

Emmi Ollikainen

# Selvitys elintarvikkeiden jäähdyttämisestä ja pakastamisesta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Insinöörityö

03.12.2012

Tekijä(t) Otsikko	Emmi Ollikainen Selvitys elintarvikkeiden jäähdyttämisestä ja pakastamisesta
Sivumäärä Aika	33 sivua + 2 liitettä 03.12.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Bio- ja elintarviketekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Laadunvalvonta ja tuotekehitys
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Riitta Lehtinen
<p>Tutkimus suoritettiin suomalaisessa elintarvikeyrityksessä, joka valmistaa leivonnaispakasteita. Ongelmana yrityksellä oli erityisesti joidenkin kypsien tuotteiden pakastusprosessin riittämättömyys pakastuspiraalissa. Pakastusaikaa spiraalissa ei voitu pidentää, koska koko tehtaan tuotantoteho olisi kärsinyt, joten ongelmallisten tuotteiden loppupakastuminen tapahtui pakkasvarastossa. Työn tarkoituksena oli tutkia tuotteiden pakastumista prosessin aikana ja löytää paras mahdollinen ratkaisu tuotteiden pakastamiseen. Lisäksi haluttiin optimoida pakastusaika myös niille tuotteille, joiden pakastumisessa ei ollut ongelmia.</p> <p>Mittauksilla haluttiin selvittää tuotteiden tarkka pakastumisaika pakastuspiraalissa ja lisäksi, kuinka kauan pakastuminen pakkasvarastossa kestää. Tutkimukseen valittiin mahdollisimman erilaisia tuotteita, jotta pystyttiin saamaan laaja käsitys yrityksen pakastusprosessien toiminnasta sekä selvittämään oikea pakastusaika eri tuotteille. Kypsennetyistä tuotteista tutkittiin lähes kaikki ja muita tuotteita tutkittiin pistokoetyyppisesti. Kaikki lihaa sisältävät tuotteet tutkittiin jokaiselta linjalta. Selvitystyöhön otettiin tarkasteltavaksi kolme erilaista tuotetta, joita merkitään kirjaimilla A, B ja C.</p> <p>Mittaukset suoritettiin lämpötilaloggereiden avulla asettamalla niiden anturit tuotteiden keskikohtaan, jossa pakastuminen on kaikkein hitainta. Kaikki mittaukset suoritettiin tuotannon ollessa käynnissä, jotta olosuhteet vastasivat mahdollisimman hyvin tuotteille tyypillisiä tuotanto-olosuhteita.</p> <p>Tulosten perusteella tuote A:n pakastaminen loppuun pakkasvarastossa todettiin parhaaksi ratkaisuksi prosessin kannalta. Muiden työssä käsiteltyjen tuotteiden pakastumisessa ei havaittu ongelmia, joten muutokset prosesseissa eivät olleet välttämättömiä.</p>	
Avainsanat	pakastaminen, jäähdyttäminen, leivonnaispakasteet

Author(s) Title	Emmi Ollikainen Research on Food Freezing and Refrigeration
Number of Pages Date	33 pages + 2 appendices 3 December 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Food Engineering
Specialisation option	Quality Control and Research and Development
Instructor(s)	Riitta Lehtinen, Principal Lecturer
<p>The research has been made in a Finnish food company which manufactures bake off products. The main problem in the company was the insufficiency of the freezing process, especially for the baked products. It was not possible to make the freezing time longer because the efficiency of the entire company would have suffered. The purpose of this research was to find out the specific freezing time for every product and try to find the best way for freezing these products. The aim was also to figure out the freezing time for the products without the problems in the freezing process.</p> <p>The freezing times in the spiral freezer and in the storage were investigated in the surveys. For the research it was selected different products so that comprehensive knowledge could be gotten of the functionality of the process and the right freezing time found out for the different products. All the products, including meat, were researched from every production line and the other products were selected arbitrarily. In this survey three different products are investigated. The products have been named with the letters A, B and C.</p> <p>The surveys were made with the temperature data loggers by setting the sensors in the middle of the products where the freezing happens slowest. All the surveys were made while the normal production was running. This way the circumstances of the products in the surveys were similar to the normal circumstances.</p> <p>The results indicated that the best way for the freezing of product A is to freeze it in the storage after the freezing in the spiral. There were no problems found with the other products so it is not necessary to do any changes to the processes of them.</p>	
Keywords	Freezing, Refrigeration, Bake off products

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Yleistä elintarvikkeiden jäähdyttämisestä	2
2.1	Jäähdyttämisen hyötyjä	2
2.2	Säännöksiä elintarvikkeiden jäähdyttämisestä	4
2.3	Kylmäketju	4
3	Yleistä elintarvikkeiden pakastamisesta	5
3.1	Pakastamisen hyötyjä	5
3.2	Laatumuutokset pakastusprosessin aikana	5
3.3	Pakasteiden säilyminen	6
3.4	Pakasteiden sulattaminen	6
3.5	Lainsäädäntöä elintarvikkeiden pakastamisesta	7
4	Jäähdytyksen ja pakastamisen fysiikkaa	8
4.1	Lämpötilä käsitteenä	8
4.2	Lämmönsiirto elintarvikkeiden jäähdyttämisessä	8
4.3	Olomuodon muutokset	9
4.4	Pakastumisen eteneminen tuotteessa	10
5	Jäähdytys- ja pakastusmenetelmiä	12
5.1	Jäähdytysmenetelmiä	12
5.1.1	Jäähdytys keittopadassa	12
5.1.2	Jäähdytyskaapit	12
5.1.3	Spiraali-jäähdyttimet	12
5.1.4	Uppo-jäähdyttimet	12
5.2	Pakastusmenetelmiä	13
5.2.1	Pakastaminen ilmalla	13
5.2.2	Levy-pakastus	14
5.2.3	Pakastaminen nesteellä	14
5.2.4	Kryogeeninen pakastus	14
6	Leipomotuotteet	15
6.1	Leipomotuotteiden valmistusprosessi	15
6.2	Leivonnaispakasteet	17

6.2.1	Yleistä leivonnaispakasteista	17
6.2.2	Pakkasleivonta	17
7	Tutkimus tuotteiden pakastumisesta	18
7.1	Mittausten suoritus	18
7.1.1	Tuote A	19
7.1.2	Tuote B	19
7.1.3	Tuote C	20
7.2	Mittaustulokset	20
7.2.1	Tuote A	20
7.2.2	Tuote B	22
7.2.3	Tuote C	24
8	Tulosten tarkastelu	25
9	Yhteenveto	26
	Lähteet	28
	Liitteet	
	Liite 1. Esimerkki mittausdatasta	

## 1 Johdanto

Tutkimus suoritettiin suomalaisessa elintarvikeyrityksessä, joka valmistaa leivonnaispakasteita. Ongelmana oli kypsien tuotteiden pakastusprosessin riittämättömyys, sillä osa tuotteista ei ehtinyt pakastua  $-18\text{ °C}$ :seen pakastuspiraalissa. Näin ollen tuotteiden loppupakastuminen tapahtui pakkasvarastossa. Tästä ei ole haittaa itse tuotteelle, mutta tämä käytäntö ei ollut mahdollinen rajallisten tilojen vuoksi. Erityisesti kypsennettyjen tuotteiden pakastus oli ongelma, koska ne olivat lämpimiä tai kuumia mennessään pakastuspiraaliiin. Näin ollen pakastuspiraalin teho ei riittänyt pakastamaan tuotteita halutussa ajassa. Pakastusajan pidentäminen ei ollut toimiva ratkaisu, koska se olisi heikentänyt koko tehtaan tuotantotehoa.

Työn tarkoituksena oli tutkia tuotteiden pakastumista prosessin aikana ja löytää paras mahdollinen tapa pakastaa kyseisiä tuotteita. Tämän lisäksi haluttiin optimoida pakastusaika myös niille tuotteille, joiden pakastumisessa ei ollut ongelmia. Mittauksilla haluttiin selvittää tuotteiden tarkka pakastumisaika ja se, kuinka kauan tuotteen täytyy olla pakastuspiraalissa, jotta aika olisi riittävä tuotteen pakastamiseksi haluttuun lämpötilaan. Lisäksi haluttiin tutkia, kuinka kauan kestää pakastuminen pakkasvarastossa. Tutkimuksessa selvitettiin myös, onko tällä pakastustavalla vaikutusta muihin pakkasvarastossa oleviin tuotteisiin.

Tutkimuksessa pyrittiin tutkimaan mahdollisimman erilaisia tuotteita, jotta pystyttiin saamaan laaja käsitys yrityksen pakastusprosessien toiminnasta sekä kartoittamaan sopivaa pakastusaikaa eri tuotteille. Kypsennetyistä tuotteista tutkittiin lähes kaikki ja muista tuotteista tutkittiin osa pistokoetyyppisesti. Kaikki lihaa sisältävät tuotteet tutkittiin jokaiselta linjalta. Tähän selvitystyöhön on valittu käsiteltäväksi kolme erilaista tuotetta eri tuoteryhmistä. Osa käsiteltävistä tuotteista on kypsennettyjä ja osa kypsennättömiä.

## 2 Yleistä elintarvikkeiden jäädyttämisestä

### 2.1 Jäähdyttämisen hyötyjä

Elintarvikkeiden jäähdytyksellä ja pakastuksella hidastetaan elintarvikkeessa tapahtuvia muutoksia. Näitä muutoksia ovat mm. veden haihtuminen elintarvikkeesta, kasvisien ja lihan metabolia sekä elintarvikkeen kemialliset reaktiot. (Mikola 2010.)

Taulukkoon 1 on kerätty säilyvyysaikoja erilaisille elintarvikkeille eri lämpötiloissa.

**Taulukko 1 Elintarvikkeiden säilyvyysaikoja eri lämpötiloissa (Ruokatieto yhdistys Ry. 2012)**

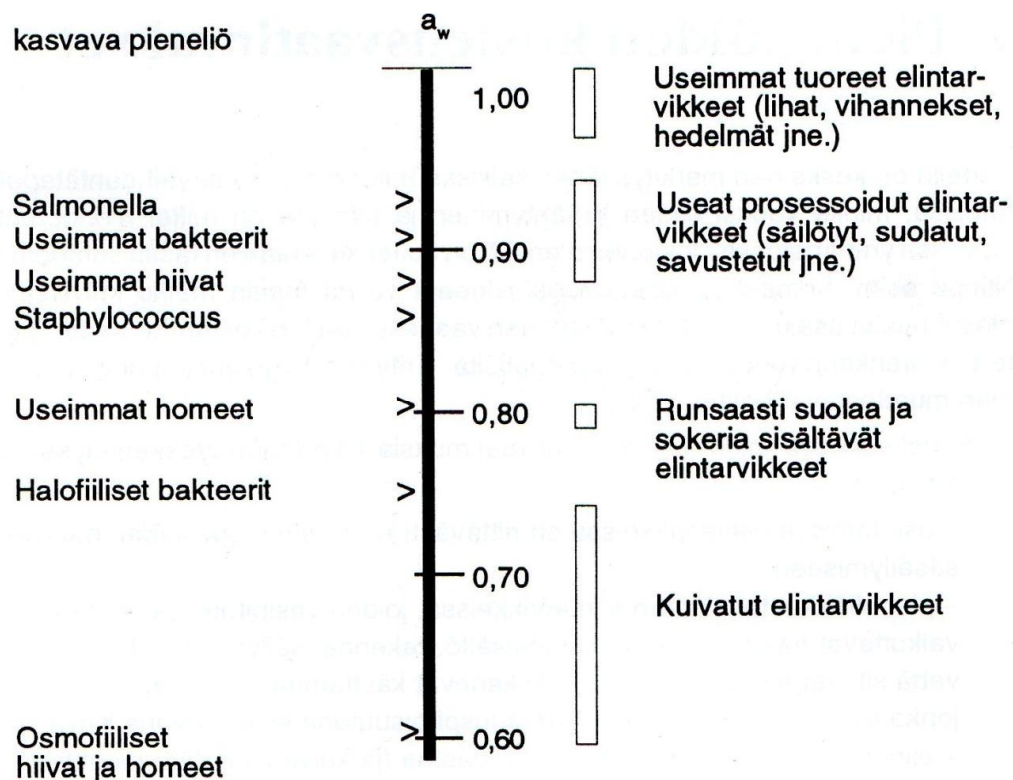
Elintarvike	Säilyvyys kuiva- ainekaapissa (15 °C)	Säilyvyys jääkaapissa (4-6 °C)	Säilyvyys pakasti- messa (-18°C)
Leivonnaiset			
pullat	1-3 vrk		6-12 kk
rasvaiset leivonnaiset	n. 1 viikko		3-6 kk
vaalea leipä	1-2 vrk		1-3 kk
ruisleipä	1-5 vrk		1-3 kk
kermakuorurutetut kakut		1-3 vrk	3 kk
Maitovalmisteet			
pastöroitu maito esim. rasvaton ja kevyt maito		n. 4 vrk	2 kk
pastöroitu kerma		n. 4 vrk	2 kk
UHT maitovalmisteet eli iskukuumennetut	3 kk	avattuna 4 vrk	2 kk
juustot		1-2vk	12 kk
Liha ja kala			
sianliha		2-3 vrk	3-6 kk
naudanliha		4-5 vrk	6-9 kk
broileri		1-2 vrk	3-6 kk
tuore kala		1 vrk	1-2 kk
savustettu kala		1-2 vrk	1-2 kk
Rasvat			
margariinit		avattuna 2 viikkoa, avaamattomana 2-5 kk	2 kk
voi		avattuna 2 viikkoa, avaamattomana 3 kk	2 kk

