

**KYLMÄKOHOTETUN VEHNÄ- JA HAPANJUURITAIKINAN  
OMINAISUUKSIEN JA SÄILYVYYDEN TUTKIMINEN**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Hämeenlinna, bio- ja elintarviketekniikka

Kevät, 2020

Henri Nippala

Bio- ja elintarviketekniikka  
Hämeenlinna

---

<b>Tekijä</b>	Henri Nippala	<b>Vuosi</b> 2020
<b>Työn nimi</b>	Kylmäkohotetun vehnä- ja hapanjuuritaikinän ominaisuuksien ja säilyvyyden tutkiminen	
<b>Työn ohjaaja</b>	Susanna Peltonen	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia vehnä- ja hapanjuuritaikinoiden pH:n ja lämpötilan muutoksia kylmäkohotuksen aikana sekä luoda koesuunnitelma, jonka avulla muita muuttujia voidaan mitata tulevaisuudessa. Opinnäytetyön teettäjä oli elintarvikealan yritys, joka halusi lisää tietoa kylmäkohottamisen vaikutuksista vehnä- ja hapanjuuritaikinän ominaisuuksiin ja säilyvyyteen.

Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään vehnän koostumusta, taikinän valmistusta, hapanleivontaa, kylmäkohottamista, taikinän ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä sekä mittausmenetelmiä, joiden avulla eri ominaisuuksia voidaan mitata. Kokeellisessa osassa leivottiin laboratoriomittakaavan vehnä- ja hapanjuuritaikinat, joista mitattiin teollisen tuotannon vehnätaikinoiden ohella pH:ta. Laboratoriomittakaavan taikinoiden säilyvyyttä arvioitiin aistinvaraisesti ja pienille näytteille tehtiin kohotuskoe. Kolmen teollisen tuotannon vehnätaikinän ja yhden pienen vertailunäytteen lämpötilaa seurattiin data-loggereiden avulla 22 tunnin kylmäkohotuksen ajan.

Taikinoiden pH-mittausten tulosten perusteella vehnätaikinoiden pH laski kylmäkohotuksen aikana, mutta hapanjuuritaikinasta ei saatu luotettavia tuloksia. Teollisen taikinän sisälämpötila ei laskenut muutamaa astetta enempää 22 tunnin 3 °C:n lämpötilassa tapahtuvan kylmäkohotuksen aikana. Pienemmän taikinän lämpötila laski huomattavasti nopeammin ja tästä syystä kohotuskokeen taikinänäytteet eivät juuri kohonneet 72 tunnin kohotuksen aikana. Laboratoriomittakaavan taikinoissa ei tapahtunut aistinvaraisesti havaittavaa laadun heikentymistä tai pilaantumista 72 tunnin kohotuksen aikana.

**Avainsanat** vehnä, taikina, hapanjuuri, kylmäkohotus

**Sivut** 44 sivua

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering  
Hämeenlinna University Centre

---

<b>Author</b>	Henri Nippala	<b>Year</b> 2020
<b>Subject</b>	Study on Properties and Shelf-Life of Retarded Wheat Dough and Sourdough	
<b>Supervisor</b>	Susanna Peltonen	

---

ABSTRACT

The purpose of the thesis was to study the changes of the pH and the temperature of wheat doughs and sourdoughs during retardation. An experimental design was also created for future use to analyze different factors. The commissioner of this thesis was a food company, which required information about the effect of retardation on the properties and shelf-life of wheat dough and sourdough.

The theoretical part of the thesis discussed the composition of wheat, dough mixing, sourdough, retardation, factors affecting dough properties and different measuring methods used to analyze the different properties. In the functional part of the thesis, laboratory-scale wheat dough and sourdough were prepared, and pH-measurements were carried out during retardation. The pH and temperature were also measured from industrial-scale wheat doughs. The shelf-life and proofing of the laboratory-scale doughs were evaluated sensorially. Temperature change of the doughs during 22-hour retardation was measured by data loggers from three different industrial-scale doughs and one small comparison sample dough.

