rikkovat solujen soluseinän ja vettä pääsee haihtumaan soluista. [14, s. 2–3, 7; 15, s. 3.]

Akustisen pakastusteknologian käytön on todettu joissakin tutkimuksissa säilyttävän solujen rakenteen lisäksi elintarvikkeiden maun, rakenteen, värin ja biokemialliset ominaisuudet. Akustisella teknologialla pakastettujen tuotteiden pakastesäilyvyysaika voi jopa kaksinkertaistua verrattuna perinteisiin menetelmin pakastettuun tuotteeseen. [14, s. 2–3.] Kasviksia ja hedelmiä voidaan pakastaa akustisella menetelmällä silloin, kun on satokausi ja tuotteet ovat parhaimmillaan ja edullisimmillaan ja käyttää satokauden ulkopuolella [16 s, 12–13].

Tuotteet voidaan pakata joko ennen pakastusta tai sen jälkeen. Jos tuotteet pakataan ennen akustista pakastusta, pakkausmateriaali ei saa olla magneettista. Akustiseen pakastimeen sopivia pakkausmateriaaleja on esimerkiksi muoviasiat, muovi- ja paperipakkaukset, alumiinifolio ja lasipakkaukset. Käytetty pakkausmateriaali voi pidentää tuotteen jäätymisäikää. Vakuumpakkaus ei pidennä jäätymisäikää, mutta esimerkiksi pahvinen pakkaus voi pidentää sitä jopa 50 %. [14, s. 3.]

4 Materiaalit ja menetelmät

4.1 Pakastuskokeiden toteutus

Tässä työssä tutkittiin laajasti erilaisia leipä- ja leivonnaisnäytteitä sekä raaka-ainenäytteitä, jotka on esitetty taulukossa 1. Täytetystä leivästä, kermavaahdosta ja majoneesista oli kaksi erilaista versiota. Täytettyjä leipiä oli kahdella erilaisella täytteellä. Kermavaahtoa ja majoneesia oli kaksi erilaista versiota, joista numero 1 oli tavallinen ja 2 lisätyllä sakeutusaineella.

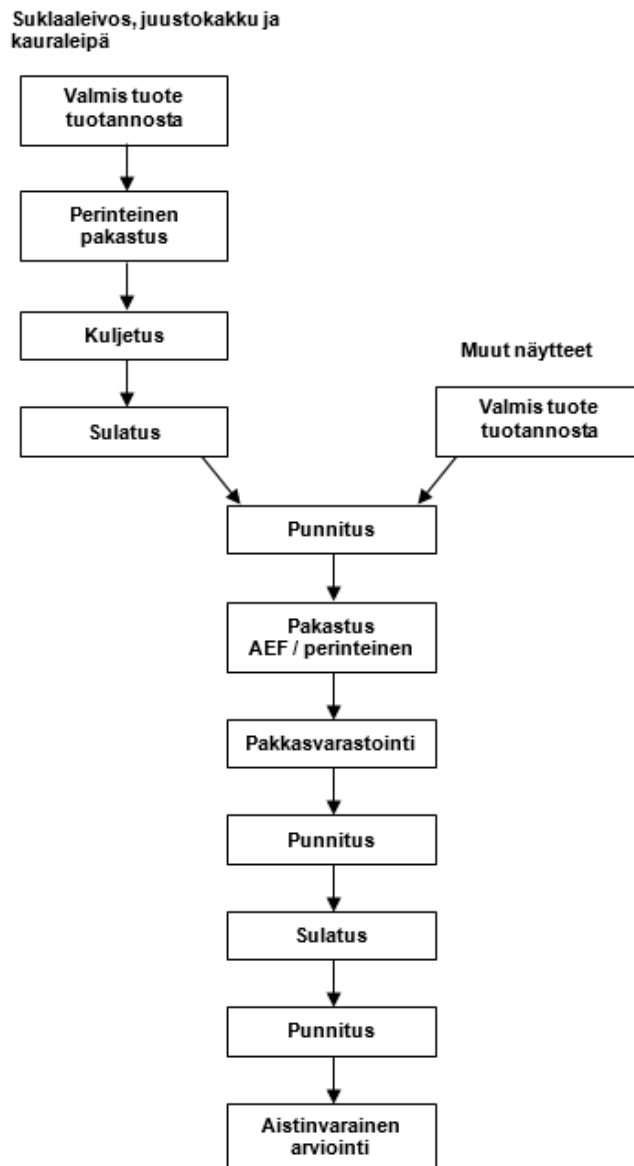
Taulukko 1. Lista pakastuskokeiden näytteistä

Tuotteet	Raaka-aineet
laskiaispulla	kinkku
juustokakku	juusto
täytetty leipä 1	savukala
täytetty leipä 2	kurkku
marjapiirakka	salaatti
voisilmäpulla	vadelma
kauraleipä	kermavaahto 1
ruispalaleipä	kermavaahto 2
suklaamousseleivos	majoneesi 1
gluteeniton tumma leipä	majoneesi 2

Kaikkia näytteitä pakastettiin sekä akustisesti että perinteistä menetelmää käyttämällä. Puolet samanikäisistä näytteistä pakastettiin akustisesti ja puolet perinteisellä menetelmällä. Akustinen pakastus tehtiin Acoustic Extra Freezing (AEF) -pakastimella (−35 °C) ja verrokinäytteiden pakastus pinnavaunuihin laitetuilla pelleillä pakkasvarastossa (−18 °C). Näytteitä pakastettiin 120–140 minuuttia ennen, kuin ne pakattiin ja siirrettiin stabiiliin pakkassäilytykseen. Näytteiden pakastusaika riippui näytteen koosta. Pieniä näytteitä, kuten raaka-ainenäytteitä, pakastettiin 120 minuuttia ennen siirtoa pakkassäilytykseen. Pakastuskokeiden näytteistä täytetyt leivät pakastettiin muovipakkauksissa ja marjapiirakat pahvialustallisissa sellofaanipakkauksissa. Kaikki muut näytteet pakastettiin ilman pakkausta.

Kuvassa 1 on vuokaavio pakastuskokeiden toteutuksesta. Suklaaleivos, juustokakku ja kauraleipä pakastettiin tavanomaisesti ennen pakastuskokeita. Ne otettiin pakasteesta

ja sulatettiin ennen pakastuskokeita, jotta tuotteisiin saatiin mahdollisimman paljon pakastuksen aiheuttamia muutoksia lyhyessä ajassa. Muut näytteet pakastettiin tuoreina. Kaikki näytteet punnittiin, jonka jälkeen ne pakastettiin joko AEF-pakastimella tai verrokipakastimella. Pakastuksen jälkeen näytteitä säilytettiin pakkasvarastossa 1–4 viikkoa. Pakkassäilytyksen jälkeen näytteet punnittiin, sulatettiin ja punnittiin uudelleen, jonka jälkeen ne valmisteltiin aistinvaraista arviointia varten.



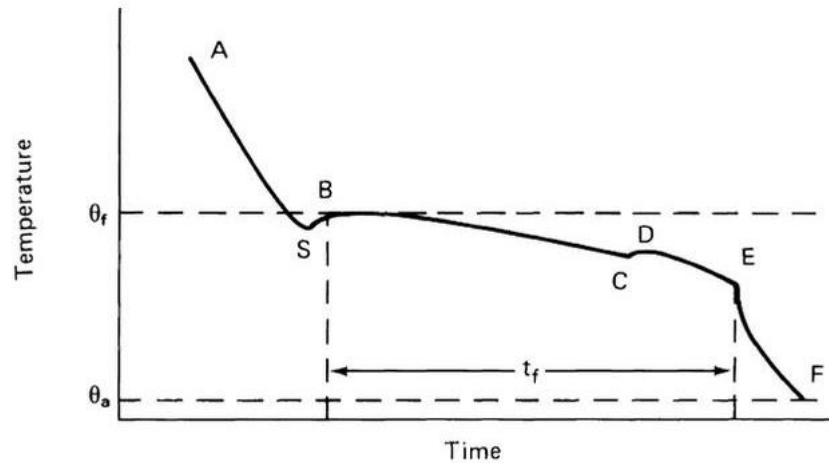
Kuva 1. Vuokaavio pakastuskokeiden toteutuksesta.

AEF-kaappipakastimessa, jolla AEF-pakastuskokeet suoritettiin, oli 30 akustista ohjelmaa ja 4 jäähdytysohjelmaa. Ohjelmat valittiin valmistajan suositusten mukaisesti. Juustokakku ja marjapiirakat pakastettiin ohjelmalla, jossa pakastimen sisälämpötila oli koko pakastuksen ajan -35 °C . Kurkku, salaatti ja vadelmat ohjelmalla, jossa lämpötila oli ensimmäiset 10 minuuttia $+3\text{ °C}$ ja lopun aikaa -18 °C . Kaikki muut näytteet pakastettiin ohjelmalla, jossa lämpötila oli $+3\text{ °C}$ ensimmäiset 30 minuuttia ja loppuajan -35 °C . [15, s. 10, 13.]

4.2 Analyysimenetelmät

4.2.1 Jäätymisnopeuden määrittäminen

Jäätymisnopeuden määrittäminen tehtiin Grant Instruments OQ610 Squirrel Data Logger -laitteella. Laite on tarkoitettu lämpötilojen seurantaan lämpötilavälillä $-200\text{--}1300\text{ °C}$ ja laitteen resoluutio on $0,1\text{ °C}$, mutta laitteen toiminnot ja näyttö toimivat lämpötila-alueella $-30\text{--}65\text{ °C}$. Laitteen tarkkuus on lämpötila-alueella $-50\text{--}500 \pm 0,5\text{ °C}$ ja lämpötila-alueella $-200\text{--}1300 \pm 1,0\text{ °C}$. Tiedot saa siirrettyä laitteelta tietokoneelle tietojen tallennusta ja jäähtymiskäyrien tekoa varten. [17.] Työssä laitetta käytettiin lämpötilojen seurantaan välillä $-35\text{--}20\text{ °C}$. Laite mittasi jatkuvasti lämpötilaa 10 sekunnin välein. Laitteessa oli 4 sensoria, joista osa oli seuraamassa pakastimen lämpötilaa ja osa tuotteiden sisällä seuraamassa tuotteiden jäähtymistä. Laitteen keräämät tiedot koottiin Excel-taulukkoon jäähtymiskäyrien tekoa varten. Kuvassa 2 on yleinen aika-lämpötilakäyrä, johon on merkitty pakastuksen vaiheet jäätymisen ajalta.



Kuva 2. Aika-lämpötilakäyrä jäätyksen ajalta. θ_f on jäätyislämpötila, θ_a on lasisiirtymälämpötila ja t_f on jääkiteiden muodostumiseen kuluva aika. [12, s. 653.]