Hyvän jäähdystekniikan avulla voidaan lisäksi vähentää käytettäviä säilöntäaineita sekä esimerkiksi suolan ja sokerin käyttöä säilömistarkoituksessa. (Ahvenainen-Rantala, 2010.)

#### Veden aktiivisuus elintarvikkeessa

Vedenaktiivisuus ( $a_w$ ) on elintarvikkeen säilymisen kannalta tärkeämpi tekijä kuin sen vesipitoisuus. Veden aktiivisuus kertoo, onko vesi elintarvikkeessa sitoutuneena tuotteeseen vai käyttäytykö se kuin puhdas vesi. Veden aktiivisuus ei ole suoraan riippuvainen sen vesipitoisuudesta, koska vesimolekyylit sitoutuvat eri tavalla erilaisissa elintarvikkeissa. Veden aktiivisuudella on merkittävä vaikutus useiden elintarvikkeissa tapahtuvien laatumuutosten nopeuteen. Veden aktiivisuutta tuotteessa voidaan kuitenkin merkittävästi alentaa laskemalla tuotteen lämpötilaa. (Jouppila 2006.)

Jokaisella mikrobia on sille ominainen vedenaktiivisuusarvo, jonka alapuolella se ei pysty kasvamaan. Kuvassa 1 on esitetty erilaisten mikrobien lisääntymiseen vaadittavia vedenaktiivisuuden minimiarvoja sekä erilaisille elintarviketyypeille ominaisia vedenaktiivisuusarvoja.



Kuva 1 Mikrobien vaatimia  $a_w$ -arvoja sekä eri elintarvikkeille ominaisia  $a_w$ -arvoja (Peltosaari & Raukola 1995, 32.)



Veden aktiivisuus vaikuttaa mikrobikasvun lisäksi myös elintarvikkeessa tapahtuviin kemiallisiin reaktioihin, mm. kemialliseen ruskettumiseen ja elintarvikkeessa tapahtuviin hapettumisreaktioihin. Esimerkiksi lipidien hapettumisreaktion nopeus on pienimmillään, kun vedenaktiivisuusarvo on 0,3-0,5. Lisäksi vedenaktiivisuudella on suuri merkitys elintarvikkeessa tapahtuviin entsyymaattisiin reaktioihin, esimerkiksi  $\beta$ -amylaasin aktiivisuus kasvaa huomattavasti, kun  $a_w$ -arvo on yli 0,85. (Jaakonsaari 2009.)

## 2.2 Säännöksiä elintarvikkeiden jäähdyttämistä

Jos valmistuksen yhteydessä kuumennettuja elintarvikkeita ei tarjoilla välittömästi tai vaihtoehtoisesti pidetä lämpimänä, tulee ne jäähdyttää heti valmistuksen jälkeen. Elintarvikkeen jäähdytyksen tulee tapahtua enintään neljässä tunnissa, siten että tuotteen lämpötila jäähdytyksen jälkeen on korkeintaan +6 °C. Nopealla jäähdytyksellä taataan tuotteen laatu, turvallisuus ja säilyvyys. Jos kuumennus tapahtuu liian hitaasti tai liian lämpimässä, saattavat siihen kuumennuksen aikana jääneet bakteerien itiömuodot muuttua kasvumuotoon ja saastuttaa elintarvikkeen. (Elintarviketurvallisuusvirasto. 2010b.)

Jos tuotantolaitoksen toimintaan kuuluu säännöllisesti kuumentamalla valmistetun ruuan jäähdyttäminen, on laitoksessa käytettävän kylmälaitteiston kapasiteetin sekä tehon oltava riittävän suuri kyseiselle tuotantomäärälle. (Elintarviketurvallisuusvirasto 2010b.)

## 2.3 Kylmäketju

Kylmäketjulla tarkoitetaan jäähdytetyn elintarvikkeen lämpötilan pitämistä riittävän kylmänä (alle +8 °C) valmistuspaikasta kuluttajan jääkaappiin. Usein elintarvikkeita kuljetetaan pitkiäkin aikoja ja ne saatetaan lastata ja purkaa useita kertoja ennen lopullista myyntipaikkaa. Usein matkan varrella on monta kriittistä kohtaa, joissa lämpötila pääsee helposti nousemaan. Kylmäketjun katkeamattomuus on tärkein tekijä tuotteiden laadun säilymisessä. (Lihatiedotusyhdistys ry 2012.)

### 3 Yleistä elintarvikkeiden pakastamisesta

#### 3.1 Pakastamisen hyötyjä

Pakastaminen on paras säilöntämenetelmä pidempiaikaiseen säilytykseen. Se mahdollistaa esimerkiksi pitkät kuljetusmatkat raaka-aineille ja tuotteille sekä kausituotteiden saatavuuden ympäri vuoden. Pakastamisen avulla saadaan säilytettyä hyvin tuotteiden ja raaka-aineiden maku, aromi ja väri sekä ravintoarvo. (Saarela ym. 2010, 143)

#### 3.2 Laatu muutokset pakastusprosessin aikana

Pakastuksen avulla saadaan yleensä tuotteen rakenne säilymään vain kohtalaisen hyvin. Osa tuotteista voi saada vaurioita pakastusprosessista. Merkittävimmät fysikaaliset muutokset pakastetuissa elintarvikkeissa johtuvat veden kulkeutumisesta tuotteen sisällä. Näitä muutoksia ovat jään uudelleen kiteytyminen ja pakkaspalaminen sekä kosteuden väheneminen tuotteesta. Suurin osa vedestä pysyy jäätyneenä, kun varastointilämpötila pidetään tarpeeksi alhaisena sekä tasaisena. Tällöin molekyylien liike on vähäistä ja tuotteen laatu säilyy hyvänä. Pakkasvarastoinnin aikana saattaa elintarvikkeissa tapahtua myös proteiinien denaturoitumista sekä rasvojen hapettumista. (Saarela ym. 2010, 143-145.)

Kosteuden haihtuminen tuotteesta aiheuttaa sen pinnalle ulkonäkövirhettä. Proteiinien denaturoiminen tarkoittaa puolestaan valkuaisaineiden hajoamista tuotteessa ja niiden biologisen aktiivisuuden menettämistä, minkä seurauksena esimerkiksi lihan vedensidontakyky alenee. Rasvojen hapettuminen taas aiheuttaa makuvirhettä tuotteeseen. Muita oleellisia laatu virheitä pakastetuissa tuotteissa ovat erilaiset käsittelyvirheet, murtuminen sekä lohkeileminen. (Saarela ym. 2010, 143.)

Mikrobiologiset ongelmat ovat mahdollisia, mikäli tuotteiden pakastaminen tapahtuu hitaasti tai tuotteet sulatetaan kontrolloimattomasti. (Saarela ym. 2010, 143.)

### 3.3 Pakasteiden säilyminen

Oikealla pakkausmateriaalilla ja –tavalla voidaan vaikuttaa pakasteiden säilymiseen. Pakkausmateriaalia valittaessa on tunnettava kyseisen tuotteen ominaisuudet sekä mahdolliset ongelmat. (Saarela ym. 2010, 145.)

Säilyvyysajat pakastetuille elintarvikkeille määritetään siten, että tuotteet ovat aistinva-  
raisesti arvioituna moitteettomia vielä parasta ennen –päiväyksen jälkeenkin. Pakastei-  
den säilyvyysaika on 3-18 kk. Koska mikrobit eivät lisäänty pakkasessa, ei tuotteille  
tarvitse tehdä mikrobiologia säilyvyyskokeita. (Saarela ym. 2010, 145.)

Erilaisilla elintarvikkeilla on erilaiset säilyvyysajat. Taulukossa 2 on esitetty suositeltavia  
säilytysaikoja erilaisille pakastetuille elintarvikkeille ja raaka-aineille.

**Taulukko 2 Suositeltuja säilytysaikoja erilaisille pakastetuille elintarvikkeille  
(Saarela ym. 2010, 285.)**

Raaka-aine	Säilyvyysaika	Raaka-aine	Säilyvyysaika
Jauheliha	1 -2 kk	Siipikarja	3 - 6 kk
Naudanliha	6 - 8 kk	Kasvikset	10 - 12 kk
Lampaanliha	8 - 10 kk	Juurekset	6 kk
Sianliha	3 - 6 kk	Marjat ja hedel- mät	10 - 12 kk
Kalat ja äyriäiset	3 kk	Taikinat	2 - 4 kk
Rasvaiset kalat	1 -2 kk	Leivonnaiset	3 - 9 kk
Sisäelimet	3 kk	Valmiit ruoat	3 kk

### 3.4 Pakasteiden sulattaminen

Pakasteen sulattaminen on pakastamista hitaampi prosessi, koska lämpö joutuu kul-  
kemaan koko ajan paksunevan vesikerroksen läpi ja veden lämmönjohtokyky on huo-  
mattavasti pienempi kuin jäällä. Elintarvike joutuu siis olemaan melko pitkään samoissa  
olosuhteissa kuin pakastettaessa, jolloin liuenneiden suolojen ja muiden aineiden pitoi-  
suus on korkea ja haitallisia reaktioita tapahtuu runsaasti. (Dahlgren 1997, 75)

Pakasteet on sulatettava hallitusti, koska sulaessaan rikkoutuvat jääkiteet ja tästä ai-  
heutuvat mahdolliset rakennemuutokset toimivat hyvänä kasvualustana erilaisille mik-  
robeille. (Elintarviketurvallisuusvirasto 2010a.)

Esimerkiksi pakastettu liha tulee sulattaa omissa pakkauksissaan, valmistusastioissa tai erillisissä astioissa, joissa on kansi. Sulatuksen on tapahduttava kylmässä, enintään 4 °C:n lämpötilassa. Kun tuote on sulanut, tulee sulamisneste kaataa välittömästi pois ja siirtää lihat valmistusastioihin tai, jos ne ovat jo valmistusastioissa, suoraan uuniin. Riskinä lihojen sulattamisessa on sulamisnesteen roiskuminen muihin elintarvikkeisiin tai valmistusympäristöön ja työvälineisiin. Mikäli sulatus tapahtuu liian lämpimässä ympäristössä, lisääntyy mikrobikasvun vaara lihan pinnassa jo ennen kuin sisäosa on kokonaan sulanut. (Elintarviketurvallisuusvirasto 2012.)