The pH of the wheat doughs decreased during retardation based on the results of the pH-measurements, but no reliable results were acquired from sourdough measurement. The temperature in the middle of the industrial-scale wheat dough decreased only a few degrees Celsius during the 22-hour retardation at 3 °C. The temperature of the small-scale dough decreased much faster, which led to a very low proofing rate during 72-hour retardation. There was no sensorially detectable quality loss in the laboratory-scale doughs after retardation of 72 hours.

**Keywords** wheat, dough, sourdough, retardation

**Pages** 44 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	VEHNÄ.....	1
2.1	Jyvän rakenne.....	2
2.2	Proteiinit.....	3
2.3	Hiilihydraatit.....	3
2.4	Ravintokuitu.....	3
2.5	Entsyymit.....	4
2.6	Jauhatus.....	5
3	TAIKINAN TEKO.....	5
4	HAPANLEIVONTA.....	6
4.1	Raski.....	7
4.2	Raskien mikrobit.....	8
4.2.1	Maitohappobakteerit.....	8
4.2.2	Hiivat.....	9
5	HIDASTETTU FERMENTAATIO.....	10
6	TAIKINAN OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAJAT TEKIJÄT.....	11
6.1	Ainesosat.....	11
6.1.1	Jauho.....	11
6.1.2	Vesi.....	11
6.1.3	Suola.....	12
6.1.4	Leiviniiva.....	12
6.2	Sekoitus.....	13
6.3	Fermentointilämpötila.....	13
7	MITTAUSMENETELMÄT.....	14
7.1	Happamuuden mittaus.....	14
7.2	Titraus.....	14
7.3	Hiivojen aktiivisuus.....	14
7.3.1	Risografi.....	15
7.3.2	Fermentografi.....	16
7.3.3	Maturografi.....	17
7.3.4	Chopin rheofermentometri.....	17
7.4	Reologisten ominaisuuksien mittauslaitteet.....	18
7.4.1	Farinografi.....	18
7.4.2	Ekstensografi.....	19
7.4.3	Miksografi.....	20
7.4.4	Alveografi.....	21
7.4.5	Rakenneanalysaattori.....	21
8	KOESUUNNITELMAN LUONTI.....	25

9	MENETELMÄT .....	26
9.1	Taikinoiden valmistus.....	27
9.2	pH:n mittaus.....	27
9.2.1	Ensimmäinen koe .....	27
9.2.2	Toinen koe .....	28
9.2.3	Kolmas koe.....	29
9.3	Kohotuskoe.....	29
9.4	Lämpötilan seuranta .....	29
10	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO .....	30
10.1	pH-mittaukset .....	30
10.2	Taikinoiden säilyvyys .....	33
10.3	Kohotuskoe.....	34
10.4	Lämpötilan seuranta .....	34
11	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	36
	LÄHTEET .....	39

## 1 JOHDANTO

Hapanleivonnan suosio on kasvanut viimevuosina, kun artesaanileipurien määrä on kasvanut ja kuluttajat etsivät terveellisempiä tuotteita (Hyslop, 2018). Hapanleivonnan avulla esimerkiksi leivän valmistuksessa voidaan käyttää vähemmän leiviniivaa, taikinan ominaisuudet parantuvat ja lopputuotteen mausta saadaan aromaattisempi sekä tekstuurista parempi leiviniivalla kohotettuun leipään verrattuna. Happamuuden ansiosta myös lopputuotteen säilyvyys parantuu. (Hansen, 2004, s. 840) Hapanjuurta voidaan leivän lisäksi käyttää myös muihin suolaisiin ja makeisiin leivonnaisiin (Cultures For Health, n.d.).