Jäätyiskäyrä vaiheittain:

- A–S: elintarvikkeen lämpötila laskee jäätyispisteen alapuolelle. S on elintarvikkeen alijäähtymispiste. Alijäähtymisen pituus riippuu elintarvikkeesta. Alijäähtymisen tarkoittaa sitä, että vesi on vielä nestemäistä, vaikka lämpötila on jäätyispistettä matalampi.
- S–B: jääkiteiden muodostuminen alkaa ja kiteytymisen latenttilämpöä vapautuu, jolloin lämpötila nousee nopeasti jäätyispisteeseen.
- B–C: suurin osa jääkiteistä muodostuu tämän vaiheen aikana. Elintarvikkeesta poistuu latenttilämpöä samalla nopeudella kuin aiemmin. Lämpötila pysyy lähellä jäätyispistettä. Jäätyispiste laskee kuitenkin vähitellen, kun jäätyttömässä nesteessä liuenneiden aineiden konsentraatio kasvaa.
- C–D: jokin liuenneista aineista kiteytyy ja kiteytymisen latenttilämpöä vapautuu, minkä takia lämpötila nousee hetkellisesti.
- D–E: veden ja liuenneiden aineiden kiteytyminen jatkuu. Jääkiteiden muodostumiseen kuluva aika riippuu lämmönsiirtonopeudesta ja nopeudesta, jolla vesi muuttuu nestemäisestä kiinteäksi. Lämpötila laskee pakastimen lämpötilaan. Kaupallisten pakastimien lämpötila on yleensä sellainen, jossa osa vedestä säilyy jäätyttömänä.
- E–F: jos pakastusta jatketaan kylmemmässä pakastimessa, jään muodostuminen jatkuu, kunnes jäljellä ei ole enää jäätyvää vettä. Jäästä poistuu lämpöä ja elintarvikkeen lämpötila laskee. Kun liuoksen kriittinen konsentraation on saavutettu lasisiirtymäpisteessä F, viskoosi liuos muuttuu lasimaiseksi. [12, s. 653.]

4.2.2 Kosteushäviö

Irtoavan veden määrä eli kosteushäviö määritettiin erikseen pakastuksen ja sulatuksen osalta. Määritykset tehtiin punnitsemalla näytteet ennen pakastusta, pakastuksen jälkeen ennen sulatusta ja sulatuksen jälkeen. Punnitustuloksista laskettiin painohäviöt prosentteina. Painohäviö pakastuksen ja sulatuksen aikana johtuu kosteuden siirtymisestä pois tuotteesta eli tuotteen kuivumisesta.

Kosteushäviöistä ja aistinvaraisten arviointien tuloksista tehtiin tilastollista analyysiä, jotta saatiin selville, oliko eri pakastusmenetelmillä pakastettujen näytteiden välillä tilastollisesti merkitsevää eroa. Jos tilastollisen analyysin p-arvo on alle merkitsevyystason 0,05, nollahypoteesi hylätään. Nollahypoteesina oli, että näytteiden välillä ei ole eroa. Vaihtoehdohypoteesina oli, että näytteiden välillä on eroa. Mitä lähempänä p-arvo on luku 1, sitä vähemmän eroa näytteiden välillä on.

4.2.3 Aistinvarainen arviointi

Työssä käytettiin aistinvaraista arviointia pakastuksen aiheuttamien muutosten selvittämiseksi. Arvioinnilla selvitettiin, miten AEF-pakastus ja tavallinen pakastus vaikuttaa tuotteiden ominaisuuksiin. Arvioinnit tehtiin Microsoft Forms -arviointilomakkeella, josta löytyy esimerkki liitteestä 1. Kaikki arviointilomakkeet olivat vastaavanlaisia kuin liitteen 1 lomake. Asteikko oli 1–7, jossa 1 oli erittäin epämiellyttävä/huono ja 7 erittäin miellyttävä/hyvä. Arvioitavat ominaisuudet olivat ulkonäkö, rakenne, suutuntuma, maku ja kokonaisu miellyttävyys. Kaikille tuloksille laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Näiden lisäksi neljän viikon pakkassäilytyksen jälkeen tehtyjen aistinvaraisten arviointien tuloksista tehtiin tilastollinen analyysi. Sillä pyrittiin selvittämään, onko käytetyllä menetelmällä tilastollisesti merkitsevää vaikutusta näytteisiin.

Aistinvaraisen arvioinnin suoritti asiantuntijaraati, joka koostui opinnäytetyöntekijän lisäksi yrityksen työntekijöistä, joilla oli tuotetuntemusta arvioitavista tuotteista. Asiantuntijaraati on raati, joka koostuu kokeneista arvioijista, jotka tuntevat arvioitavat tuotteet [18, s. 109]. Tuotenäytteillä yhden ja kahden viikon pakastuksen jälkeen pidetyissä arvioinneissa oli 6 arvioijaa ja neljän viikon pakastuksen jälkeen pidetyissä arvioinneissa 12

arvioijaa. Raaka-ainenäytteillä kaikissa arvioinneissa oli 6 hengen raati. Tuotenäytteillä viikon pakastuksen jälkeen tehdyssä aistinvaraisessa arvioinnissa raati tiesi, kumpi näytteistä oli pakastettu kummalla menetelmällä. Muissa arvioinneissa näytteet olivat koodattu kolminumeroisella satunnaisluvulla, eikä raati tiennyt, kumpi näytteistä oli AEF-pakastimella pakastettu näyte ja kumpi tavallisella pakastimella pakastettu verrokinäyte. Kuvissa 3 ja 4 on esimerkkejä aistinvaraisen arvioinnin näyteasetelmista. Kuvassa 3 on täytettyjen leipien, juustokakkujen ja laskiaispullien aistinvaraisen arvioinnin näyteasetelma. Kaikkien tuotenäytteiden näyteasetelmat olivat samanlaisia kuin kuvan 3 asetelma, kaikissa aistinvaraisissa arvioinneissa.



Kuva 3. Täytettyjen leipien, juustokakkujen ja laskiaispullien aistinvaraisen arvioinnin näyteasetelma.

Kuvassa 4 on kalan, salaatin ja kurkun aistinvaraisen arvioinnin näyteasetelma. Raaka-ainenäytteiden näyteasetelmat olivat kaikissa arvioinneissa samanlaisia, kuin kuvan 4 asetelma.



Kuva 4. Kalan, salaatin ja kurkun aistinvaraisen arvioinnin näyteasetelma.

5 Tulokset ja niiden tarkastelu

5.1 Raaka-ainenäytteet

Majoneesit eivät kestäneet pakastusta, niistä ei saatu painohäviöitä eikä niille tehty aistinvaraista arviointia. Majoneesit olivat sulatuksen jälkeen nestemäisessä muodossa, ainoastaan sakeutusaine säilyi kiinteänä (kuvat 5 ja 6). Sekä AEF-pakastettu että verrokipakastettu majoneesi olivat kuvien 5 ja 6 kaltaisia. Myös kurkku ja salaatti kestivät pakastusta huonosti. Kuvasta 4 näkee miltä näytteet näyttivät 2 viikon pakastuksen jälkeen.



Kuva 5. Verrokipakastimessa pakastettu majoneesi 1 pakastuksen ja sulatuksen jälkeen.



Kuva 6. Verrokipakastimessa pakastettu majoneesi 2 pakastuksen ja sulatuksen jälkeen.

Jäähdytysnopeuden määritykset

Liitteessä 2 on kermavaahto 1:n ja majoneesi 2:n lämpötilakäyrät, joista näkyy akustisen pakastimen ja siinä pakastetun raaka-aineen lämpötilat. Molemmat käyrät kulkevat lähellä pakastimen lämpötilakäyrää. Todennäköisesti lämpötila-anturi on ollut näytteen reunalla eikä keskellä, joten lämpötila on laskenut nopeasti pakastimen lämpötilaan. Muiden raaka-aine näytteiden osalta lämpötila käyriä ei tehty, koska näytteet olivat niin ohuita tai pienikokoisia, että lämpötila-anturi antoi raaka-aineelle ja pakastimelle saman lämpötilan koko pakastuksen ajan.

Kosteushäviöt

Taulukossa 2 on esitetty raaka-ainenäytteiden painohäviöiden keskiarvot näytteittäin ja painohäviöiden keskiarvot menetelmän mukaan. Kokonaispainohäviössä on otettu huomioon painohäviö pakastuksen ja sulatuksen osalta. Taulukkoon 2 on laskettu keskiarvot näytteiden kaikista mittauksista, ja keskiarvossa on huomioitu 1, 2 ja 4 viikon pakkassäilytyksen jälkeen tehdyt mittaukset. Kaikki raaka-ainenäytteiden painohäviöt löytyvät liitteen 3 taulukosta, jossa näkyy raaka-ainenäytteiden kosteushäviöt prosentteina pakastusajan ja pakastusmenetelmän mukaan.

Taulukko 2. Raaka-ainenäytteiden painohäviöiden keskiarvot näytteittäin ja painohäviöiden keskiarvot menetelmän mukaan.

Näyte	Kokonais-painohäviö AEF-pakastettu	Kokonais-painohäviö verrokki	Sulatus-painohäviö AEF-pakastettu	Sulatus-painohäviö verrokki
Vadelma	9,40 %	10,24 %	5,18 %	5,12 %
Kurkku	10,38 %	10,61 %	2,76 %	2,86 %
Salaatti	50,74 %	58,59 %	40,12 %	49,49 %
Juusto	3,30 %	2,65 %	0,32 %	0,03 %
Kinkku	12,39 %	9,74 %	0,10 %	0,14 %
Kala	2,76 %	2,58 %	1,40 %	1,56 %
Kermavaahto 1	6,98 %	8,58 %	0,57 %	0,72 %
Kermavaahto 2	5,05 %	6,68 %	0,60 %	1,01 %
Painohäviöiden keskiarvo	12,62 %	13,71 %	6,38 %	7,62 %

Taulukosta 2 näkyy, että paljon vettä sisältävien raaka-aineiden, kuten kurkun ja salaatin kosteushäviöt ovat suuria. Tämä tulos oli linjassa ennako-oletusten kanssa, koska

usein paljon vettä sisältävillä elintarvikkeilla on suuri kosteushäviö pakastettaessa. Siksi esimerkiksi salaatti ei kestä pakastusta, niin että se olisi vielä pakastuksen jälkeen kelloinen kuluttajille. Pakastus voi aiheuttaa vaurioita elintarvikkeiden mikrorakenteisiin, mikä voi heikentää elintarvikkeen vedenpidätyskykyä ja lisätä pakastuksen ja sulatuksen aikaista kosteushäviötä [19, s. 46]. Pakastuskokeissa elintarvikkeiden mikrorakenteet vaurioituivat, minkä voi nähdä taulukon 2 kosteushäviöistä.

Taulukosta 2 käy ilmi, että raaka-ainenäytteiden sekä kokonaispainohäviö että sulatuspainohäviö ovat keskimäärin pienempiä AEF-pakastetulla tuotteella kuin verrokkituotteella. Tämä tulos on linjassa AEF-laitevalmistajan kanssa, ja valmistajan mukaan AEF-pakastus vähentää pakastettujen tuotteiden painohäviötä perinteisiin pakastusmenetelmiin verrattuna [15, s. 3]. Painohäviöiden erot menetelmien välillä eivät kuitenkaan ole tilastollisesti merkitseviä, ja näytteiden välille oletettiin kokeita suunniteltaessa isompia eroja. Kokonaispainohäviön osalta $p=0,82$ ja sulatuksen painohäviön osalta $p=0,78$. P-arvon pitäisi olla alle merkitsevyydystason 0,05, jotta ero olisi tilastollisesti merkitsevä.