Sulatusnopeudella on vaikutusta myös muihin elintarvikkeen laatuominaisuuksiin. Kun tuotteen lämpötila kohoaa, esimerkiksi lihaa mureuttavat entsyymit alkavat aktivoitua uudestaan. Tästä syystä liha tulee sulattaa hitaasti, jotta entsyymit ehtivät vaikuttaa. (Dahlgren 1997, 75)

Myös elintarvikkeiden sulatukseen on tarjolla erilaisia sulatusjärjestelmiä, joiden avulla voidaan taata tehokas ja hygieeninen sulatus. Nämä voivat olla esimerkiksi teollisuustiloihin asennettuja kontteja tai sinne rakennettuja erillisiä sulatushuoneita. Sulatusjärjestelmien tavoitteena on varmistaa toimintojen prosessoitu eteneminen, joka parantaa tuotteiden laatua ja hygieenisyyttä. Lisäksi tällaiset laitteet mm. pienentävät hävikkiä ja saavat aikaan sulatusprosessin tasaisuuden. Sulatusprosessi tällaisen järjestelmän avulla mahdollistaa lämpötilan valvomisen tuotteessa sekä huoneessa koko sulatuksen ajan. Lisäksi prosessi voidaan päättää automaattisesti, kun haluttu lämpötila on saavutettu. (Komestos Oy 2012)

### 3.5 Lainsäädäntöä elintarvikkeiden pakastamisesta

Pakastetuksi elintarvikkeeksi voidaan kutsua tuotetta, joka on jäädytetty pakastamiseksi kutsutulla jäädytysmenetelmällä ja jossa maksimaalinen kiteenmuodostus etenee mahdollisimman nopeasti elintarviketyypistä riippuen. Tuotteen lopullisen lämpötilan tulee lämmön tasaantumisen jälkeen olla koko ajan alle -18 °C. Lisäksi tuotteet tulee myydä pakastettuina. (Pakasteasetus 1994.)

Pakasteet tulee valmistaa vain moitteettomista raaka-aineista. Ne on valmistettava, jäädytettävä ja pakastettava mahdollisimman nopeasti käyttämällä asianmukaisia teknisiä laitteita, jotta mikrobiologisia, kemiallisia tai biokemiallisia muutoksia ei pääsisi

syntymään. Pakastamiseen saa käyttää väliaineena ainoastaan ilmaa, vettä ja hiilidioksidia. (Pakasteasetus 1994.)

Pakasteen lämpötilan on pysyttävä sen kaikissa osissa alle  $-18\text{ °C}$ :ssa. Kuljetuksen tai myynnin aikana lämpötila saa hetkellisesti nousta  $-15\text{ °C}$ :seen. (Pakasteasetus 1994.)

Lisäksi pakastetut tuotteet on pakattava asianmukaisesti, jotta tuote on suojassa kuivumiselta sekä likaantumiselta tai mikrobiologiselta kontaminaatiolta. Pakkauksessa tulee aina olla sana ”pakastettu” tai ”pakaste”. Lisäksi pakkauksesta on löydyttävä ohjeet tuotteen säilyttämiselle ja merkintä, jossa kerrotaan, kuinka kauan ostaja voi säilyttää tuotetta. Tämän lisäksi pakkauksesta on aina löydyttävä teksti ”ei saa jäädystä uudelleen sulatuksen jälkeen”. (Pakasteasetus 1994.)

## 4 Jäähdytyksen ja pakastamisen fysiikkaa

### 4.1 Lämpötila käsitteenä

Käsitettä lämpötila käytetään yleisesti, kun halutaan kertoa, kuinka kylmä tai kuuma jokin asia on. Kaksi toisiinsa kosketuksissa olevaa kappaletta saavuttaa saman lämpötilan, vaikka niiden lämpötilat olisivat aluksi erilaiset. Ollessaan kosketuksissa toisiinsa kappaleet ovat termisessä kontaktissa ja saavuttavat näin ollen termisen tasapainon, kun niiden lämpötilat ovat samat. Tässä tilassa lämpöenergian siirtymistä ei enää tapahdu. (Inkinen & Tuohi 2011, 353.)

Lämpötilan SI-yksikkö on kelvin (K). Kelvin-asteikon nollakohta on niin sanottu absoluuttinen nollapiste eli  $-273,15\text{ °C}$ . Yleensä lämpötiloja on kuitenkin totuttu merkitsemään celsiusasteina. Celsiusasteikon nollassi on määritelty  $273,15\text{ K}$ . (Inkinen & Tuohi 2011, 353-354.)

### 4.2 Lämmönsiirto elintarvikkeiden jäähdyttämisessä

Lämpöenergia siirtyy kuumasta elintarvikkeesta sen ympäristöön. Mitä kylmempi ympäristö on, sitä tehokkaammin lämpö siirtyy siihen. Kun lämpöä siirtyy elintarvikkeesta sen ympäristöön, elintarvike jäähtyy, mutta ympäristö lämpenee. Tämän takia on hyvin tärkeää, että elintarviketta ympäröivä elementti pysyy riittävän kylmänä koko jäähdy-

tyksen ajan. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli elintarvikkeen jäähdyttämiseen käytetään ilmaa tai hiilidioksidia, on se pidettävä koko ajan tarpeeksi kylmänä ja ilmanvaihto riittävänä, jotta elintarvikkeen ympärillä on koko ajan kylmää eikä lämmintä ilmaa. Mikäli elintarvikkeen jäähdyttämiseen käytetään vettä, on se pidettävä kylmänä ja huolehdittava, ettei elintarvikkeen ympäristö lämpene. (Elintarviketurvallisuusvirasto 2010. b.)

#### Elintarvikkeen jäähtymiseen vaikuttavia tekijöitä

Elintarvikkeiden jäähtymisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi jäähdytettävän massan koko, muoto ja paino. Lisäksi siihen vaikuttaa tuotteen kiinteys ja vesipitoisuus sekä veden aktiivisuus. Myös tuotteen lämmönjohtavuudella sekä jäähdytysmenetelmällä on vaikutusta jäähtymisnopeuteen. Lisäksi elintarviketta sisältävän astian materiaalilla, lämmönvaraamiskyvyllä sekä lämmönjohtavuudella on vaikutusta siihen, kuinka nopeasti tuote jäähtyy. (Elintarviketurvallisuusvirasto 2010b.)

#### 4.3 Olomuodon muutokset

Olomuodonmuutoksissa eli faasimuutoksissa aine vaihtaa olomuotoaan. Olomuotoja on kolme: kiinteä, nestemäinen ja kaasu. Olomuodonmuutoksissa aineen lämpötila ei muutu, mutta niiden sisäenergiat ovat erilaisia eri olomuodoilla. Koska aineet ovat molekyyliarakenteeltaan erilaisia, ovat eri olomuotojen muutoksiin liittyvät lämpömäärät erilaisia eri aineilla. Olomuodon muutoksiin liittyy myös käsite latenttilämpö. Latenttilämmöllä tarkoitetaan energiaa, joka sitoutuu aineeseen tai poistuu siitä faasimuutoksen aikana lämpötilaa muuttamatta. (Inkinen & Tuohi 2011, 385.)

Elintarvikkeiden jäätymisellä tarkoitetaan niissä olevan veden jäätymistä. Vesi reagoi lämpötilanmuutoksiin muita nesteitä hitaammin. Näin ollen vedestä on poistettava valtava määrä energiaa, jotta se jäätyisi, ja päinvastoin on tuotava valtava määrä energiaa, jotta se sulaisi. (Dahlgren 1997, 21.)

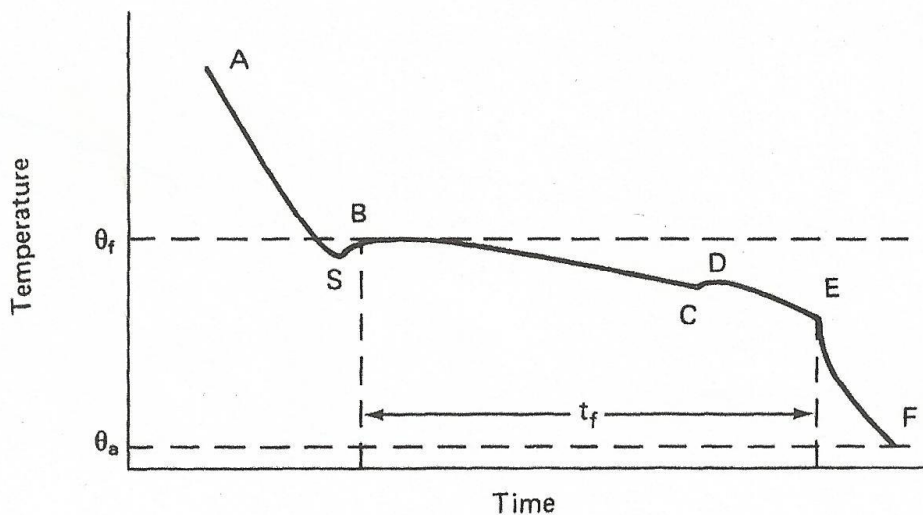
Vaikka veden tiedetään jäätyvän, kun lämpötila on 0 °C, elintarvikkeiden pakastumiseen vaikuttaa niiden koostumus. Veteen liuenneet aineet vaikuttavat sen jäätympisteeseen alentamalla sitä. Tuotteessa olevat hiilihydraatit, suolat ja muut komponentit vaikuttavat sen jäätyiskäyttäytymiseen. Taulukossa 3 on esitetty erilaisten elintarvikkeiden vesipitoisuudet sekä niiden jäätympisteet. (Fellows 2009, 651.)

**Taulukko 3 Elintarvikkeiden vesipitoisuuksia ja jäätymispisteitä  
(Fellows, P.J. 2009. s.651)**

Elintarvike	Vesipitoisuus (%)	Jäätymispiste (°C)
Kasvikset	78-92	-0,8 - (-2,8)
Hedelmät	87-95	-0,9 - (-2,8)
Liha	55-70	-1,7 - (-2,2)
Kala	65-81	-0,6 - (-2,0)
Maito	87	-0,5
Kananmuna	74	-0,5

#### 4.4 Pakastumisen eteneminen tuotteessa

Kuvassa 2 on esitetty pakastumisen eteneminen tuotteen keskimmaisessä osassa, jossa pakastuminen on myös kaikkein hitainta. Myöhemmin esitetyt tutkimustulokset on esitetty samanlaisella kuvaajalla. Kuvan 2 eri vaiheet on selitetty alempana.



**Kuva 2 Pakastumisen eteneminen tuotteen keskellä aika-lämpötilakuvaajana (Fellows, 2009. 653.)**

Kohdassa A-S tuotteen lämpötila on alle sen ensimmäisen jäätymispisteen, joka on merkitty  $\theta_f$ :ksi. Kohdassa S vesi pysyy vielä nestemäisenä, vaikka lämpötila on alle sen

jäätymispisteen. Tätä ilmiötä kutsutaan ”alijäähtymiseksi” ja sen pituus riippuu elintarvikkeesta. (Fellows 2009, 653.)

Kohdassa S-B lämpötila nousee nopeasti takaisin jäätymispisteeseen, koska jääkiteiden muodostuminen alkaa ja kiteytymisen latenttilämpö vapautuu. (Fellows 2009, 653.)

Kohdassa B-C tuotteesta poistuu lämpöä samalla nopeudella kuin aiemmin, mutta se on jääkiteiden muodostuessa poistuvaa latenttilämpöä. Tässä kohtaa lämpötila pysyttelee jäätymispisteen lähellä. Jäätymispiste laskee asteittain, kun jäätymättömässä vedessä on entistä suurempi pitoisuus liuenneita aineita. Jään muodostuessa tuotteeseen laskee lämpötila hitaasti. Suurin osa jäästä muodostuu, kun jääkiteiden pysyvät ytimet muodostuvat ja jatkavat kasvuaan. (Fellows 2009, 653.)