Kylmäkohottaminen on menetelmä, jonka avulla leivontaprosessia hidastetaan hidastamalla hiivojen toimintaa. Taikinoita säilytetään esimerkiksi jääkaapissa tai vaihtolämpökaapissa yön tai viikonlopun yli kylmässä lämpötilassa. Menetelmän etu on työkustannusten säästö ja heikkous kylmätilojen tarve. (Jussila, Ahonen & Virtanen, 2017, ss. 134–136)

Opinnäytetyössä tutkitaan vehnätaikinoiden ja hapanjuuritaikinoiden ominaisuuksia ja niiden mittarointia sekä säilyvyyttä kirjallisen osan avulla ja luodaan koesuunnitelma ominaisuuksien tutkimista varten. Käytännön osassa leivotaan kokeelliset laboratoriomittakaavan vehnä- ja hapanjuuritaikinat ja niiden pH:ta mitataan kylmäkohotuksen aikana. Teollisen mittakaavan ja laboratoriomittakaavan vehnätaikinoille suoritetaan lämpötilanseuranta kylmäkohotuksen aikana data-loggereiden avulla. Laboratoriomittakaavan taikinoiden säilyvyyttä arvioidaan aistinvaraisesti ja niiden kohoamista kylmäkohotuksen aikana tutkitaan pienten näytetaikinoiden avulla. Työn tavoitteena on saada tietoa vehnätaikinoiden ja hapanjuuritaikinoiden ominaisuuksista ja tutkia taikinoiden lämpötilan ja pH:n muutoksia kylmäkohotuksen aikana. Lisäksi tavoitteena on luoda koesuunnitelma, jota voidaan tulevaisuudessa hyödyntää taikinan eri ominaisuuksien mittarointiin. Tulosten avulla taikinoiden käyttöä voidaan tarkentaa teollisissa tuotanto-olosuhteissa.

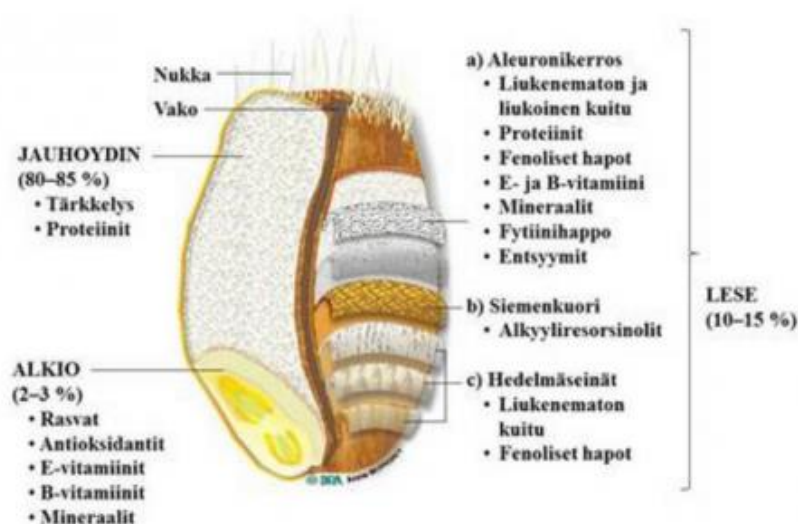
## 2 VEHNÄ

Vehnää on viljelty maailmalla tuhansia vuosia ja se on merkittävin vilja leivontaominaisuuksiensa vuoksi. Hard Red Winter -lajikkeen vehnän jyvä sisältää vettä 13,1 %, proteiinia 12,6 %, rasvaa 1,5 %, hiilihydraatteja 71,2 %, kuitua 12,2 % ja tuhkaa 1,6 %. Vehnälajikkeet voidaan jakaa jauhoymen ulkonäön perusteella lasimaisiin ja jauhomaisiin lajeihin tai jyvien kovuusasteen perusteella koviin ja pehmeisiin. Lasimaiset vehnän jyvät ovat läpi-kuultavia ja kovia ja jauhomaiset jyvät pehmeitä ja halkeilevia.