Aistinvaraiset arvioinnit

Liitteessä 4 esitetty on raaka-ainenäytteiden aistinvaraisten arviointien tulokset. Pylväsdiagrammeissa on aistinvaraisten arviointien tulosten keskiarvot ja keskihajonnat. Kurkun ja salaatin kaavioista näkee, että molemmilla menetelmillä pakastetut näytteet saivat erittäin huonoja arvosanoja arvioinneista. Tämä tulos oli linjassa ennako-odotusten kanssa. Kermavaahdot saivat myös melko huonoja arvosanoja, mikä oli odotettavissa, koska kerman rakenne kärsii helposti säilytyksessä. Kermavaahdot kuorettuivat sekä muuttuivat kellertäväksi ja rakeiseksi. Nämä kaikki tekijät vaikuttivat alentavasti kermavaahtojen saamiin arvosanoihin. Raaka-ainenäytteistä kinkku ja juusto saivat parhaat tulokset aistinvaraisissa arvioinneissa (liite 4), ja näissä erot menetelmien välillä olivat erittäin pienet, ja akustinen pakastus ei tuonut merkittäviä hyötyjä.

Taulukossa 3 on raaka-ainenäytteiden aistinvaraisten arviointien varianssianalyysin p-arvot. P-arvot laskettiin jokaiselle raaka-aineen ominaisuudelle erikseen. Taulukosta 3 näkee, että nollahypoteesia ei hylätty minkään raaka-aineen osalta. Koska nollahypo-

teesia ei hylätty minkään näytteen tai ominaisuuden osalta, näytteiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Suurimmat erot näytteiden välillä olivat kermavaahto 2:lla ja kurkulla.

Taulukko 3. Raaka-ainenäytteiden aistinvaraisten arviointien tulosten varianssianalyysin p-arvot.

	Ulkonäkö	Rakenne	Suutuntuma	Maku	Kokonaismiellyttävyys
Vadelma	1,00	0,71	0,71	0,86	0,71
Kurkku	0,68	0,40	0,54	0,68	0,40
Salaatti	0,35	1,00	1,00	0,54	1,00
Juusto	1,00	0,85	0,70	1,00	0,85
Kinkku	1,00	1,00	1,00	0,74	1,00
Kala	0,84	1,00	0,80	0,83	0,61
Kermavaahto 1	0,83	0,79	0,61	0,80	0,79
Kermavaahto 2	0,33	0,35	0,20	0,21	0,20

Taulukossa 4 on arvioijien kommentteja raaka-ainenäytteille. Kurkuista arvioijat kommentoivat, että akustisesti pakastettu näyte oli rakenteeltaan rapeampi. Syynä rapeampaan rakenteeseen on todennäköisesti se, että akustisesti pakastettujen kurkkujen rakenne ei vaurioitunut yhtä paljon kuin tavallisesti pakastettujen kurkkujen. Verrokinäytteen vaurioituneempi rakenne on myös todennäköisesti syynä siihen, että tavallisesti pakastetuilla kurkuilla oli keskimäärin suurempi kosteushäviö (taulukko 2) kuin akustisesti pakastetuilla kurkuilla. Myös vadelmista arvioijat kommentoivat (taulukko 4) että akustisesti pakastettu näyte oli napakampi ja verrokinäyte oli vetisempi.

Taulukko 4. Arvioijien antamia kommentteja raaka-ainenäytteille.

Näyte	Kommenteja
Kurkku 1 vk	AEF-näyte astetta rapeampi rakenne. Molemmat ulkonäöllisesti paleluneita.
Kurkku 2 vk	AEF-näyte parempi rakenteeltaan. Verrokki kuultaa läpi ja on vetisempi. Ei kestä pakastusta.
Kurkku 4 vk	AEF-näyte oli rakenteeltaan rapeampi.
Vadelma 1 vk	AEF-näyte aavistuksen napakampi ja intensiivisemmän makuinen.
Vadelma 2 vk	Verrokinäyte oli vetisempi ja rakenteellisesti huonompi.
Vadelma 4 vk	AEF-näyte paremman makuinen ja vähemmän vetinen. Verrokinäyte pitänyt värinsä hieman paremmin.
Kermavaahto 1 1 vk	Molemmat keltaisia ja rakeisia. Molemmissa sivumaku/rasvainen maku.

Kermavaahto 1 2 vk	Molemmissa maistui pakastin ja rakenne "rasvainen". Verrokinäyte rakeisempi.
Kermavaahto 1 4 vk	Molemmat rakeisia ja rasvaisen makuisia. AEF-näyte oli hieman kellertävämpi.
Kermavaahto 2 1 vk	Molemmissa oli havaittavissa kuorettumista ja maistui rasvalle. Molemmat kermavaahdot kovia.
Kermavaahto 2 2 vk	Molemmat kovia, kuorettuneita ja kellertäviä. AEF-näyte hieman parempi maun ja rakenteen osalta.
Kermavaahto 2 4 vk	Molemmat olivat kuorettuneita ja hieman kellertäviä. Maku molemmissa hieman hapettunut. AEF-näyte oli huonompi rakenteelta ja suutuntumalta.
Juusto 1 vk	Molemmat hyviä, ei eroja.
Juusto 2 vk	Molemmat hyviä. Molempien ulkonäössä hieman nähtävissä vanhentumista.
Juusto 4 vk	Ei eroa, molemmat hyviä. Ulkonäkö aavistuksen verran kylmässä seisseen näköinen.
Kinkku 1 vk	Ei eroja. Molemmat hyviä.
Kinkku 2 vk	Molemmat hyviä. Ei mitään eroa.
Kinkku 4 vk	Erot pieniä, AEF-näyte hieman miellyttävämpi.
Salaatti 1 vk	Molemmat todella heikkolaatuisia, eivät ole käyttökelpoisia elintarviketuotteissa. Ei isoa eroa. AEF-näytteessä hieman parempi väri.
Salaatti 2 vk	Ei kestä pakastusta. Huonolaatuisia molemmat.
Salaatti 4 vk	Molemmat todella huonoja.
Kala 1 vk	Ei isoa eroa. Rakenne ja suutuntuma vielä erittäin hyvä. Verrokinäyte harmaampi, kosteampi ja maistui vähän tunkkaiselta.
Kala 2 vk	AEF-näyte sitkeämpi ja suolaisempi. AEF-näyte liian kostean näköinen.
Kala 4 vk	Molemmat vähän vetisiä. Verrokki oli paremman näköinen ja kivempi suutuntumalta. AEF-näyte ikääntyneemmän makuinen.

5.2 Tuotenäytteet

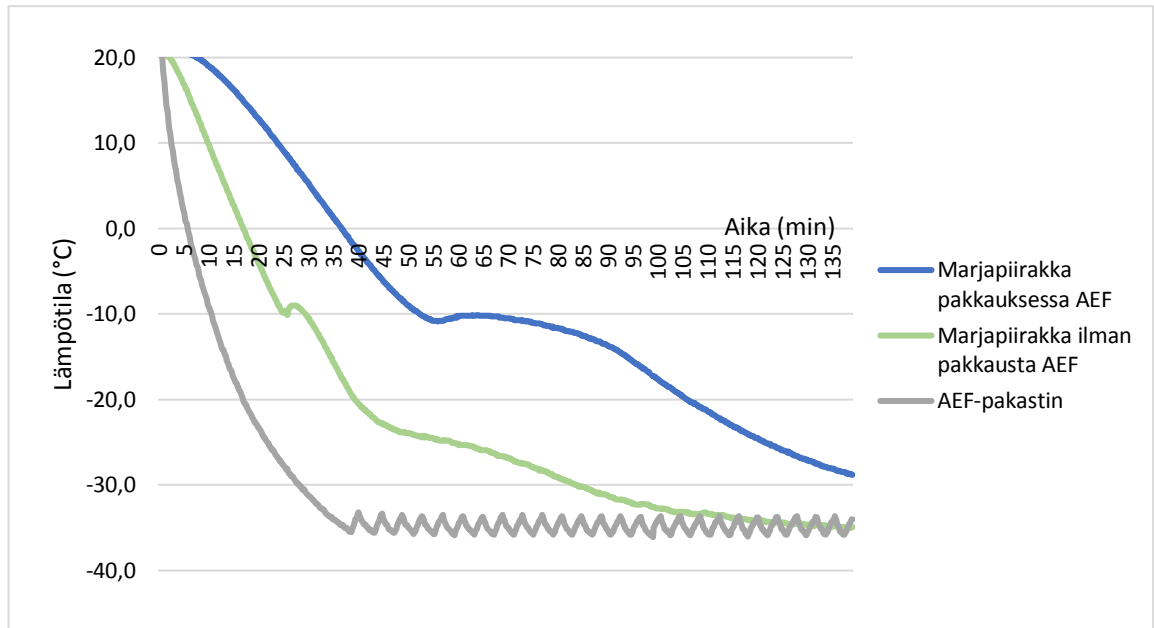
Jäähtymisnopeuden määritykset

Liitteessä 5 on esitetty tuotenäytteiden lämpötilakäyrät, joista näkyy akustisen pakastimen ja siinä pakastetun tuotteen lämpötilat sekä osasta näytteistä myös tavallisen pakastimen ja siinä pakastetun tuotteen lämpötilat. Jäähtymiskäyristä on poistettu yksittäisiä loggerin keräämiä lämpötila-arvoja, jotka poikkesivat selvästi ympäröivistä lämpötiloista. Liitteessä 5 on täytetyn leivän 1 kuvaaja, josta näkee täytetyn leivän jäähtymiskäyrät ja pakastimien lämpötilat pakastusajalta. Täytetyt leivät pakastettiin muoviin pakattuina, joten tuotteet pakastuivat hitaammin kuin vastaavankokoiset pakkaamattomat tuotteet.

Täytetyt leivät ja laskiaispullat pakastettiin samalla pakastusohjelmalla, joten kuvaajia (liite 5) vertailemalla näkee miten pakkaus vaikuttaa tuotteen pakastumiseen. Täytetyt leivät pakastettiin muovipakkauksissa ja laskiaispullat ilman pakkauksia. Pakkaamattomat laskiaispullat pakastuivat täytettyjä leipiä nopeammin, ja laskiaispullat ehtivät 140 minuutissa pakastua 10 °C kylmemmiksi kuin täytetyt leivät. Akustisella pakastimella tuotteet pakastuvat kylmemmiksi kuin tavallisella pakastuksella. Tämä johtui siitä, että akustinen pakastin oli kylmempi ja siinä oli tehokkaampi kylmän ilman kierto kuin verrokkipakastimessa.

Liitteessä 5 on esitetty juustokakun lämpötiläkäyrä, josta näkyy akustisesti pakastetun juustokakun jäähtymiskäyrä ja akustisen pakastimen lämpötiläkäyrä. Käyrästä näkyy miten suuremmassa tuotteessa kuluu pidempi aika ennen kuin tuotteen keskusta alkaa jäätymään. Kakussa oli lämpötila-anturi kakun keskellä, joten kuvaajasta näkyy kuinka pitkään kestää ennen kuin kakku jäätyy keskeltä.