Kohdassa C-D osa liuenneista aineista kiteytyy ja siitä vapautuu latenttilämpöä. Tämän seurauksena lämpötila nousee hetkellisesti hieman. (Fellows 2009, 653.)

D-E-kohdassa veden ja liuenneiden aineiden kiteytyminen jatkuu. Jäätymisen kokonaisaika ( $t_f$ ) riippuu nopeudesta, jolla vesi muuttuu nestemäisestä kiteytyneeksi, ja lämpötilasta, jossa kiteytyminen tapahtuu. Jäävesiseoksen lämpötila laskee lopulta pakastimen lämpötilaan. Osa vedestä säilyy jäätymättömänä lämpötiloissa, joita käytetään yleensä pakastusprosessissa. Jäätymättömän veden määrä riippuu elintarvikkeen koostumuksesta sekä varaston lämpötilasta. (Fellows 2009, 653.)

Jos pakastamista jatketaan pidemmälle, kohdassa E-F jään muodostuminen jatkuu kunnes kaikki mahdollinen vesi on jäänyt. Lämpötila laskee tässä vaiheessa, koska lämpöä poistuu jäästä. (Fellows 2009, 653.)



## 5 Jäähdytys- ja pakastusmenetelmiä

### 5.1 Jäähdytysmenetelmiä

#### 5.1.1 Jäähdytys keittopadassa

Joskus elintarvike on mahdollista jäähdyttää keittopadassa, jossa se on valmistettu. Vesijohtoveden avulla jäähdyttäminen padassa onnistuu noin 20 °C:seen, jonka jälkeen jäähdytystä on jatkettava muilla keinoin. Joidenkin valmistajien padoissa on mahdollista käyttää kylmäputkea tai jäähdytettyä melaa, joka ovat kosketuksessa suoraan tuotteeseen. (Saarela ym. 2010, 337.)

#### 5.1.2 Jäähdytyskaapit

Erilaisiin tarkoituksiin ja erilaisille tuotteille on helppoa tilata juuri sellainen ja sen kokoinen jäähdytyskaappi kuin on tarpeellista. Sarjatuotannossa olevat kaapit ovat kuitenkin edullisempia kuin tilaustyönä tehdyt. (Saarela ym. 2010, 339.)

#### 5.1.3 Spiraalijäähdyttimet

Spiraalijäähdyttimeksi kutsutaan huonetta, jossa kulkee spiraalin mallinen kuljetin. Jäähdytysaika säädelään spiraalin hihnan pituudella sekä nopeudella. Kyseinen tekniikka on järkevä, jos jäähdytettäviä tuotteita on paljon ja jäähdytystarve on jokapäiväistä. (Saarela ym. 2010, 339.)

#### 5.1.4 Uppojäähdyttimet

Uppojäähdytin on allas, joka sisältää kylmää vettä tai veden ja glykolin seosta. Siinä on usein myös kierrätyspumppu. Jäähdytys on tehokasta, koska se perustuu veden suureen lämpökapasiteettiin sekä lämmönjohtavuuteen. Tämä menetelmä soveltuu kuitenkin vain pussitetuille tuotteille. (Saarela ym. 2010, 339.)

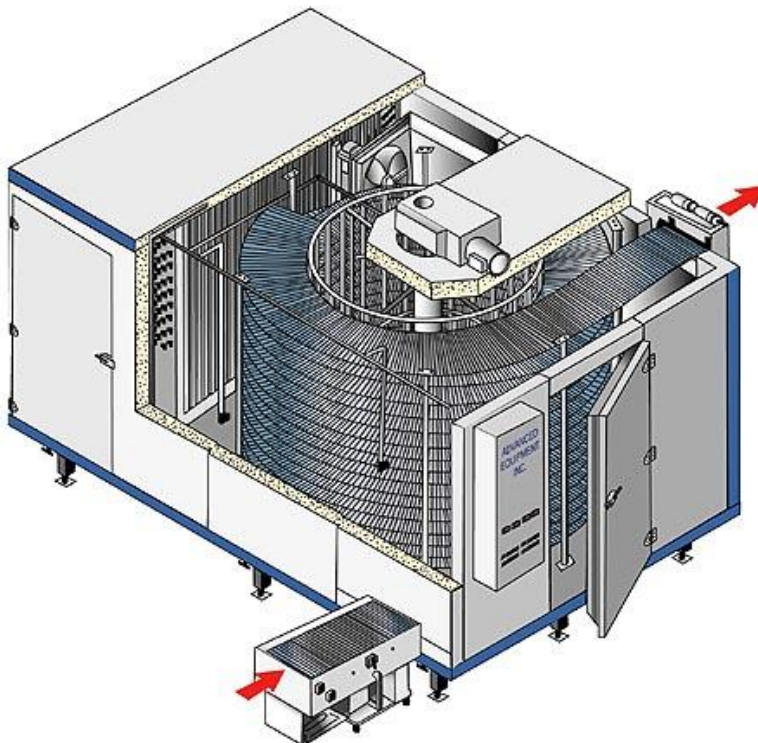
## 5.2 Pakastusmenetelmiä

### 5.2.1 Pakastaminen ilmalla

Pakastinarkuissa tai -kaapeissa pakastaminen ilmalla tapahtuu käyttämällä paikallaan pysyvää ilmaa, jonka lämpötila on  $-20\dots-30^{\circ}\text{C}$ . Ilmalla pakastaminen tällä tavoin vaatii yleensä pitkän pakastusajan, joten se ei ole kovinkaan tehokas kaupalliseen käyttöön. Tämä menetelmä sopii hyvin, kun kyseessä on yksittäinen tuote-erä. (Fellows 2009, 661.)

Toinen vaihtoehto ilmalla pakastamiseen on puhallusilma, jossa tuotteisiin puhalletaan ilmaa, jonka lämpötila on  $-30\dots-50^{\circ}\text{C}$ . Tuotteet on tässä menetelmässä järjestetty huoneisiin tai ne kuljetetaan huoneen läpi. Ilma huoneessa voi kulkea joko samansuuntaisesti tai kohtisuoraan pakastettavien tuotteiden kanssa. (Fellows 2009, 662.)

Kuvassa 3 on esimerkki pakastuspiraalista, jollaisia käytetään myös yrityksessä, jossa kyseinen tutkimus on tehty. Huoneen reunoilla on puhaltimet, jotka puhaltavat kylmää ilmaa huoneeseen, jossa tuotteet kiertävät spiraalin muotoisella hihnalla. Huoneen lämpötilaa voidaan säätää puhallusasetuksia muuttamalla.



Kuva 3: Spiraalijäähdytin ([http://www.advancedfreezer.com/spiral\\_packaged.html](http://www.advancedfreezer.com/spiral_packaged.html))

Ilmapuhalluksella pakastaminen on suhteellisen edullinen ratkaisu ja sen avulla voidaan pakastaa monia erilaisia tuotteita. Puhalletulla ilmalla pakastaminen voi kuitenkin aiheuttaa pakkaamattomiin tuotteisiin esimerkiksi kuivumisvaurioita tai pakkaspoltetta, koska se poistaa tuotteista kosteutta. (Fellows 2009, 662.)

### 5.2.2 Levypakastus

Levypakastin koostuu pysty- tai vaakasuunnassa olevista levyistä, jotka on valmistettu alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä. Levyjen väliin jää ontto tila, johon pumpataan jäähdytysainetta. Jäähdytysaine höyrystyy laitteen sisällä ja imee itseensä lämpöä, jolloin laitteen sisälle muodostuu neste-kaasuseos. Pakastimen lämpötila on  $-30$  -  $-50$  °C. Pakastus voidaan suorittaa erissä tai osittain jatkuvana prosessina. Tämä menetelmä soveltuu hyvin tasaisille ja suhteellisen ohuille tuotteille, esimerkiksi kalapaloille. (Fellows 2009, 665.)

### 5.2.3 Pakastaminen nesteellä

Nesteellä pakastamista kutsutaan myös uppopakastamiseksi. Tässä menetelmässä pakattu ruoka kuljetetaan jäähdytysnestettä sisältävän rei'itetyn säiliön läpi. Nesteen lämpötila on  $0$  -  $-55$  °C. (Fellows 2009, 664-665.)

### 5.2.4 Kryogeeninen pakastus

Kryogeenisessä pakastamisessa pakastamiseen käytetään nestemäisiä kaasuja, esimerkiksi typpeä ja hiilidioksidia. Nestemäinen typpi kiehuu lämpötilassa  $-196$  °C. Kun typpi kiehuu eli lämpiää, se sitoo lämpöä eli luovuttaa kylmää. Typpi on hyvä elintarvikkeiden pakastamiseen, koska se on mautonta ja hajutonta, eikä se sisällä myrkkijä ja on lisäksi inerttiä. Nestemäisen typen avulla elintarvikkeiden pakastaminen on nopeaa ja tehokasta. Käytännössä pakastaminen tapahtuu suihkuttamalla elintarvikkeiden pintaan nestemäistä typpeä. (Saarela ym. 2010, 283)

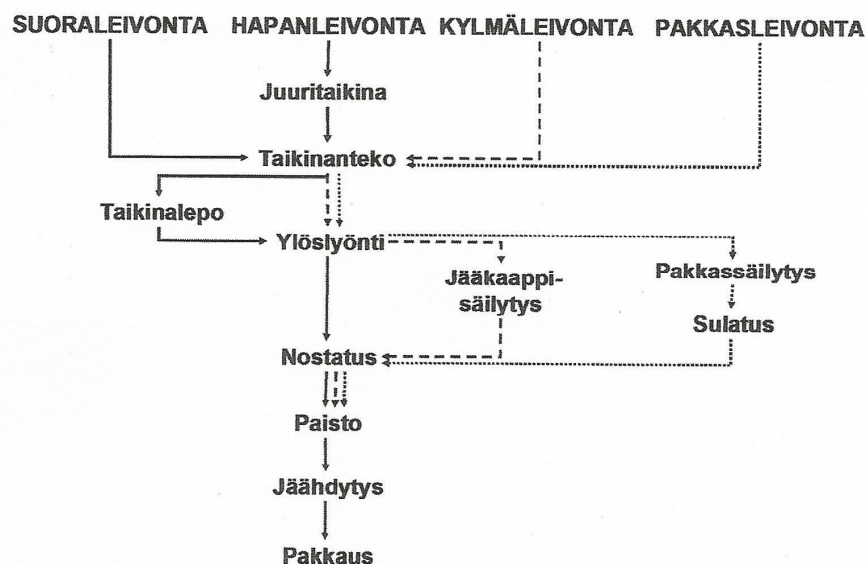
Kyseinen menetelmä on yksinkertainen, koska laitteet ovat helppokäyttöisiä, toimintavarmoja ja joustavia sekä helposti puhdistettavissa. Nestetyypilaitteissa tarvitaan vain

lämpötilan tunnistuslaite, jolla säädellään typen suihkutusta pakastustilaan. Lisäksi menetelmä vaatii tehokkaita tuulettimia, jotka ohjaavat tehokkaasti typen kiertoa. Parhaiten kryogeeninen pakastus soveltuu tilanteisiin, joissa pakastettavien tuotteiden määrä on melko pieni, mutta suhteellisen tasainen ympäri vuoden. (Saarela ym. 2010, 283)

## 6 Leipomotuotteet

### 6.1 Leipomotuotteiden valmistusprosessi

Yleisesti leivontaprosessit jaetaan kolmeen pääprosessiin, joita ovat suoraleivonta, kylmäleivonta sekä pakkasleivonta. Suoraleivonnassa, johon lasketaan myös hapanleivonta, tuotteet leivotaan valmiiksi ilman väli-varastointia. Kylmäleivonnassa valmiit taikina-aihiot säilytetään hetken kylmässä ennen niiden nostatusta ja paistoa. Pakkasleivonnassa kylmä taikina muotoillaan aihioiksi, jotka pakastetaan ja varastoidaan pakastettuina, jonka jälkeen ne sulatetaan, nostatetaan ja paistetaan. (Saarela ym. 2010, 124)



Kuva 4 Kaavio erilaisten leivontaprosessien vaiheista (Saarela ym. 2010, 127)

Kuvassa 4 on esitetty kaavio erilaisten leivontaprosessien etenemisestä. Jokainen prosessi sisältää perustavaiheet, joita ovat taikinanteko, ylöslyönti, nostatus, paisto, jäähdytys ja pakkaus.