Kovajyväsissä vehnälajikkeissa proteiinipitoisuus on korkeampi pehmeämmän jyvän lajikkeisiin verrattuna. Kovien vehnän jyvien jauhatus on helpompaa pehmeisiin jyviin verrattuna, koska kovat jyvät murskaantuvat tasaisemmin. (Leipätiedotus n.d.a)

## 2.1 Jyvän rakenne

Vehnän jyvä koostuu kolmesta osasta: kuorikerroksista, jauhoystimestä eli endospermistä ja alkioista (kuva 1). Kuorikerrokseen kuuluvat hedelmäseinä ja siemenkuori, joita kutsutaan leseeksi ja niiden tehtävä on suojata jyvää. Hedelmäseinä eli pericarp sisältää ravintokuitua ja kivennäisaineita ja siemenkuori eli testa pigmenttejä, tanniineja ja polyfenoleja. Kuorikerrosten osuus jyvän painosta on noin 8 prosenttia. Endospermi koostuu tärkkelyksestä, proteiineista ja mineraaleista ja sen osuus jyvän painosta on noin 80–85 prosenttia. Endospermin tehtävä on varastoida ravintoaineita. Endospermiä ympäröi aleuronikerros, joka koostuu proteiineista, hiilihydraateista, rasvasta, vitamiineista ja kivennäisaineista ja sen osuus on noin 8 % jyvän painosta. Jyvän viimeinen osa on alkio, jonka osuus on vain 2–3 prosenttia jyvän painosta. Alkio sisältää rasvaa, hiilihydraatteja, vitamiineja ja mineraaleja. Siihen kuuluvat alkeissilmu eli plumule, alkeisjuuri eli radicle sekä alkiokilpi eli scutellum. Alkiokilven tehtävä on varastoida ravintoaineita ja kuljettaa niitä alkion ja endospermin välillä. Alkiot yleensä poistetaan jyvien jauhatuksen yhteydessä, koska niiden sisältämä rasva härskiintyy helposti aiheuttaen jauhojen laadun heikentymistä. (Leipätiedotus n.d.b)



Kuva 1. Jyvän rakenne. (Leipätiedotus n.d.b).

## 2.2 Proteiinit

Viljojen proteiinit voidaan jakaa metabolisiin proteiineihin ja varastoproteiineihin sekä liukoisuuden perusteella albumiineihin, globuliineihin, prolamiineihin ja gluteliineihin. Albumiinit ja globuliinit ovat metabolisia proteiineja, joita vehnässä on noin 8–15 prosenttia proteiinien kokonaismäärästä. Albumiinit ovat vesiliukoisia ja globuliinit suolaliuokseen liukenevia ja ne sijaitsevat pääosin alkiossa ja aleuronikerroksessa. Vehnän proteiineista 80–85 prosenttia on varastoproteiineja eli prolamiineja ja gluteliineja ja ne sijaitsevat endospermissä. Vehnän prolamiineja kutsutaan gliadiineiksi ja ne liukenevat 70-prosenttiseen etanoliin, kun taas gluteliineja kutsutaan gluteiineiksi ja ne liukenevat happoihin ja emäksiin. (Salovaara, 2017a, s. 34)

## 2.3 Hiilihydraatit

Vehnän hiilihydraateista noin 80 prosenttia on tärkkelystä, 7 % pienen molekyylipainon mono-, di- ja oligosakkarideja sekä 12 % soluseinän polysakkarideja (Shewry & Hey, 2015). Tärkkelys on polysakkaridi, joka koostuu amyloosista ja amylopektiinistä. Amyloosin osuus tärkkelyksessä on noin 25 % ja se koostuu glukoosiyksiköistä, jotka ovat liittyneet toisiinsa suoraan ketjuun alfa-1,4-glykosididoksilla. Myös amylopektiinin glukoosiketju on muodostunut alfa-1,4-sidoksilla, mutta noin 15–30 glukoosiyksikön välein ketju haarautuu alfa-1,6-sidoksella. Amyloosissa haarautumista tapahtuu noin 200–400 glukoosiyksikön välein, joten sitä kutsutaan yleensä haarautumattomaksi. (Cornell, 2012, ss. 42–44) Amyloosissa glukoosiyksikköjä on noin 2000–3000 ja amylopektiinissä jopa 200 000 (Salovaara, 2017a, s. 26).