Kuvassa 7 on akustisesti pakastettujen marjapiirakoiden lämpötiläkäyrä, josta näkee akustisesti pakastettujen marjapiirakoiden jäähtymiskäyrät ja akustisen pakastimen lämpötiläkäyrän. Marjapiirakoiden akustisessa pakastuksessa käytettiin eri pakastusohjelmaa kuin täytettyjen leipien ja laskiaispullien pakastuksessa. Marjapiirakat ja juustokakut pakastettiin ohjelmalla, jonka tavoitelämpötila oli -35 °C. Pakkaamattoman marjapiirakan käyrältä 25–30 minuutin kohdalta ja pakatun marjapiirakan käyrältä 55–60 minuutin kohdalta näkyy hetkellinen lämpötilan nousu. Tämä muistuttaa kuvan 2 lämpötiläkäyrässä olevaa väliä S–B, jossa jääkiteiden muodostuminen alkaa ja kiteytymisen latenttilämpöä vapautuu.



Kuva 7. Akustisesti pakastettujen marjapiirakoiden jäähtymiskäyrät ja akustisen pakastimen lämpötiläkäyrä.

Kuvasta 7 näkee, että pakkaamaton marjapiirakka pakastui paljon pakattua nopeammin, mutta jäähtymiskäyrät ovat suurimmalta osin muodoltaan samankaltaisia. Pakastuksen lopussa pakkaamattoman marjapiirakan lämpötila oli $-34,9\text{ °C}$ ja pakatun marjapiirakan lämpötila $-28,8\text{ °C}$. Ero lämpötilassa johtuu pakkauksesta. Marjapiirakat olivat pakkauksessa, jossa oli pahvinen alusta ja sellofaanikääre. Pahvi voi lisätä tuotteen pakastusaikaa noin 30–50 % [14, s. 3].

Kosteushäviöt

Taulukossa 5 on tuotenäytteiden painohäviöiden keskiarvot näytteittäin ja painohäviöiden keskiarvot menetelmän mukaan. Kokonaispainohäviössä on otettu huomioon painohäviö pakastuksen ja sulatuksen osalta. Taulukkoon 5 on laskettu keskiarvot näytteiden kaikista mittauksista. Keskiarvoon on huomioitu 1, 2 ja 4 viikon pakkassäilytyksen jälkeen tehdyt mittaukset. Kaikki tuotenäytteiden painohäviöt löytyvät liitteestä 6.

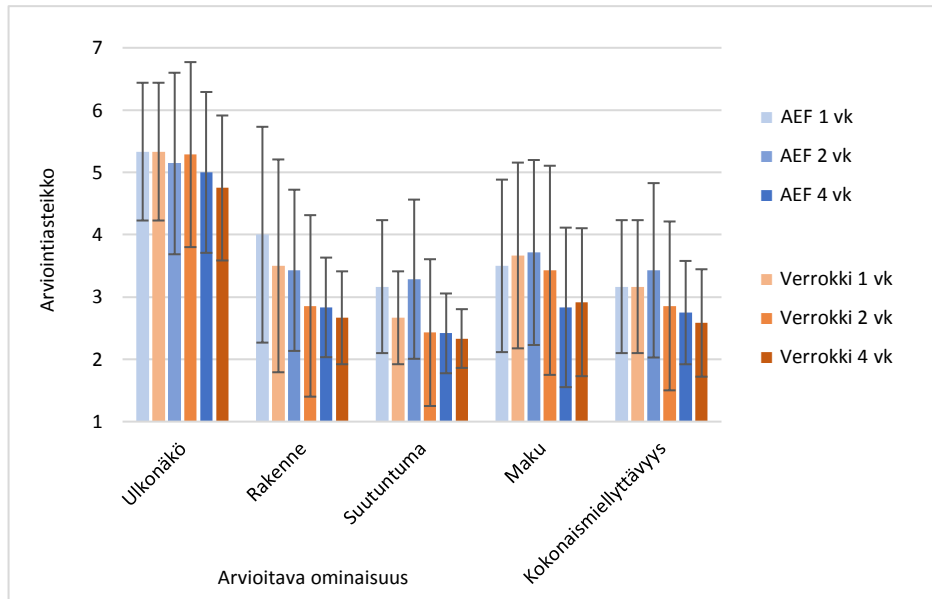
Taulukko 5. Tuotenäytteiden painohäviöiden keskiarvot näytteittäin ja painohäviöiden keskiarvot menetelmän mukaan.

Näyte	Kokonais-painohäviö AEF-pakastettu	Kokonais-painohäviö verrokki	Sulatus-painohäviö AEF-pakastettu	Sulatus-painohäviö verrokki
Laskiaispulla	2,03 %	2,96 %	0,30 %	0,30 %
Juustokakku	0,37 %	0,61 %	0,09 %	0,09 %
Täytetty leipä 1	0 %	0 %	0 %	0 %
Täytetty leipä 2	0 %	0 %	0 %	0 %
Marjapiirakka	1,21 %	1,21 %	1,00 %	0,86 %
Kauraleipä	0,61 %	1,03 %	0,12 %	0,25 %
Ruispalaleipä	2,70 %	2,25 %	0,20 %	0,41 %
Suklaamousseleivos	0,43 %	0,73 %	0,12 %	0,43 %
Gluteeniton tumma leipä	2,18 %	2,08 %	0 %	0,16 %
Painohäviöiden keskiarvo	1,10 %	1,24 %	0,21 %	0,29 %

Taulukosta 5 käy ilmi, että tuotenäytteiden kokonaispainohäviö on keskimäärin pienempi AEF-pakastetulla tuotteella kuin verrokkituotteella. Painohäviöiden erot menetelmien välillä eivät kuitenkaan ole tilastollisesti merkitseviä, ja näytteiden välille odotettiin isompia eroja. Kokonaispainohäviön osalta $p=0,65$ ja sulatuksen painohäviön osalta $p=0,48$. P-arvon pitäisi olla alle merkitsevyydestason 0,05, jotta ero olisi tilastollisesti merkitsevä. Samoin kuin raaka-ainenäytteiden kokonaispainohäviön tulos tuotenäytteiden tulos on linjassa AEF-laitevalmistajan kanssa, vaikka erot pakastuskokeissa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kaikkien tuotenäytteiden kosteushäviöt ovat pieniä verrattuna raaka-ainenäytteiden kosteushäviöihin. Täytetyillä leivillä ei oletettu olevan kosteushäviötä, koska ne olivat pakattuna kosteutta läpäisemättömään muoviin.

Aistinvaraiset arvioinnit

Liitteessä 7 on tuotenäytteiden aistinvaraisten arviointien tulokset. Pylväsdiagrammeissa on aistinvaraisten arviointien tulosten keskiarvot ja keskihajonnat, pakastusajan ja -menetelmän mukaan. Gluteenittoman tumman leivän kaaviosta (kuva 8) näkee, että tuote kärsi pakastuksesta ja sai huonoja arvosanoja ulkonäköä lukuun ottamatta. Akustisesti pakastettu leipä sai useissa ominaisuuksissa hieman parempia arvosanoja kuin verrokinäyte, mutta tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

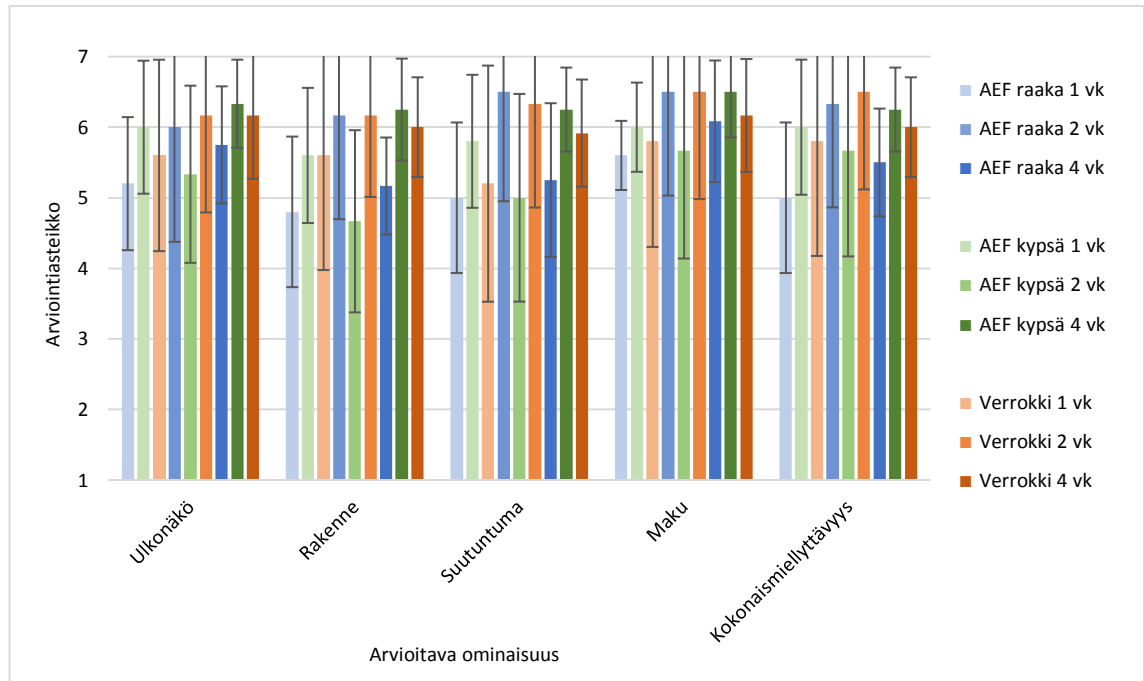


Kuva 8. Gluteeniton tumma leipä näytteistä aistinvaraisesti arvioitujen ominaisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat. Arviointiasteikko oli 1–7.

Neljä viikkoa pakkassäilytyksessä ollut ruispalaleipä oli näytteistä hieman poikkeuksellinen. Sen aistinvaraisessa arvioinnissa tavallisella pakastimella pakastettu verrokinäyte oli arvioitu kaikilta ominaisuuksilta paremmaksi kuin akustisesti pakastettu näyte (liite 7). Tämä johtui siitä, että akustisesti pakastettu tuote oli kuivempi kuin verrokki. Täytetyillä leivillä, juustokakulla, laskiaispullalla ja kauraleivällä 4 viikon tulokset menetelmien välillä olivat hyvin tasaisia, ja akustisella pakastuksella ei saatu toivottua hyötyä tuotteille.

Suklaamousseleivoksen aistinvaraisten arviointien pylväsdiagrammista (liite 7) näkee että akustisesti pakastettu leivos sai arvioinneissa samoja tai parempia arvosanoja kuin tavallisesti pakastettu verrokkileivos. Akustinen pakastus toi hyötyjä leivoksen suutuntumaa, rakenteeseen ja ulkonäköön, ja varsinkin moussen rakenne oli parempi. Erot eri menetelmillä pakastetuilla suklaaleivoksilla eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Liitteessä 7 on pylväsdiagrammi marjapiirakoiden aistinvaraisten arviointien tuloksista, josta näkee, että akustisella pakastuksella saatiin parempi pakastustulos. Marjapiirakoiden tavanomaisessa pakastuksessa suurin ongelma oli kannen ja pohjan kostuminen. Kostuminen vaikutti rakenteen ja suutuntuman lisäksi myös tuotteen ulkonäköön ja makuun.