Taikinanteko aloitetaan mittaamalla aineet ja sekoittamalla niitä ensin hitaalla vaihteella ja tämän jälkeen nopealla vaihteella. Taikinan sekoittamisella ja vaivaamisella pyritään saamaan taikinalle optimaalinen rakenne. Vaivauksen aikana raaka-aineet sekoittuvat ja jauhopartikkelit vettyvät. Tästä seuraa jauhon proteiinien turpoaminen ja sitkon muodostuminen taikinaan. Vaivauksen aikana taikinaan muodostuu myös pieniä ilmakuplia, jotka ovat alkioina hiivan aiheuttamalle kaasunmuodostukselle. Onnistuneen taikinan ominaisuuksia ovat huokoinen rakenne, riittävä nostatusvoima sekä hyvä kaasunpidätyskyky. (Saarela ym. 2010, 124-125)

Ylöslyöntiin kuuluu monia yksittäisiä vaiheita, joissa taikina muokataan valmiiksi nostatusta varten. Kyseinen vaihe alkaa taikinan paloittelulla oikean kokoisiksi paloiksi, jotka pyörö- ja/tai pitkäriivataan haluttuun muotoon. Ylöslyönnin aikana taikina myös sekoituu uudestaan. Riivauksen aikana taikinasta poistuu isoja kaasukuplia. Samalla sitkosäikeet järjestäytyvät uudelleen. Taikinassa olleet kaasukuplat jakautuvat pienemmiksi kupliksi. Ylöslyönnin aikana taikinan rakenne tasoittuu ja hiivasolujen luokse siirtyy enemmän ravinteita. Etenkin isoissa leipomoissa ylöslyönnin laitteet on liitetty linjastoksi, jossa taikinapalat siirtyvät laitteesta toiseen kuljetusratoja pitkin. (Saarela ym. 2010, 125)

Nostatus on vaihe, jossa taikinan tilavuus kasvaa hiivan tuottaman hiilidioksidin ansiosta. Hiivan toiminta alkaa jo taikinasekoituksen aikana. Hiivasolut ovat hajautuneina taikinan vesifaasissa. Taikinan nostatus alkaa, kun hiivan tuottama kaasua kyllästyttää taikinan vesifaasin hiilidioksidilla, minkä jälkeen hiilidioksidi sekoittuu pieniin ilmakupliin, jotka ovat taikinan sekoituksen aikana sitoutuneet siihen. Kaasun tuottonopeus kasvaa nostatuksen edetessä. Lämpötilan kohoaminen nostaa hiivan kaasuntuottonopeutta, kunnes lämpötila saavuttaa sen optimin, joka on 35-38 °C. (Saarela ym. 2010, 126)

Paisto on varsinaisen leivontaprosessin viimeinen vaihe. Sen aikana leivonnainen saavuttaa lopullisen rakenteensa, kun sen sisältämät proteiinit denaturoituvat ja jähmettyvät. Taikinan sisältämä tärkkelys sitoo proteiinien luovuttaman veden ja turpooa ja liisteröityy. Näin tärkkelys muodostaa leivälle kuohkean rakenteen. Paiston alussa tapahtuva höyrytys edistää lämmön siirtymistä taikinan sisukseen ja tekee leivän pinnasta venyvämmän. Paiston aikana taikinassa olevat sokerit ja aminohapot reagoivat keskenään muodostaen väri- ja makuaineita, jotka antavat leivonnaiselle sen lopullisen ulkonäön ja maun. Uuninousu on paistamisen aikana tapahtuvaa tilavuuden kasvua, joka

voi olla jopa kolmanneksen luokkaa koko tuotteen pinta-alasta. Uuninousu on lähinnä kaasun, etanolin ja veden tilavuuden kasvua tuotteessa. (Saarela ym. 2010, 126)

## 6.2 Leivonnaispakasteet

### 6.2.1 Yleistä leivonnaispakasteista

Leivonnaispakasteiden kysyntä on kasvanut huomattavasti viime aikoina. Ihmiset haluavat tuoretta leipää ajasta ja paikasta riippumatta, joten helpoin tapa saada sitä on paistaa esivalmiita pakastettuja tuotteita omassa kotiuunissa. Lisäksi esimerkiksi kauppojen, ravintoloiden ja huoltoasemien on helpompi tarjota tuoreita leivonnaisia, kun tuotteet on paistettu paikan päällä valmiista pakastetuista aihioista. Nämä tuotteet on myös helppo koristella ja mahdollisesti täyttää haluamallaan tavalla. Myös kypsennyksen jälkeen pakastettujen leipomotuotteiden kysyntä on kasvanut viime aikoina. Tällä tavoin on mahdollista tarjota tuoreita leivonnaisia vain sulattamalla valmiit tuotteet. Tämä käytäntö on toimiva esimerkiksi pienemmissä kaupoissa, joissa ei ole tilaa paistopisteelle, mutta halutaan silti tarjota houkuttelevia tuoreita tuotteita asiakkaalle. Tällaisessa tapauksessa prosessi etenee normaalin leivonnan mukaisesti tuotteen paistoon asti, jonka jälkeen tuote pakkaamisen sijaan pakastetaan ja pakataan vasta tämän jälkeen.

### 6.2.2 Pakkasleivonta

Taikinan jäätyminen on veden jäätymistä taikinassa. Koska taikinanesteeseen liuenneet aineet alentavat jäätymlämpötilaa, tapahtuu jäätyminen alle 0 °C:ssa. Pakkasleivonnassa taikinan lämpötila on mahdollisimman alhainen ja taikinalepo on käytännössä olematon. Hiivan määrä taikinassa on tärkeä, koska sen on nostatettava tuote vielä pakastuksen jälkeenkin. Toisaalta hiivan määrä ei taas saa olla niin suuri, että hiiva alkaisi toimia taikina-aihoita muokattaessa. Tuotteen rakenne säilyy parhaiten, kun pakastus suoritetaan nopeasti, jolloin muodostuvat jääkiteet jäävät pieniksi. Pakkasleivonnassa pakastumisen optiminopeus on noin 1 cm/tunti, kunnes taikinan sisus saavuttaa -15 °C:n lämpötilan. Lämpötila pyritään pitämään mahdollisimman tasaisena, koska nopeat lämpötilamuutokset kasvattavat jääkiteiden kokoa tuotteessa. Pakkasleivontaan parhaiten soveltuvat paljon sokeria ja rasvaa sisältävät leivonnaiset, kuten

pasteijat ja viinerit. Taikina-aihiot tulee sulattaa mahdollisimman hitaasti, jotta pinnan ja sisuksen välille ei synny suuria lämpötilaeroja. (Saarela ym. 2010, 129-130)

## 7 Tutkimus tuotteiden pakastumisesta

### 7.1 Mittausten suoritus

Kaikki mittaukset suoritettiin normaalin tuotannon ollessa käynnissä, jotta mittausolosuhteet vastasivat mahdollisimman hyvin tuotteiden normaaleja olosuhteita prosessin aikana. Tästä syystä myöskään mittausaikatauluun ei ollut mahdollista vaikuttaa.

Tuotteiden sisälämpötilaa tutkittiin lämpötilaloggereilla, joiden anturit asetettiin tuotteen sisälle. Käytössä olleet loggerit olivat Tinytalk (Part No: TK-0027), Tinytalk II (Part No: 9904-0023) ja Tinytag / Talk 2 (TK-4023). Jokaisen loggerin mittausalue oli  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ...  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Loggerit mittasivat tuotteen lämpötilaa halutun ajan välein. Mittauksista saatu data siirrettiin tietokoneelle ja kopioitiin tulokset MS Excelliin, jotta niiden käsittely ja tutkiminen oli helpompaa.

Tuotteita pyrittiin käsittelemään mahdollisimman vähän ja mahdollisimman nopeasti, jotta välttyttiin lämpötilan nousuilta käsittelyvaiheessa.



Kuva 5 Numeroitu lämpötilaloggeri

Loggerien anturit asetettiin mahdollisimman keskelle tuotetta, jotta ne olisivat siinä kohdassa, jonka pakastuminen on kaikkein hitainta. Ennen mittausten aloittamista loggerit merkittiin numeroin (kuva 5), jotta mittauksen jälkeen pystyttiin havaitsemaan, mihin kohtaan linjaa kukin tuote ja loggeri oli asetettu. Lisäksi tämä helpotti tunnistamaan epäonnistuneiden mittausten datat muista mittauksista.

### 7.1.1 Tuote A

Tuote A on kypsennetty, lihaa sisältävä tuote, jonka pakastamisessa oli ilmennyt ongelmia. Tuotteen pakastumista tutkittiin kahdella erilaisella kokeella. Ensimmäisessä kokeessa selvitettiin, kuinka kauan pakastuminen todellisuudessa kestää pakastusspiraalissa, eli laitettiin tuote uudestaan spiraaliin useita kertoja peräkkäin ja katsottiin, kuinka kauan sen pakastuminen vaadittuun lämpötilaan vie aikaa.

Toisessa kokeessa tuotteen todellinen pakastumisaika pakkasvarastossa tutkittiin laittamalla loggeri kiinni tuotteeseen normaalisti ennen tuotteen pakastusspiraaliin menoa. Tuotteen annettiin kiertää pakastusspiraalissa noin 35 minuuttia, jonka jälkeen se laitettiin pakkauslaatikkoon ja laatikko kuljetuslavalle muiden lavojen joukkoon pakkasvarastoon. Kokeissa pyrittiin huomioimaan, että tilanne muistuttaisi mahdollisimman paljon normaalia tilannetta varastossa. Lisäksi pakkaus, joka sisälsi tutkittavan tuotteen, merkittiin huolellisesti, ettei se joutuisi vahingossa asiakkaalle. Tuotteiden annettiin olla pakkasvarastossa useampi vuorokausi ja mittauksia jatkettiin, kunnes tuote saavutti halutun lämpötilan.

Muiden tuotteiden lämpenemistä Tuote A:n vaikutuksesta tutkittiin laittamalla loggerit kiinni toiseen tuotteeseen ja pakkaamalla nämä tuotteet normaalin käytännön mukaisesti pakkauslaatikoihin kuljetuslavalle ja asettamalla kyseinen lava varastoon siten, että joka puolella sen ympärillä oli tuotetta A sisältäviä lavoja. Mittauksia jatkettiin yli kaksi vuorokautta.

### 7.1.2 Tuote B

Tuote B on osittain kypsennetty tuote, jonka pakastumisessa ei ollut havaittuja ongelmia, mutta sen pakastumisaika haluttiin optimoida sopivaksi, jottei tuotteen pakastamiseen käytettäisi liikaa aikaa. Tuotetta B valmistettiin kahdessa koossa. Mittaukset on



suoritettu molemmista kokovaihtoehdoista asettamalla loggerit kiinni tuotteisiin ennen pakastusspiraalia ja antamalla tuotteiden kiertää spiraalissa normaalien tuotanto-olosuhteiden mukaisesti muiden samanlaisten tuotteiden joukossa.

Tuote B on myös sama, jonka lämpötilaa seurattiin tutkittaessa tuotteen A pakastumista pakkasvarastossa.