Kuvassa 9 on voisilmäpullien aistinvaraisten arviointien tulosten keskiarvot ja keskihajonnat. Akustisesti pakastettu raakapakastepulla sai 4 viikon pakkassäilytyksen jälkeisessä aistinvaraisessa arvioinnissa selkeästi heikompia tuloksia kuin kaksi muuta näytettä. Rakenteen osalta näytteiden välillä oli tilastollisesti merkitsevää eroa. Akustisesti pakastettu raakapakastepulla oli näytteistä kaikista kuivin.



Kuva 9. Voisilmäpulla näytteistä aistinvaraisesti arvioitujen ominaisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat. Arviointiasteikko oli 1–7.

Taulukossa 6 on tuotenäytteiden varianssianalyysin p-arvot. P-arvot laskettiin jokaiselle tuotteen ominaisuudelle erikseen. Molempia akustisesti pakastettuja voisilmäpullia verrattiin tavallisesti pakastettuun raakapakastepullaan. Taulukosta 6 näkee että ainoastaan raakapakaste voisilmäpullan rakenteessa nollahypoteesi hylättiin eli näytteiden välillä oli tilastollisesti merkitsevää eroa. Kuvassa 9 olevasta voisilmäpullan pylväsdiagrammista näkee, että rakenteen osalta verrokki oli arvioitu paremmaksi kuin raakana akustisella pakastimella pakastettu näyte.

Taulukko 6. Tuotenäytteiden aistinvaraisten arviointien tulosten varianssianalyysin p-arvot.

	Ulkonäkö	Rakenne	Suutuntuma	Maku	Kokonaismiellyttävyys
Täytetty leipä 1	0,66	1,00	1,00	0,80	0,79
Täytetty leipä 2	0,90	1,00	0,90	0,79	0,79
Kauraleipä	0,83	1,00	1,00	0,37	0,74
Gluteeniton tumma leipä	0,64	0,62	0,73	0,88	0,65
Ruispalaleipä	0,76	0,46	0,45	0,69	0,30
Laskiaispulla	0,91	0,68	0,89	0,90	0,78
Juustokakku	0,90	0,91	1,00	0,78	0,89
Suklaamousseleivos	0,19	0,38	0,30	0,71	0,45
Marjapiirakka	0,63	0,41	0,60	0,31	0,34
Voisilmäpulla raakapakaste	0,27	0,01	0,11	0,82	0,13
Voisilmäpulla kypsäpakaste	0,62	0,42	0,26	0,29	0,38

Taulukossa 7 on arvioijien antamia kommentteja tuotenäytteille. Molemmilla menetelmillä gluteeniton tumma leipä oli kuivaa ja murenevaista. Tämä on tyypillistä pakastetuille gluteenittomille leiville. Pakastetut gluteenittomat leivät ovat tiiviimpiä, kovempia ja murenevampia kuin tuoreet leivät. Pakastus voi myös muuttaa tuotteen väriä. [20, s. 2192.] Suklaaleivoksessa akustisella pakastuksella moussen rakenne säilyi sileämpänä eikä tullut rakeiseksi, kuten tavallisesti pakastetussa näytteessä. Marjapiirakoissa akustinen pakastus vähensi pakastuksen tuomia negatiivisia vaikutuksia, kuten pinnan ja pohjan kostumista. Voisilmäpullista 4 viikkoa pakkasessa säilytetyistä pullista kypsänä akustisesti pakastettu pulla oli useiden arvioijien mielestä voisilmäpullista tuoreimman ja parhaimman makuinen.

Taulukko 7. Arvioijien antamia kommentteja tuotenäytteille.

Näyte	Kommentteja
Täytetty leipä 1 1 vk	Verrokinäyte tuoksu miedompi ja leivän rakenne vetinen.
Täytetty leipä 1 2 vk	Verrokinäyte leipäosa hieman kuivempi.
Täytetty leipä 1 4 vk	Ei suurta eroa. Täyte ei kestä pakastusta eli näyttää aika huonolta AEF-näyte kuivempi täyte ja tunkkaisempi maku.
Täytetty leipä 2 1 vk	Ei isoa eroa. AEF-näyte täyteen rakenne ja maku miellyttävämmät. Verrokinäyte leivän rakenne vetinen.
Täytetty leipä 2 2 vk	Verrokinäyte paremman makuinen täyte.
Täytetty leipä 2 4 vk	Ei eroa leivässä molemmat ok.
Kauraleipä 1 vk	Molemmat hyviä.

Kauraleipä 4 vk	hyviä molemmat. AEF-näyte tuoksu ja maku oli tympeämpi. Verrokkinäyte maku oli raikkaampi.
Gluteeniton tumma leipä 1 vk	Erittäin kuiva ja jauhomainen suutuntuma. Verrokkinäyte oli selvästi kuivempi ja murenevampi.
Gluteeniton tumma leipä 2 vk	Molemmat murenevat pahasti. Verrokkinäyte kuivempi ja murenee todella ikäväksi.
Gluteeniton tumma leipä 4 vk	Molemmat todella kuivia ja mureni. AEF-näyte oli sisältä kauniimman ruskea ja kosteampi.
Ruispalaleipä 1 vk	AEF-näyte oli tuoreemman oloinen ja maukas. Molemmissa näytteissä aavistuksen verran kuivahko rakenne/suutuntuma.
Ruispalaleipä 2 vk	AEF-näyte vähän kuivempi.
Ruispalaleipä 4 vk	Molemmat näytteet kuivia. Verrokkinäyte aavistuksen mehevempi ja maukkaampi.
Laskiaispulla 1 vk	Verrokkinäyte vanhan kerman maku. AEF-näyte raikkaampi kerma.
Laskiaispulla 2 vk	Molemmissa kerma jonkin verran kellertävää. AEF-näyte kerman maku hieman rasvainen.
Laskiaispulla 4 vk	Verrokkinäyte pulla hieman kuivempi. Verrokkinäyte kerma oli hieman kuorettunut. AEF-näyte kerman maku ja rakenne paremmat.
Juustokakku 1 vk	Verrokkinäyte kuivempi, maku laimeampi ja pinta nahkeampi. AEF-näyte rakenne sileämpi.
Juustokakku 4 vk	AEF-näyte vähän kuohkeampi ja sileämpi rakenne. Molempien pohjat liian kuivat. AEF-näyte hieman laimeamman makuinen.
Suklaamousseleivos 1 vk	Ei eroa näytteiden välillä.
Suklaamousseleivos 2 vk	Ei merkittävää eroa. Molemmat hyviä.
Suklaamousseleivos 4 vk	Verrokki pinta hikoilee enemmän. Verrokissa moussen rakenne tiiviimpi. AEF-näyte sileämpi mousse ja parempi maku.
Marjapiirakka 1 vk	Molemmat hyviä. Verrokkinäyte aavistuksen verran pehmeämpi kansi ja sameampi hillo.
Marjapiirakka 2 vk	Verrokkinäyte hieman pehmeämpi kuoreltaan ja aavistuksen heikompi suutuntuma.
Marjapiirakka 4 vk	Verrokkinäyte pinta ja pohja hieman nihkeitä ja pinta harmahtavan värinen. AEF-näyte maukkaampi ja mehevempi. Verrokkinäyte reunat murenevat.
Voisilmäpulla 1 vk	AEF-kypsänä pakastettu näyte ja verrokkinäyte olivat mukavan kuohkeitä ja meheviä. Maku kaikissa pullissa hyvä.
Voisilmäpulla 2 vk	AEF-kypsänä pakastettu näyte oli rakenteeltaan kuivempi, kiinteämpi ja matalampi kuin muut näytteet.
Voisilmäpulla 4 vk	AEF-kypsänä pakastettu näyte tuntui ihan tuoreelta ja rakenne oli pehmeä, myös maku oli erityisen miellyttävä. Verrokkinäyte vähän kuivempi kuin AEF-kypsänä pakastettu AEF-raakana pakastettu näyte oli kaikkein kuivin ja voi silmä oli reunalta vetinen.

6 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli selvittää pakastuksen aiheuttamien muutosten taustalla olevia ilmiöitä sekä saada yleiskuva akustisesta pakastuksesta ja sen vaikutuksesta elintarvikkeisiin. Työssä tutkittiin akustisen pakastusteknologian vaikutusta elintarvikkeisiin ja verrattiin sitä tavanomaiseen pakastukseen. Työllä saatiin lisää tietoa akustisesta pakastuksesta ja pakastuksen vaikutuksista elintarvikkeisiin. Menetelmien väliset erot tuloksissa olivat odotettua pienemmät. Odotuksena oli, että akustisella pakastuksella saataisiin huomattavasti vähemmän pakastuksen aiheuttamia muutoksia kuin tavallisella pakastuksella. Pakastuskokeiden tulosten perusteella akustisen pakastuksen hyödyt jäivät kuitenkin vähäisiksi.

Pakkassäilytyksen pituudella oli vaikutusta tuotenäytteiden arviointituloksiin. Suurimmalla osalla näytteistä aistinvaraisten arviointien tulokset heikkenivät mitä pidempi pakkassäilytys oli. Raaka-ainenäytteillä pakkassäilytyksen pituus ei heikentänyt arviointituloksia yhtä paljon kuin tuotenäytteillä. Pakkassäilytyksen pituudella oli pääasiassa melko pieni merkitys kosteushäviön määrässä. Pakastamisella oli näin ollen suurempi rooli kosteushäviön määrässä kuin pakkassäilytyksen pituudella. Jatkotutkimuksissa pakastuskokeiden seuranta-aikaa voitaisiin pidentää, jotta nähtäisiin menetelmien erot pidemmällä aikavälillä.

Työn tuloksia voidaan hyödyntää tarkempien jatkotutkimuksien suunnittelussa. Jatkotutkimuksia kannattaisi tehdä kohdennetummin tietyille näytteille esimerkiksi samantyyillisille näytteille, joille akustisesta pakastuksesta oli työn tulosten perusteella jonkin verran hyötyä. Näytteitä, joiden osalta tutkimuksia ainakin kannattaisi jatkaa, ovat marjapiirakka ja suklaamousseleivos. Marjapiirakassa verrokinäytteen pinta ja pohja olivat kostuneet enemmän kuin akustisessa pakastuksessa, ja piirakan kostuminen ei ole toivottu muutos. Suklaamousseleivoksessa akustisesti pakastetussa näytteessä moussen rakenne oli verrokinäytettä sileämpää, ja moussen rakeisuus on epätoivottu muutos tuotteessa. Työn tulosten perusteella esimerkiksi kurkku ja salaatti kestävät pakastusta niin huonosti, ettei niiden tutkimista akustisella pakastusmenetelmällä kannata jatkaa.

Jatkotutkimuksissa pakastuskokeisiin voitaisiin käyttää pakastimia, joissa on sama pakastuslämpötila. Tässä työssä akustinen pakastin pakasti näytteet kylmemmäksi kuin pakkasvarasto, jossa verrokinäytteet pakastettiin. Pakastinta, jota työssä käytettiin akustisiin pakastuksiin, ei voinut käyttää ilman että akustinen lisälaitteisto oli päällä, joten sitä ei voinut käyttää verrokinäytteiden pakastukseen. Jatkotutkimuksissa aistinvaraisissa arvioinneissa voisi myös olla isompi raati kuin tämän työn arvioinneissa.

Lähteet

- 1 Berk, Zeki. 2009. Food Process Engineering and Technology. 1st ed. USA: Academic Press.
- 2 Van Bockstaele, Filip; Debonne, Els; De Leyn, Ingrid; Wagemans, Kathou & Eeckhout, Mia. 2021. Impact of temporary frozen storage on the safety and quality of four typical Belgian bakery products. LWT. Vol 137.
- 3 Evans, Judith A. 2008. Frozen Food Science and Technology. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- 4 Singh, R. Paul & Heldman, Dennis R. 2014. Introduction to Food Engineering. 5th ed. USA: Academic Press.
- 5 Cauvain, Stanley. 2015. Technology of Breadmaking. 3rd ed. Switzerland: Springer International Publishing.
- 6 Savola, Päivikki. 1989. Kahvileipää – käsikirja leipurille. Helsinki: Leipomoalan Edistämisseätiö.
- 7 Meziani, Smail; Kaci, Messaouda; Jacquot, Muriel; Jasniewski, Jordane; Ribotta, Pablo; Muller, Jean-Marc; Ghoul, Mohamed & Desobry, Stéphane. 2012. Effect of freezing treatments and yeast amount on sensory and physical properties of sweet bakery products. Journal of Food Engineering. Vol. 111, Issue 2, s. 336–342.
- 8 Luo, Wenhuan; Sun, Da-Wen; Zhu, Zhiwei & Wang, Qi-Jun. 2018. Improving freeze tolerance of yeast and dough properties for enhancing frozen dough quality - A review of effective methods. Trends in Food Science & Technology. Vol. 72, s. 25–33.
- 9 Zhao, Yuxia & Kweon, Meera. 2021. Formula optimization of ready-to-proof and ready-to-bake frozen dough of sweet bread using response surface methodology. LWT. Vol 139.
- 10 Bread Improvers. Verkkoaineisto. Laucke. <<https://www.laucke.com.au/FAQRetrieve.aspx?ID=53185>>. Luettu 10.4.2021.
- 11 Leivän lisäaineet. Verkkoaineisto. Leipätiedotus. <<https://www.leipätiedotus.fi/tieto-leivasta/leipa-elintarvikkeena/leivan-valmistus/leivan-lisaaineet/leivan-lisaaineet.html>>. Luettu 10.4.2021.

- 12 Fellows, P. J. 2009. Food processing technology. 3rd ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- 13 Heldman, Dennis R. & Lund, Daryl B. 2007. Handbook of Food Engineering. 2nd ed. Florida: CRC Press.
- 14 AEF description. Verkkoaineisto. Acoustic Extra Freezing Ltd. <aefrus.com/files/downloads/AEF_descr_en.pdf>. Luettu 1.2.2021.
- 15 AEF freezer SHOCK-10-1/1AEF user manual. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Acoustic Extra Freezing Oy.
- 16 AEF Technology Acoustic Extra Freezing. Verkkoaineisto. Acoustic Extra Freezing Ltd. <aefrus.com/files/downloads/AEF_A4_en.pdf>. Luettu 1.2.2021.
- 17 OQ610-S. Verkkoaineisto. Grant Instruments. <<https://www.grantinstruments.com/data-acquisition/process-loggers/oq610-s>>. Luettu 4.2.2021.
- 18 Tuorila, Hely; Parkkinen, Kirsti & Tolonen, Katri. 2008. Aistit ammattikäyttöön. 1. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- 19 Li, Dongmei; Zhu, Zhiwei & Sun, Da-Wen. 2018. Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review. Trends in Food Science & Technology. Vol. 75, s. 46–55.
- 20 Mezaize, Sandra; Chevallier, Sylvie S.; Le-Bail, Alan & De-Lamballerie, Marie. 2010. Gluten-free frozen dough: Influence of freezing on dough rheological properties and bread quality. Food Research International. Vol. 43, Issue 8, s. 2186–2192.

Esimerkki aistinvaraisen arvioinnin arviointilomakkeesta

Arvioi tuotteiden ominaisuuksia: ulkonäköä, rakennetta, suutuntumaa, makua ja kokonaisu miellyttävyyttä. Merkitse arviiosi valitsemalla sopiva kohta asteikolta.

* Pakollinen

1. Vadelma 893 *

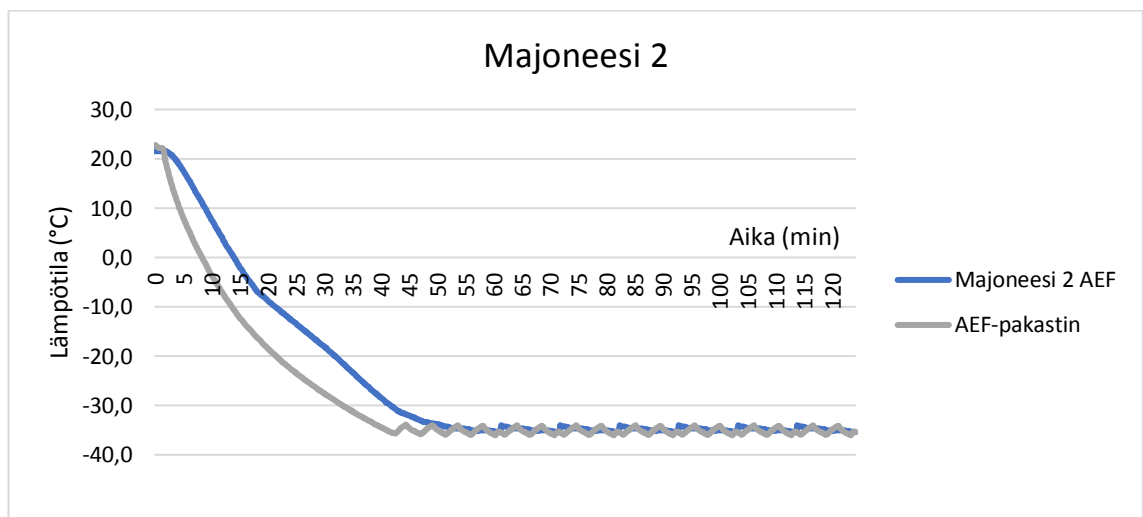
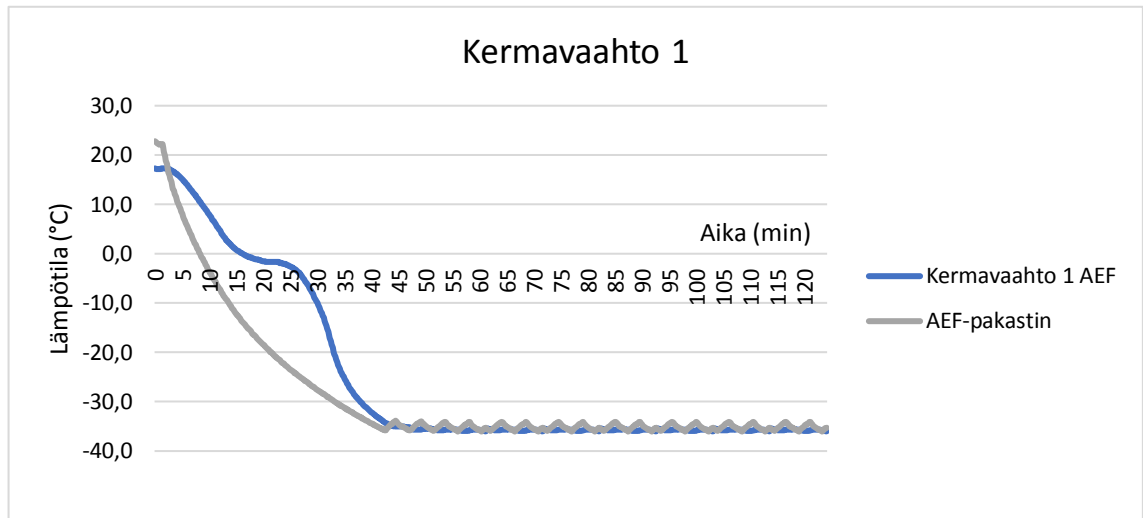
	<i>Erittäin epämiellyttävä/huono</i>			<i>Erittäin miellyttävä/hyvä</i>			
	1	2	3	4	5	6	7
Ulkonäkö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rakenne	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Suutuntuma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maku	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kokonaisu miellyttävyys	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Vadelma 278 *

	<i>Erittäin epämiellyttävä/huono</i>			<i>Erittäin miellyttävä/hyvä</i>			
	1	2	3	4	5	6	7
Ulkonäkö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rakenne	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Suutuntuma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maku	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kokonaisu miellyttävyys	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. Kommentit vadelma:

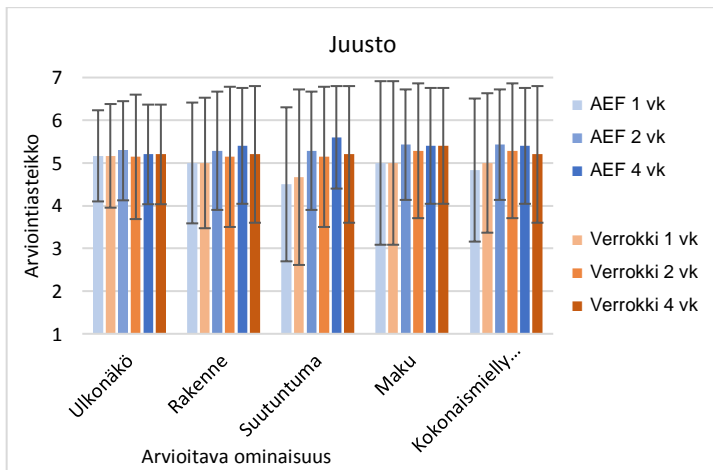
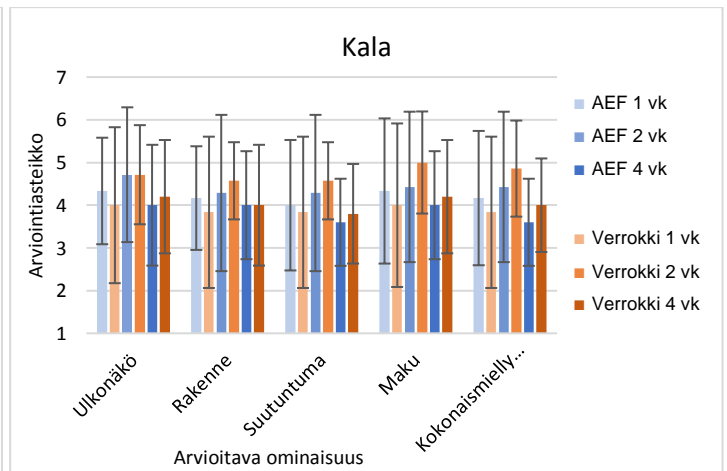
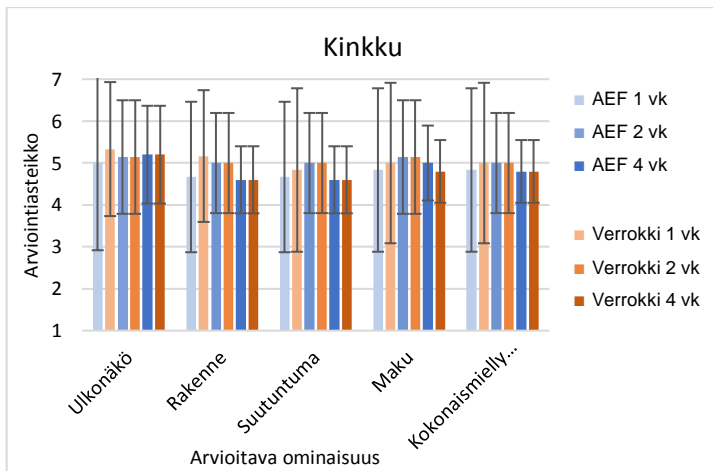
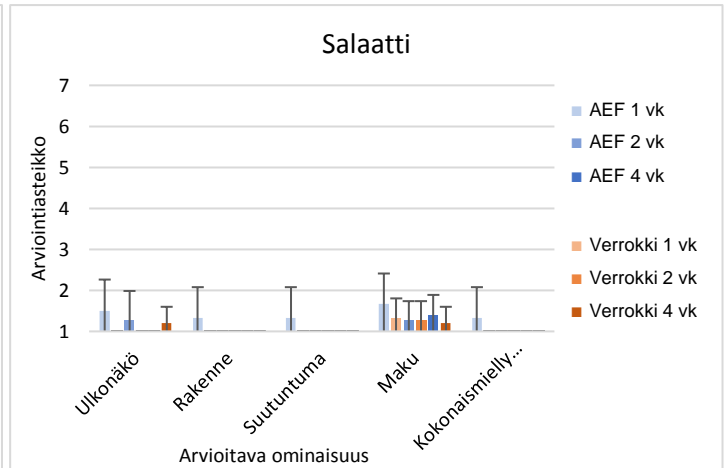
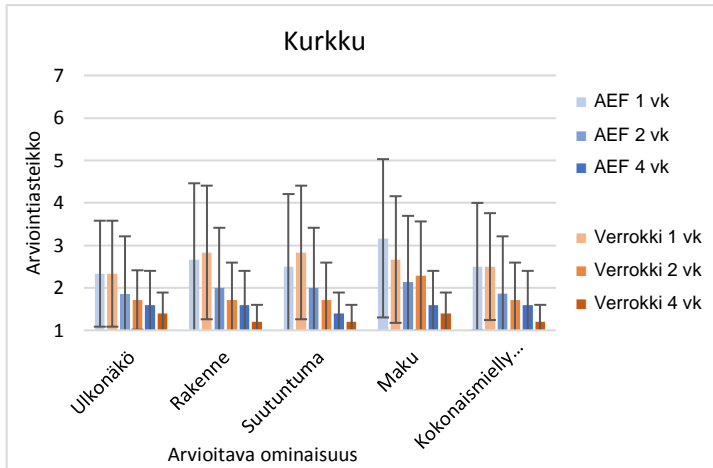
Raaka-ainenäytteiden lämpötiläkäyrät