### 7.1.3 Tuote C

Tuote C on kypsentämätön tuote, joka sisältää lihaa. Sen pakastamisessa ei ollut havaittu ongelmia, mutta tuotteen sisältämän lihan takia haluttiin varmistua pakastuksen riittävydestä. Tutkimuksessa selvitettiin tuotteen pakastumisaika pakastusspiraalissa normaaleissa tuotanto-olosuhteissa. Mitattavaan tuotteeseen asetettiin lämpötilaloggeri ennen pakastusspiraalia ja loggeri otettiin irti spiraalikierron jälkeen datan keräystä varten.

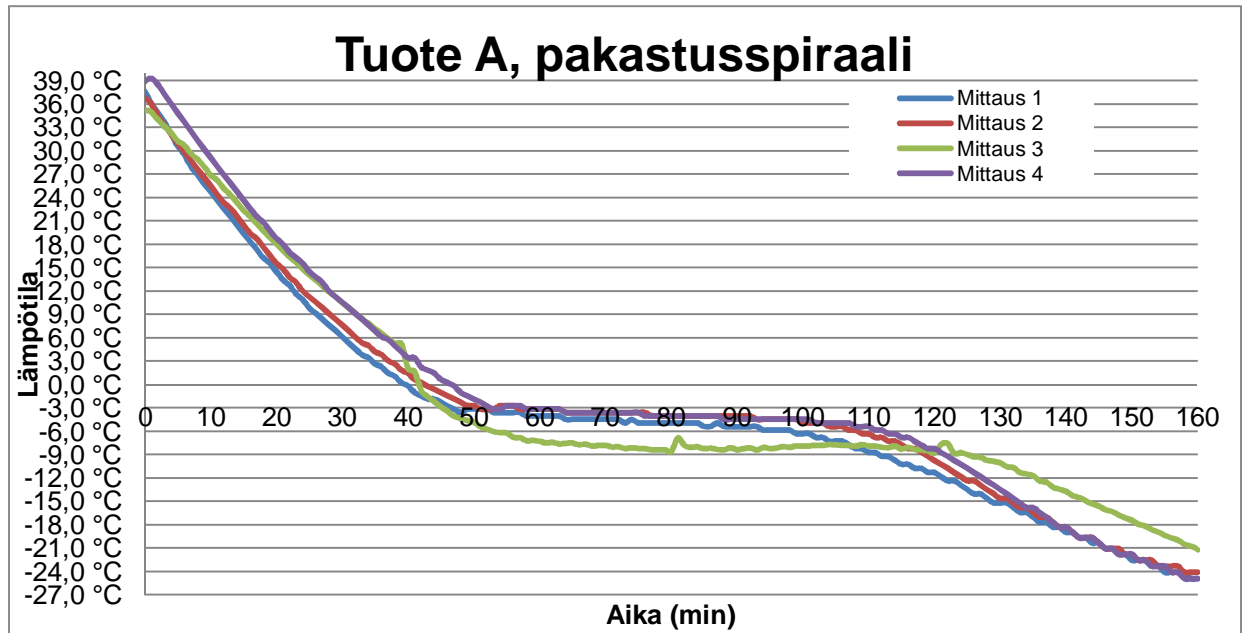
## 7.2 Mittaustulokset

Mittaustuloksiin on kerätty dataa onnistuneista mittauksista, jotka on suoritettu eri tuotte-erille. Tulokset on esitetty aika-lämpötilakuvaajalla.

### 7.2.1 Tuote A

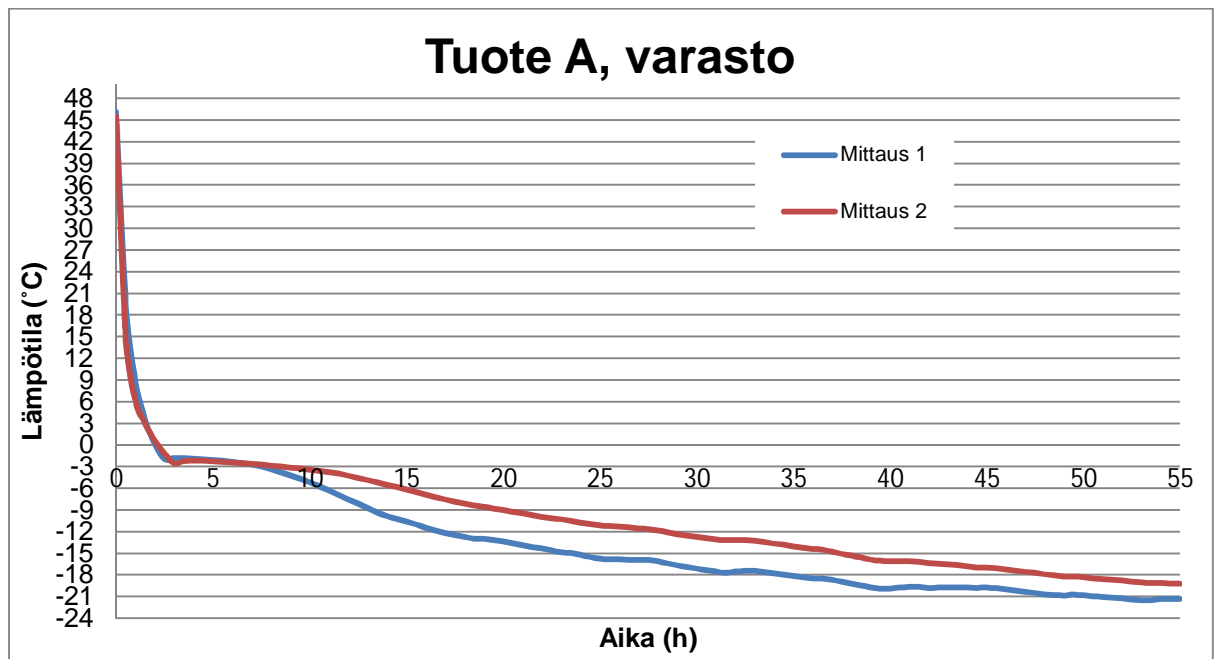
Tuotteen A:n pakastuminen pakastusspiraalissa on esitetty kuvassa 6. Kuvasta voidaan todeta, että tuotteen sisälämpötila saavuttaa spiraalipakastuksen aikana  $-15\text{ °C}$  ajanhetkellä 129-144 minuuttia ja  $-18\text{ °C}$  ajanhetkellä 138-152 minuuttia.

Tuotteen lämpötila pysyy hieman alle nollan asteen lähes tunnin ajan. Tätä vaihetta ei voida nopeuttaa, koska se on kyseiselle tuotteelle tyypillinen kiteytymisaika. Kiteytymisajan kestoon vaikuttaa tuotteen rakenne ja sen sisältämät yhdisteet.



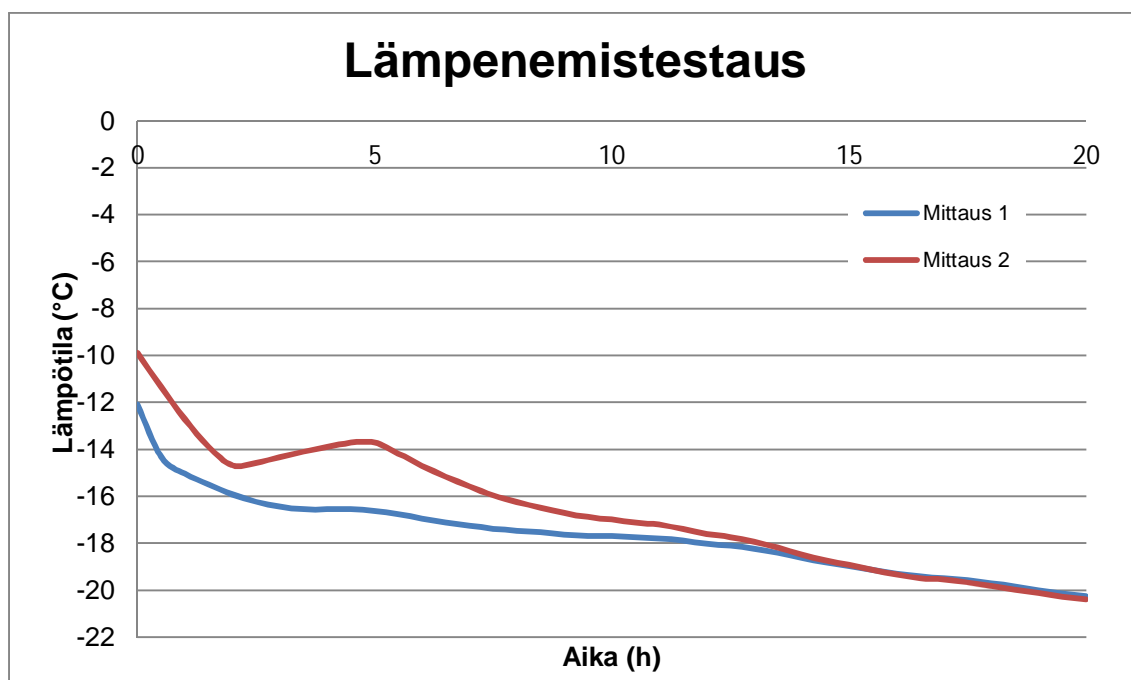
Kuva 6: Tuotteen A pakastuminen pakastusspiraalissa

Kuvassa 7 on esitetty tuotteen A pakastumista varasto-olosuhteissa. Loggerilliset tuotteet on lisätty kuljetuslavan yläkulmassa olleeseen laatikkoon. Kuvasta 6 nähdään, että tuotteen pakastuminen  $-15\text{ °C}$ :n lämpötilaan vie 24-37,5 tuntia ja  $-18\text{ °C}$ :n lämpötilan saavuttaminen kestää 35-48,5 tuntia. Kuljetuslavan sisemmissä osissa olevat tuotteet pakastuvat luultavasti hitaammin.



Kuva 7: Tuotteen A pakastuminen pakkasvarastossa

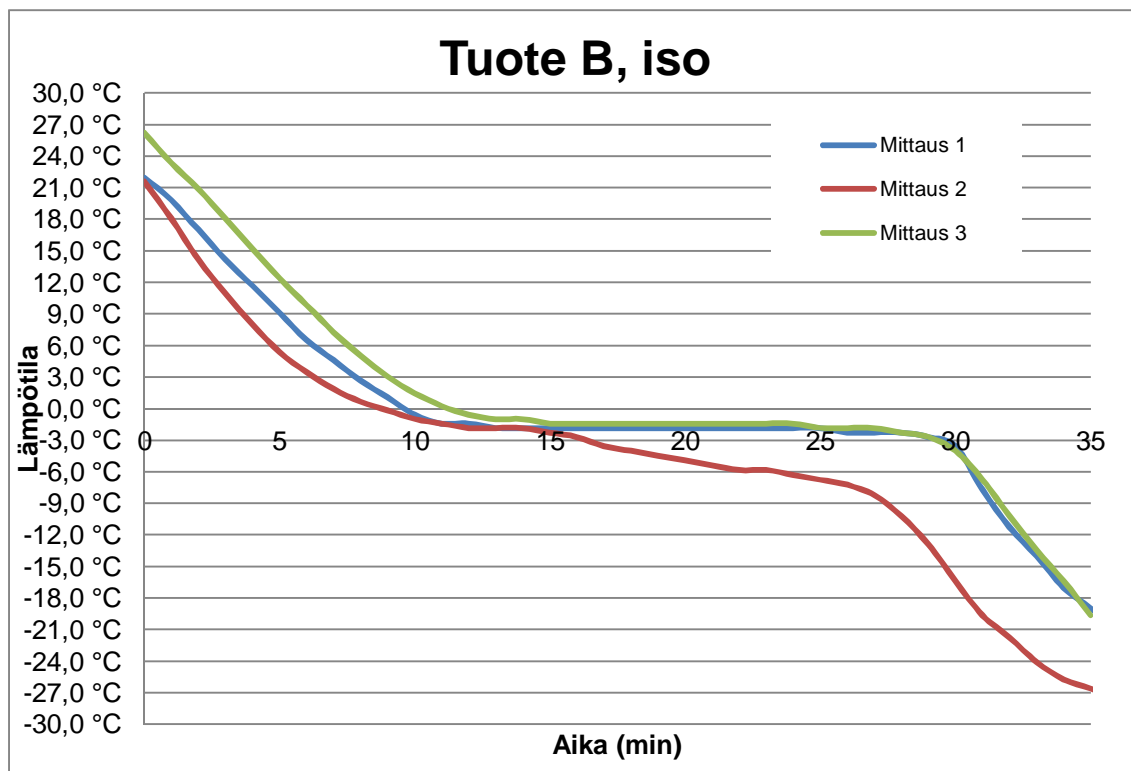
Kuvassa 8 on esitetty toisen tuotteen lämpötilamittauksen tulokset, kun tuotelava on asetettu tuotetta A sisältävien lavojen keskelle. Tuotteet on viety varastoon ajanhetkellä 0 minuuttia. Mitatut tuotteet olivat ehtineet lämmitä hieman käsittelyn aikana ennen tuotteiden sijoittamista varastoon. Kuten kuvasta näkyy, tuotteissa ei tapahdu merkittävää lämpenemistä, vaikka lavan ympärillä on tuotetta A sisältäviä lavoja, joita pakastetaan samassa tilassa.



**Kuva 8: Toisen tuotteen lämpötila Tuotteen A vieressä pakkasvarastossa**

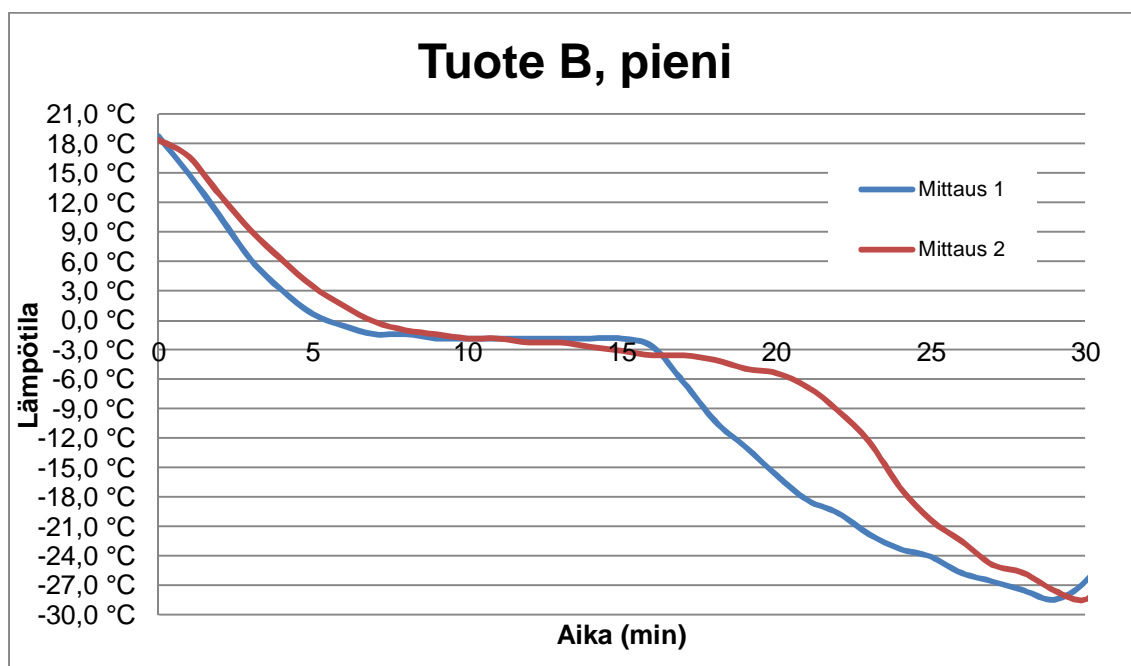
### 7.2.2 Tuote B

Kuvasta 9 nähdään, että tuote B (isompi koko) saavuttaa  $-15\text{ °C}$ :n lämpötilan 30-34 minuutin kohdalla ja  $-18\text{ °C}$ :n lämpötilan 31-35 minuutin kohdalla. Kiteytymisaika kyseiselle tuotteelle on noin 20 minuuttia, jonka jälkeen loppu pakastuminen tapahtuu nopeasti.



Kuva 9: Tuote B:n (isompi koko) pakastuminen pakastusspiraalissa

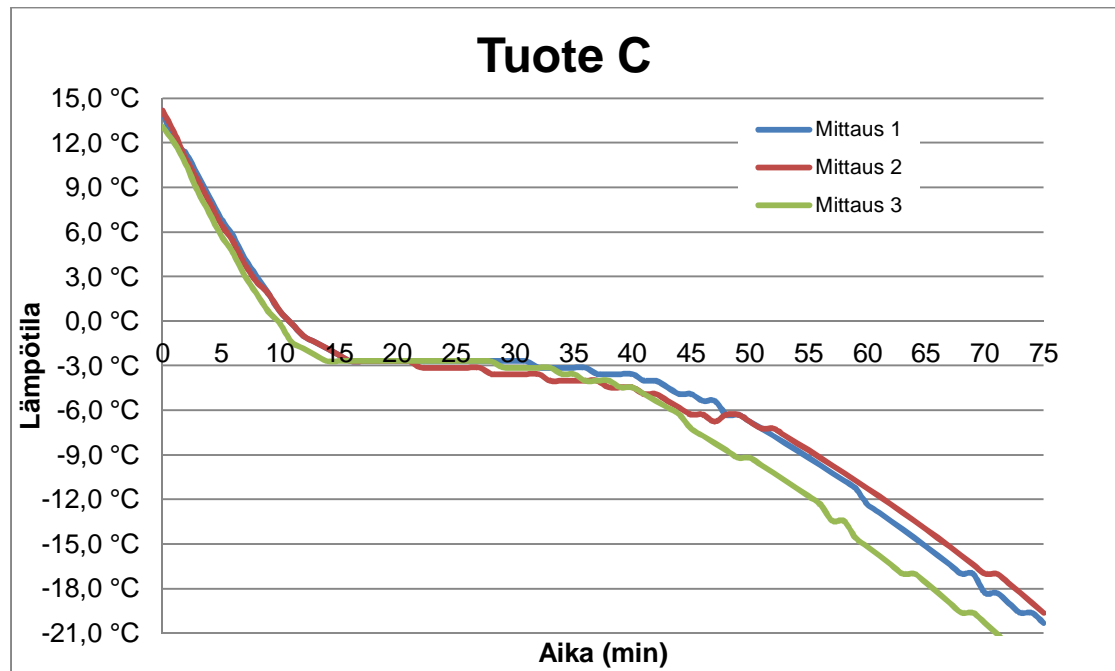
Kuvassa 10 on esitetty tuote B:n pienemmän koon pakastumista pakastusspiraalissa. Tuotteen sisälämpötila saavuttaa  $-15\text{ °C}$ :n lämpötilan ajanhetkellä 20-24 minuuttia ja  $-18\text{ °C}$ :n lämpötilan 21-25 minuutin kohdalla. Mittauksista nähdään, että tuotteelle tyypillinen kiteytymisaika on noin 10 minuuttia.



Kuva 10: Tuote B:n (pienempi koko) pakastuminen pakastusspiraalissa

### 7.2.3 Tuote C

Kuvassa 11 on esitetty tuotteen C pakastumista pakastusspiraalissa normaaleissa tuotanto-olosuhteissa. Kuvasta nähdään, että tuotteen lämpötila on  $-15\text{ °C}$  60-67 minuutin kohdalla ja  $-18\text{ °C}$  66-74 minuutin kohdalla. Tämän tuotteen kohdalla kiteytymisaika on noin 24 minuuttia.



Kuva 11: Tuote C:n pakastuminen pakastusspiraalissa

## 8 Tulosten tarkastelu

Tuotteen A pakastaminen loppuun pakkasvarastossa on kokeiden perusteella järkevin ratkaisu, koska siitä ei ole haittaa muille varastossa oleville tuotteille, mutta se nopeuttaa prosessin toimintaa tuotantopuolella.

Lisäksi tuotteen annettaessa pakastua loppuun asti pakastuspiraalissa sen rakennominaisuuksien huomattiin kärsivän liiallisen kuivumisen seurauksena.

Tutkimuksen tuloksena päätettiin pakkasvarastoon rakentaa erillinen tila tuotteille, jotka eivät ole vielä pakastuneet täysin. Näin voidaan välttyä mahdollisilta sekaannuksilta, joissa asiakkaalle pääsisi liian lämmintä tuotetta. Lisäksi varmistetaan, ettei tuotteiden loppuun pakastamisella varastossa ole vaikutusta muihin tuotteisiin. Myös lainsäädäntö vaatii erillisen tilan tuotteiden pakastamista ja säilytystä varten. (Pakasteasetus. 1994.)

Tuote B:tä tutkittaessa havaittiin, että pienempi tuote näyttäisi pakastuvan nopeammin kuin isompi vastaava, mutta molemmat pakastuvat hyvin normaaleissa tuotanto-olosuhteissa, joten tuotteen takia pakastuskäytäntöihin ei ole välttämätöntä tehdä muutoksia. Koska tuotteen pakastumisessa ei todettu ongelmia ja ajan huomattiin olevan riittävä, voidaan tuotteen valmistusprosessia jopa hieman nopeuttaa, mikäli tällainen koetaan tarpeelliseksi ja mikäli se muilta osin on mahdollista.

Tuote C saavuttaa vaaditun lämpötilan normaaleissa tuotanto-olosuhteissa, joten tuotteen pakastusprosessiin ei ole tarpeellista tehdä muutoksia.

Tuote A:n mittauksia suoritettaessa antureiden asettaminen tuotteen keskelle oli hankalaa, joten suuri osa mittauksista epäonnistui tämän takia.

Tuotteen B mittauksissa loggerit irtosivat tuotteesta usein spiraalissa, joten epäonnistuneita mittauksia oli paljon myös tämän tuotteen kohdalla.

Erot mittaustuloksissa johtuvat luultavasti anturin sijainnista tuotteessa. Yksikään tuotteista ei ole homogeeninen, joten ei voida olla aivan varmoja, minkä kohdan kanssa anturi on ollut kosketuksessa tuotteen sisällä.

Kaikki mittaukset on suoritettu normaalin tuotannon ollessa käynnissä, joten mahdolliset muutokset ajo-ohjelmissa tai mahdolliset häiriöt prosessissa ovat saattaneet aiheuttaa muutoksia mittaussuunnitelmiin. Tästä syystä läheskään kaikki suunnitellut mittaukset eivät onnistuneet.

Lisäksi kaikki loggerit eivät olleet täysin samanlaisia, joten myös tämä on voinut aiheuttaa mahdollista virhettä tuloksiin. Koska loggerit asetettiin tuotteiden päälle ja mittaukset suoritettiin kesken tuotannon, ovat anturit saattaneet liikkua tuotteiden sisällä mittauksen aikana. Lisäksi osa loggereista irtosi mittauksen aikana, ja tästä syystä suuri osa mittaustuloksista on jäänyt saamatta.

## 9 Yhteenveto

Kyseinen tutkimus suoritettiin suomalaisessa elintarvikeyrityksessä, jossa ongelmana oli erityisesti tiettyjen kypsien tuotteiden pakastusprosessin riittämättömyys pakastuspiraalissa. Pakastusaikaa spiraalissa ei voitu pidentää, koska koko tehtaan tuotantoteho olisi kärsinyt tästä. Ongelmallisten tuotteiden loppupakastuminen tapahtui pakkasvarastossa. Työn tarkoituksena oli selvittää näiden tuotteiden pakastumisaika pakastuspiraalissa ja pakkasvarastossa sekä tutkia, onko tuotteiden loppupakastamisella pakkasvarastossa vaikutusta muihin varastossa säilytettäviin tuotteisiin. Lisäksi haluttiin optimoida pakastusaika myös niille tuotteille, joiden pakastumisessa ei ollut ongelmia.