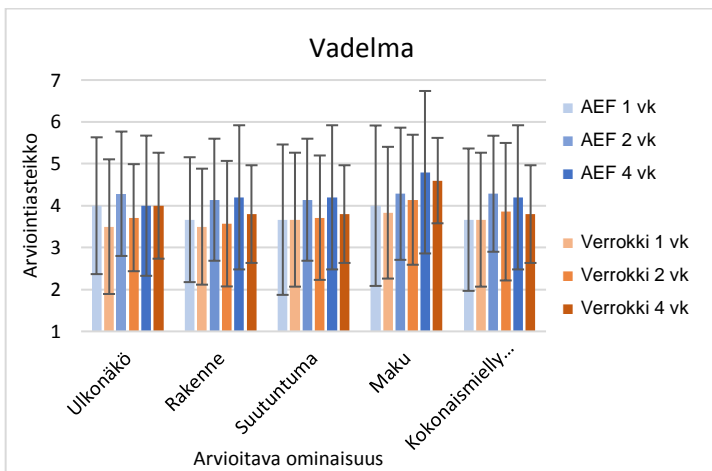
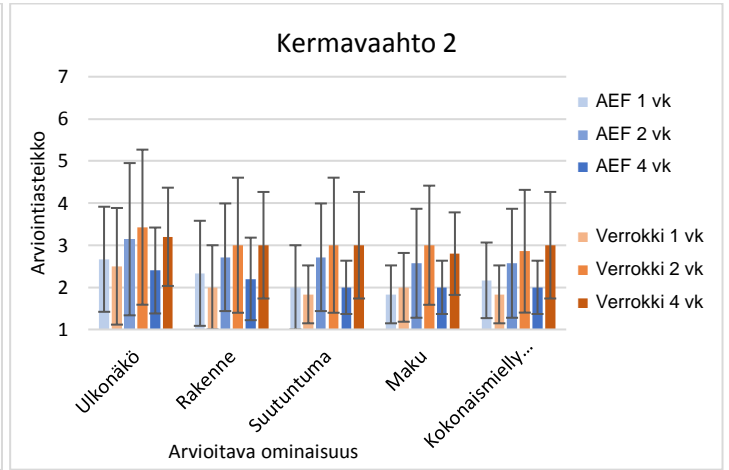
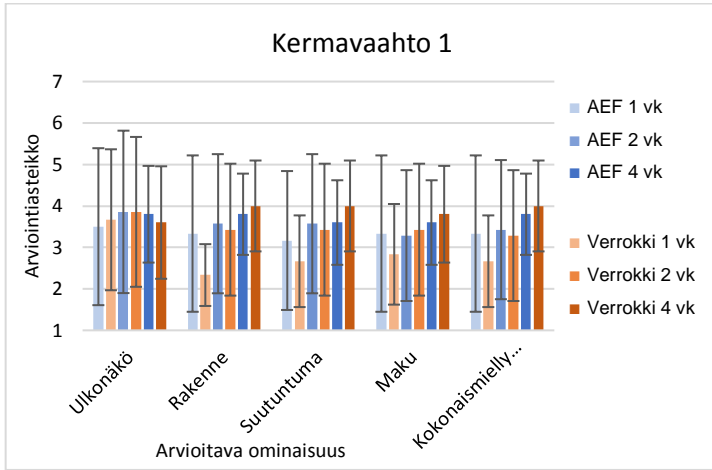


Raaka-ainenäytteiden kosteushäviöt

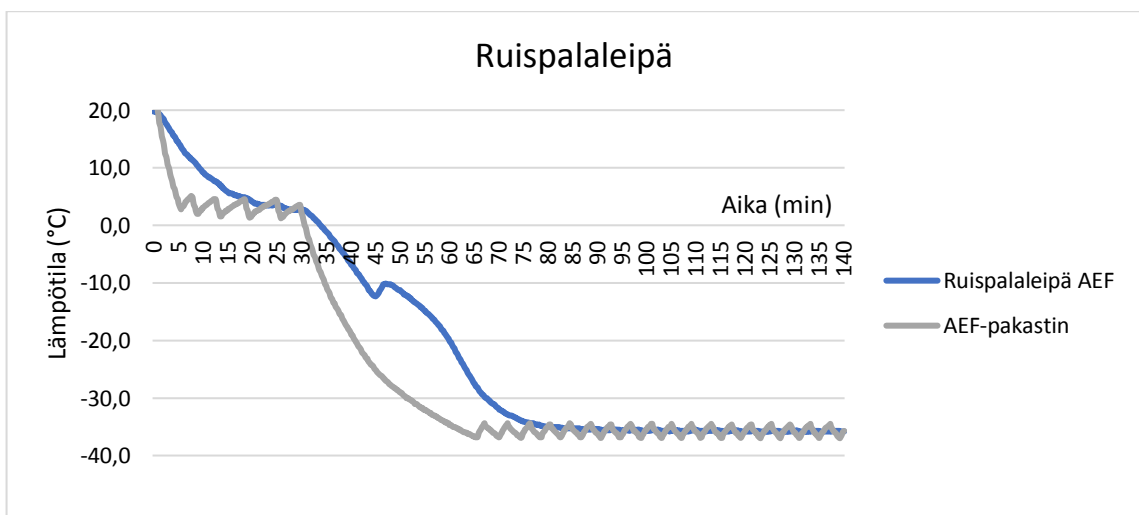
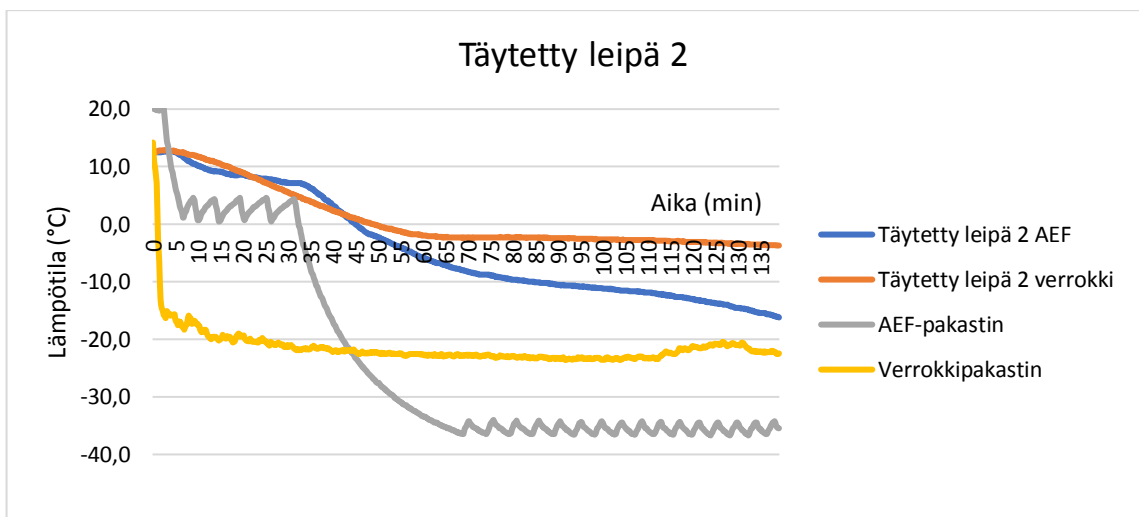
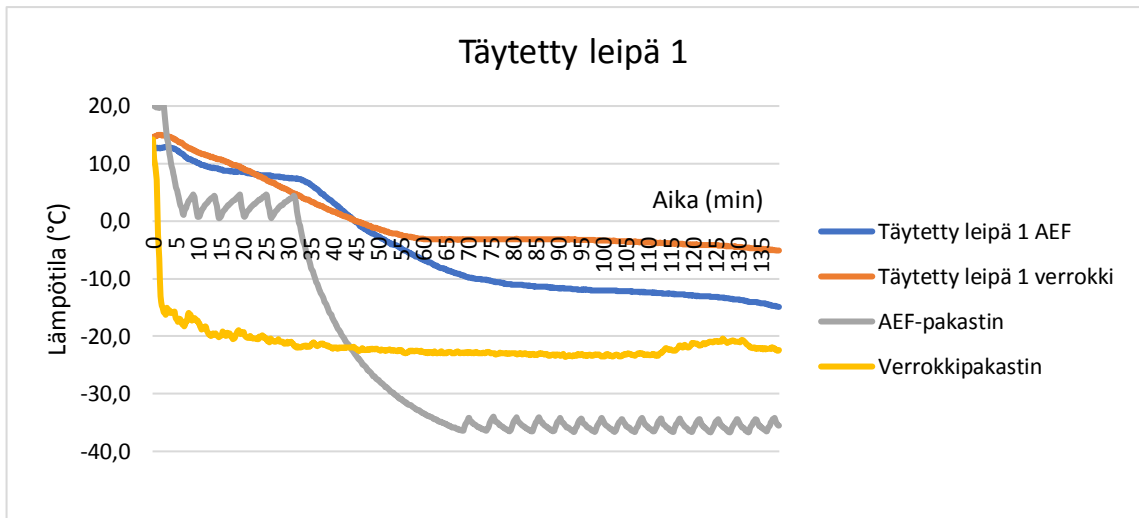
Näyte	Pakastus- aika viik- koina	Kokonaispaino- häviö AEF- pakastettu	Kokonaispaino- häviö verrokki	Sulatus- painohä- viö AEF- pakas- tettu	Sulatus- painohä- viö verrokki
Vadelma	1	5,08 %	2,34 %	0,91 %	0,78 %
Vadelma	2	10,22 %	13,61 %	6,39 %	5,39 %
Vadelma	4	12,89 %	14,77 %	8,25 %	9,20 %
Kurkku	1	8,57 %	9,21 %	1,12 %	1,48 %
Kurkku	2	11,39 %	11,52 %	4,03 %	4,00 %
Kurkku	4	11,19 %	11,09 %	3,12 %	3,10 %
Salaatti	1	44,41 %	44,75 %	34,67 %	36,05 %
Salaatti	2	58,22 %	69,23 %	47,12 %	59,89 %
Salaatti	4	49,59 %	61,79 %	38,56 %	52,53 %
Juusto	1	3,79 %	2,55 %	0,97 %	0,10 %
Juusto	2	3,12 %	2,75 %	0 %	0 %
Juusto	4	2,99 %	2,64 %	0 %	0 %
Kinkku	1	12,35 %	9,47 %	0,09 %	0,09 %
Kinkku	2	11,01 %	10,01 %	0,11 %	0,32 %
Kinkku	4	13,81 %	9,73 %	0,11 %	0 %
Kala	1	2,68 %	3,35 %	1,41 %	1,92 %
Kala	2	2,17 %	1,90 %	0,49 %	1,12 %
Kala	4	3,42 %	2,49 %	2,31 %	1,63 %
Kermavaahto 1	1	6,83 %	7,55 %	0,41 %	0,40 %
Kermavaahto 1	2	6,74 %	9,05 %	1,04 %	1,25 %
Kermavaahto 1	4	7,36 %	9,15 %	0,27 %	0,51 %
Kermavaahto 2	1	5,46 %	6,38 %	0,89 %	0,81 %
Kermavaahto 2	2	5,32 %	7,51 %	0,78 %	1,84 %
Kermavaahto 2	4	4,36 %	6,16 %	0,14 %	0,39 %
Painohäviöi- den summa		302,97 %	329,00 %	153,18 %	182,80 %
Painohäviöi- den keskiarvo		12,62 %	13,71 %	6,38 %	7,62 %