Tutkimukseen valittiin mahdollisimman erilaisia tuotteita, jotta pystyttiin saamaan laaja käsitys yrityksen pakastusprosessien toiminnasta sekä selvittämään oikea pakastusaika kullekin tuotteelle. Kypsennetyistä tuotteista tutkittiin lähes kaikki ja muita tuotteita tutkittiin pistokoetyyppisesti. Kaikki lihaa sisältävät tuotteet tutkittiin jokaiselta linjalta.

Mittaukset suoritettiin lämpötilaloggereiden avulla asettamalla niiden anturit tuotteiden keskikohtaan, jossa pakastuminen on kaikkein hitainta. Kaikki mittaukset suoritettiin normaalin tuotannon ollessa käynnissä. Muutokset ajoaikatauluissa johtivat siihen, että läheskään kaikki suunnitellut mittaukset eivät onnistuneet. Tuloksiin on myös voinut vaikuttaa anturin paikka tuotteessa. Osassa mittauksista tulos jäi saamatta, koska loggerit irtosivat kesken mittauksen. Myös loggereiden erilaisuus on saattanut aiheuttaa mittauksiin pientä eroavaisuutta.

Tuote A kuului ongelmallisiin tuotteisiin, joten sen pakastuminen tutkittiin sekä spiraalissa että varastossa. Tulosten perusteella tuote A:n pakastaminen pakkasvarastossa todettiin parhaaksi ratkaisuksi prosessin kannalta, koska siitä ei ollut haittaa tuotteelle A eikä muille varastossa samaan aikaan oleville tuotteille. Tuotteen pakastaminen pakkasvarastossa vaatii kuitenkin lainsäädännön mukaan erillisen tilan rakentamisen, koska pakastaminen ja varastoiminen eivät saa tapahtua samassa tilassa.

Tuotteiden B ja C pakastumisessa ei havaittu ongelmia, joten pakastusprosessin muutokset eivät ole välttämättömiä.



## Lähteet

Peltosaari, L. & Raukola, H. 1995. Ruokatalouden ja puhtaanapidon mikrobiologia ja hygienia 3. 10, korjattu painos. Painatuskeskus Oy. Helsinki.

Dahlgren, Ö. 1997. Elintarvikekemia: miten laitan ruokaa ja miksi?. 1. painos. WSOY. Juva.

Pakasteasetus annettu Helsingissä 25 päivänä helmikuuta 1994:

[http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19940165?search\[type\]=pika&search\[pika\]=165/1994](http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19940165?search[type]=pika&search[pika]=165/1994)

Kuva 3: Spiraalijäähdytin. [http://www.advancedfreezer.com/spiral\\_packaged.html](http://www.advancedfreezer.com/spiral_packaged.html).  
Luettu: 19.11.2012.

Mikola, M. 2010. Elintarvike teknologia. Opetusmoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Jaakonsaari, T. 2009. Elintarvikekemia. Opetusmoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Ahvenainen-Rantala, R. 2010. Ilman kylmää ei pärjätä. Kehittyvä elintarvike 5/2010. s. 3.

Inkinen, P. & Tuohi, J. 2011. Momentti 1: Insinöörifysiikka. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Fellows, P.J., 2009. Food processing technology: Principles and practice. Third edition. Cambridge: Woodhead Publishing.

Saarela, A-M., Hyvönen, P., Määttä, S. & von Wright, A. 2010. Elintarvikeprosessit. Kuopio: Suomen graafiset palvelut Oy Ltd

Jouppila, K. 2006. 38 Veden aktiivisuus on oleellinen tekijä elintarvikkeiden säilyvyydelle (www-lähde) <http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/38-veden-aktiivisuus-on-oleellinen-tekija-elintarvikkeiden-sailyvyydelle>, Luettu: 31.10.2012

Lihatiedotusyhdistys ry. (www-lähde)

[http://www.lihatiedotus.fi/www/fi/laatu/kriittiset\\_pisteet/kylmaketju.php](http://www.lihatiedotus.fi/www/fi/laatu/kriittiset_pisteet/kylmaketju.php),

Luettu: 31.10.2012

Elintarviketurvallisuusvirasto. 2010. a. = Elintarvikkeiden jäädyttäminen. (www-dokumentti). Päivitetty 29.9.2010

[http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/elintarvikkeiden\\_hygieeninen\\_kasittely/elintarvikkeiden\\_jaadyttaminen/](http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/elintarvikkeiden_hygieeninen_kasittely/elintarvikkeiden_jaadyttaminen/),

Luettu: 31.10.2012

Elintarviketurvallisuusvirasto. 2010. b. = Elintarvikkeiden jäähdyttäminen. (www-dokumentti). Päivitetty 29.9.2010.

[http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/elintarvikkeiden\\_hygieeninen\\_kasittely/elintarvikkeiden\\_jaahdyttaminen/](http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/elintarvikkeiden_hygieeninen_kasittely/elintarvikkeiden_jaahdyttaminen/) (Luettu: 31.10.2012)

Elintarviketurvallisuusvirasto. 2012. Elintarvikkeiden esikäsittely. Päivitetty 22.05.2012. (www-dokumentti)

[http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/elintarvikkeiden\\_hygieeninen\\_kasittely/elintarvikkeiden\\_esikasittely](http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/elintarvikkeiden_hygieeninen_kasittely/elintarvikkeiden_esikasittely) (Luettu 21.11.2012)

Kometos Oy. Sulatusjärjestelmiä. (www-dokumentti)

[http://www.kometos.com/site?node\\_id=117&language=fi](http://www.kometos.com/site?node_id=117&language=fi)

(Luettu 21.11.2012)

Ruokatieto yhdistys Ry. Säilyvyysajat. (www-dokumentti)

<http://opetus.ruokatieto.fi/WebRoot/1043190/sisaltosivu.aspx?id=1072708>

(Luettu 21.11.2012)

## Esimerkki mittausdatasta

Liitteessä on esitetty esimerkki taulukoidusta mittausdatasta. Kaikki mittausdatat on kerätty samanlaiseen taulukkoon, jonka perusteella on piirretty kuvaajat, joista nähdään pakastusaika- ja lämpötila.

Tässä esimerkissä on mittausdata tuote A:n mittauksesta spiraalissa. Mittaukset on suoritettu siten, että loggeri keräsi dataa yhden minuutin välein. Tässä taulukossa alussa, jossa muutos ei ole niin nopeaa, mittauksia on esitetty viiden minuutin välein. Myöhemmin, kun lähestytään haluttua lämpötilaa, on mittausdata esitetty minuutin välein.

Mittaus 1		Mittaus 2		Mittaus 3		Mittaus 4	
t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)
0	37,7 °C	0	36,9 °C	0	35,3 °C	0	38,9 °C
5	30,7 °C	5	31,1 °C	5	31,3 °C	5	34,9 °C
10	24,8 °C	10	25,5 °C	10	26,9 °C	10	29,2 °C
15	19,5 °C	15	20,6 °C	15	22,4 °C	15	23,7 °C
20	14,5 °C	20	15,6 °C	20	18,1 °C	20	18,8 °C
25	9,9 °C	25	11,3 °C	25	14,1 °C	25	14,5 °C
30	6,2 °C	30	7,7 °C	30	10,5 °C	30	10,6 °C
35	2,7 °C	35	4,3 °C	35	7,2 °C	35	6,9 °C
40	-0,1 °C	40	1,5 °C	40	2,1 °C	40	3,5 °C
45	-2,2 °C	45	-1,0 °C	45	-2,8 °C	45	0,7 °C
50	-3,1 °C	50	-2,7 °C	50	-4,8 °C	50	-1,8 °C
55	-3,5 °C	55	-2,7 °C	55	-6,2 °C	55	-2,7 °C
60	-4,0 °C	60	-3,1 °C	60	-7,2 °C	60	-3,1 °C
65	-4,4 °C	65	-3,5 °C	65	-7,5 °C	65	-3,5 °C
70	-4,4 °C	70	-3,5 °C	70	-7,8 °C	70	-3,5 °C
75	-4,9 °C	75	-3,5 °C	75	-8,2 °C	75	-3,5 °C
80	-4,9 °C	80	-4,0 °C	80	-8,6 °C	80	-4,0 °C
85	-5,3 °C	85	-4,0 °C	85	-8,2 °C	85	-4,0 °C
90	-5,3 °C	90	-4,0 °C	90	-8,3 °C	90	-4,4 °C
95	-5,8 °C	95	-4,4 °C	95	-8,2 °C	95	-4,4 °C
100	-6,3 °C	100	-4,9 °C	100	-7,9 °C	100	-4,4 °C
105	-7,2 °C	105	-5,3 °C	105	-7,7 °C	105	-4,9 °C
110	-8,7 °C	110	-6,3 °C	110	-7,8 °C	110	-5,3 °C
115	-10,2 °C	115	-7,7 °C	115	-8,3 °C	115	-6,7 °C
120	-11,2 °C	120	-9,7 °C	120	-8,8 °C	120	-8,2 °C
125	-13,4 °C	125	-12,3 °C	125	-8,9 °C	125	-10,7 °C
129	<b>-15,2 °C</b>	129	-14,0 °C	129	-9,8 °C	129	-12,9 °C
130	-15,2 °C	130	-14,6 °C	130	-10,0 °C	130	-13,4 °C

131	-15,2 °C	131	-14,6 °C	131	-10,5 °C	131	-14,0 °C
132	-15,8 °C	132	<b>-15,2 °C</b>	132	-10,6 °C	132	-14,6 °C
133	-16,4 °C	133	-15,8 °C	133	-11,3 °C	133	<b>-15,2 °C</b>
134	-16,4 °C	134	-15,8 °C	134	-11,4 °C	134	-15,8 °C
135	-17,0 °C	135	-16,4 °C	135	-11,7 °C	135	-15,8 °C
136	-17,6 °C	136	-17,0 °C	136	-12,3 °C	136	-16,4 °C
137	-17,6 °C	137	-17,0 °C	137	-12,5 °C	137	-17,0 °C
138	<b>-18,3 °C</b>	138	-17,6 °C	138	-13,1 °C	138	-17,6 °C
139	-18,3 °C	139	<b>-18,3 °C</b>	139	-13,4 °C	<b>139</b>	<b>-18,3 °C</b>
140	-18,9 °C	140	-18,3 °C	140	-13,7 °C	140	-18,3 °C
141	-18,9 °C	141	-18,9 °C	141	-14,2 °C	141	-18,9 °C
142	-19,6 °C	142	-19,6 °C	142	-14,5 °C	142	-19,6 °C
143	-19,6 °C	143	-19,6 °C	143	-14,9 °C	143	-19,6 °C
144	-20,3 °C	144	-19,6 °C	144	<b>-15,3 °C</b>	144	-19,6 °C
145	-20,3 °C	145	-20,3 °C	145	-15,6 °C	145	-20,3 °C
146	-21,0 °C	146	-21,0 °C	146	-16,0 °C	146	-21,0 °C
147	-21,0 °C	147	-21,0 °C	147	-16,3 °C	147	-21,0 °C
148	-21,7 °C	148	-21,0 °C	148	-16,7 °C	148	-21,7 °C
149	-21,7 °C	149	-21,7 °C	149	-17,1 °C	149	-21,7 °C
150	-22,5 °C	150	-21,7 °C	150	-17,4 °C	150	-21,7 °C
151	-22,5 °C	151	-22,5 °C	151	-17,9 °C	151	-22,5 °C
152	-22,5 °C	152	-22,5 °C	<b>152</b>	<b>-18,1 °C</b>	152	-22,5 °C