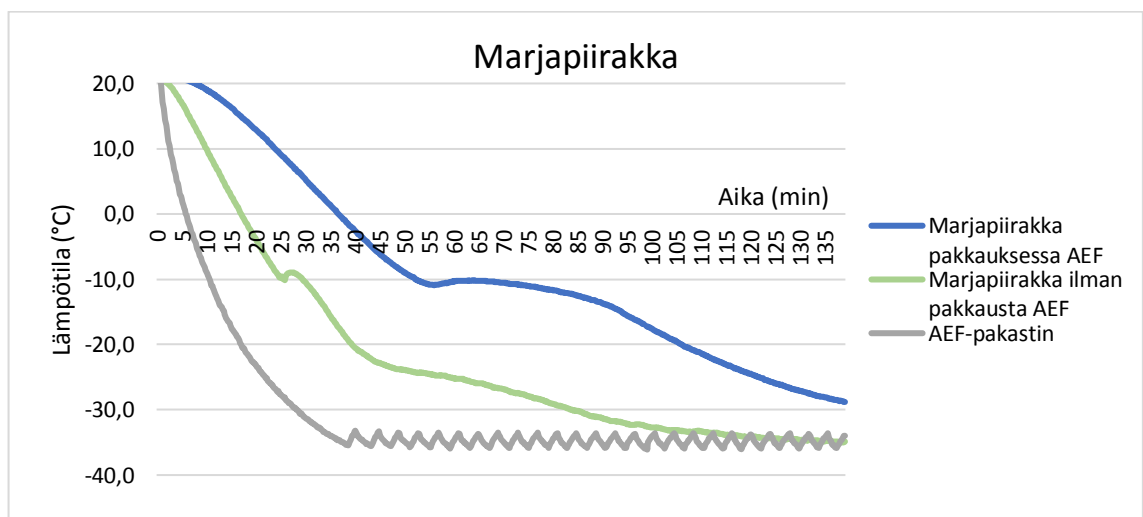
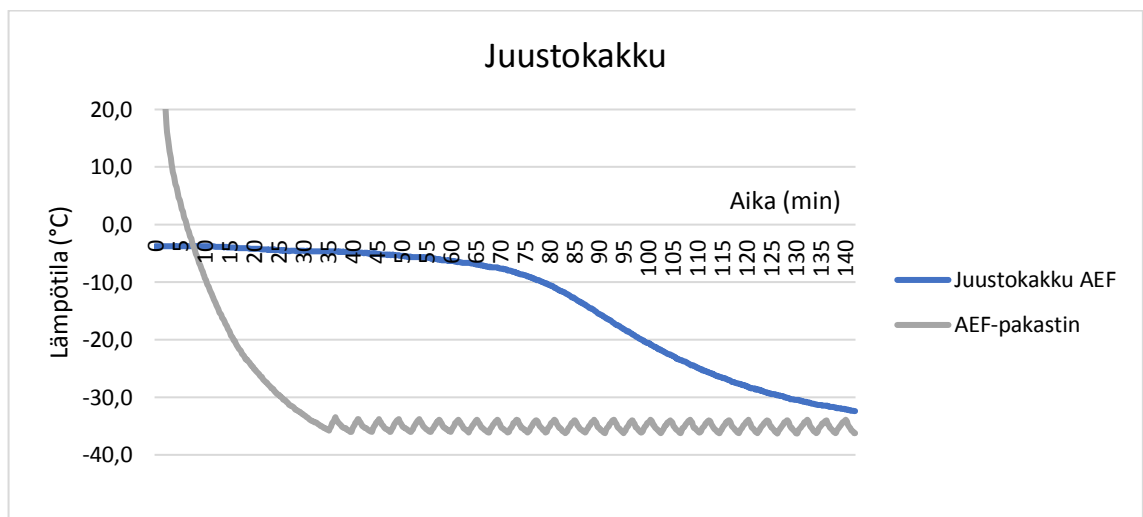
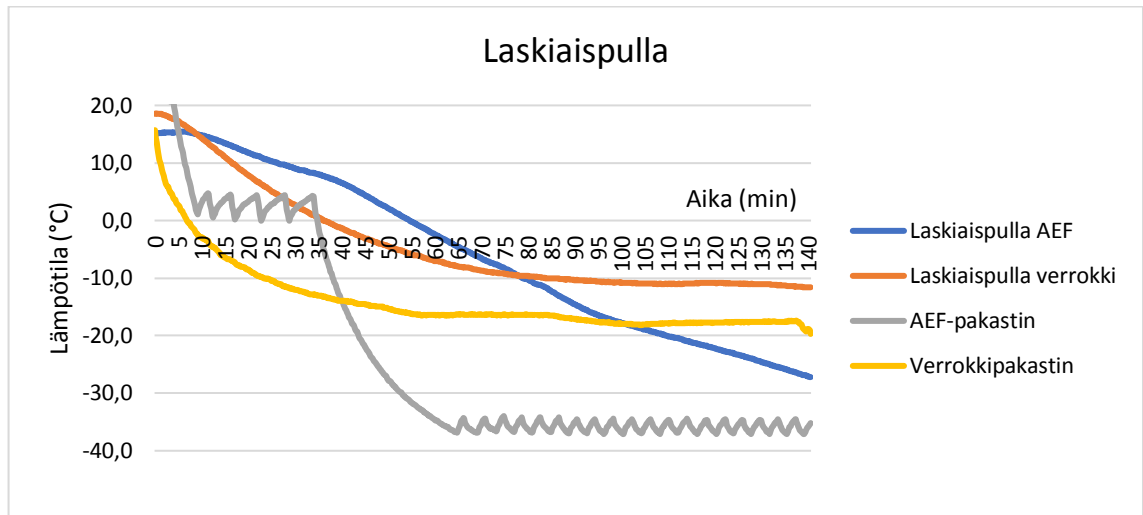
Raaka-ainenäytteiden aistinvaraisten arviointien tulokset





Tuotenyhteiden lämpötilakäyrät





Tuotenäytteiden kosteushäviöt

Näyte	Pakastus- aika viik- koina	Kokonais- painohäviö AEF- pakastettu	Kokonais- painohäviö verrokki	Sulatus- painohäviö AEF- pakastettu	Sulatus- painohäviö verrokki
Täytetty leipä 1	1	0 %	0 %	0 %	0 %
Täytetty leipä 1	2	0 %	0 %	0 %	0 %
Täytetty leipä 1	4	0 %	0 %	0 %	0 %
Täytetty leipä 2	1	0 %	0 %	0 %	0 %
Täytetty leipä 2	2	0 %	0 %	0 %	0 %
Täytetty leipä 2	4	0 %	0 %	0 %	0 %
Kauraleipä	1	0,50 %	0,99 %	0 %	0 %
Kauraleipä	4	0,72 %	1,06 %	0,24 %	0,49 %
Gluteeniton tumma leipä	1	1,51 %	1,54 %	0 %	0 %
Gluteeniton tumma leipä	2	2,44 %	2,45 %	0 %	0,49 %
Gluteeniton tumma leipä	4	2,58 %	2,26 %	0 %	0 %
Ruispalaleipä	1	2,42 %	1,84 %	0 %	0 %
Ruispalaleipä	2	2,38 %	2,50 %	0 %	0,63 %
Ruispalaleipä	4	3,30 %	2,40 %	0,60 %	0,60 %
Laskiaispulla	1	1,83 %	3,05 %	0,30 %	0,30 %
Laskiaispulla	2	2,11 %	2,99 %	0,30 %	0,30 %
Laskiaispulla	4	2,15 %	2,85 %	0,31 %	0,30 %
Juustokakku	1	0 %	0,69 %	0,00 %	0 %
Juustokakku	4	0,73 %	0,53 %	0,18 %	0,18 %
Suklaamousse- leivos	1	0,37 %	0,34 %	0 %	0 %
Suklaamousse- leivos	2	0,35 %	0,36 %	0 %	0 %
Suklaamousse- leivos	4	0,56 %	1,48 %	0,37 %	1,30 %
Marjapiirakka	1	0,61 %	0,78 %	0,61 %	0,62 %
Marjapiirakka	2	1,48 %	1,29 %	1,48 %	0,91 %
Marjapiirakka	4	1,53 %	1,56 %	0,91 %	1,06 %
Painohäviöiden summa		27,56 %	30,97 %	5,30 %	7,18 %
Painohäviöiden keskiarvo		1,10 %	1,24 %	0,21 %	0,29 %

Tuotenäytteiden aistinvaraisten arviointien tulokset