Seitsemän prosentin osuus pienen molekyylipainon sakkarideista vehnässä koostuu eri polymerisaatioasteen mukaan luokitelluista sokereista. Pieni määrä on monosakkarideja eli glukoosia ja fruktoosia. Disakkarideista vehnässä on glukoosista ja fruktoosista koostuvaa sakkaroosia sekä kahdesta glukoosiyksiköstä koostuvaa maltoosia. Oligosakkarideihin kuuluu galaktoosista, glukoosista ja fruktoosista koostuva raffinoosi ja frukto-oligosakkaridit. (Shewry & Hey, 2015)

## 2.4 Ravintokuitu

Vehnän ei-tärkkelyspolysakkarideihin kuuluvat selluloosa, pentosaanit ja beetaglukaani (Sethy ym. 2015). Ne ovat soluseinän rakennuskomponentteja, jotka luetaan ravintokuiduksi. Selluloosa koostuu tärkkelyksen tapaan vain glukoosiyksiköistä, mutta selluloosan glukoosiyksiköt ovat liittyneet toisiinsa tiiviisti limittäin beeta-1,4-sidoksilla. Tiiviin rakenteen takia glukoosiketjuista muodostuu tiukka veteen liukenematon kimppu, johon entsyymit pääsevät huonosti käsiksi. (Salovaara, 2017a, ss. 26–27) Vehnän pentosaanit koostuvat veteen liukenevista ja liukenemattomista



arabinoksyylaaneista (Shelton & Lee, 2001, s. 401). Arabinoksyylaani koostuu kahdesta viisihilteisestä pentoosista: arabinoosista ja ksyloosista (Salovaara, 2017a, s. 26). Arabinoksyylaanien merkitys perustuu niiden kykyyn sitoa vettä moninkertaisesti omaan painoonsa nähden sekä rakennetta tuovan verkoston luomiseen ruisleivonnassa. Arabinoosiyksikköihin voi liittyä ferulahappo, joka voi liittyä toisen arabinoksyylaaniketjun ferulahappoon, jolloin syntyy verkosto, joka korvaa jonkin verran rukiista puuttuvaa sitkoa. (Salovaara & Tuukkanen, 2017b, s. 119). Betaglukaania on eniten jyvän endospermissä ja aleuronikerroksessa, mutta sen määrä vehnässä on pieni kauraan ja ohraan verrattuna (Mohebbi, Hodayouni, Azizi & Hosseini, 2017).

## 2.5 Entsyymit

Entsyymit ovat proteiineja, jotka katalysoivat biokemiallisia reaktioita. Ne voidaan jakaa spesifisyyden mukaan neljään eri luokkaan: absoluuttisesti spesifisiin, ryhmäspesifisiin, sidosspesifisiin sekä stereokemiallisesti spesifisiin. Absoluuttisesti spesifit entsyymit ovat hyvin spesifejä ja katalysoivat vain yhtä reaktiota. Ryhmäspesifiset entsyymit kohdistavat toimintansa molekyyliin, joilla on tietty funktionaalinen ryhmä, kuten aminoryhmä. Sidosspesifiset entsyymit kohdistavat toimintansa tiettyihin kemiallisiin sidoksiin ja stereokemialliset spesifit entsyymit kohdistavat toimintansa tiettyyn optiseen isomeeriin, mutta eivät niiden vastakappaleeseen. Eri entsyymien nimeäminen perustuu niiden käyttämään substraattiin tai katalysoitavaan kemialliseen reaktioon. (Kornbrust, Forman & Matveeva, 2012, ss. 470–472). Vehnän entsyymejä ovat amylaasit, proteaasit, lipaasit, oksidaasit, fosfataasit sekä ksylanaasit (Cornell, 2012, s. 67).

Amylaasit ovat hydrolaaseja, jotka katalysoivat polysakkaridien hydrolyysiä tärkkelyksessä. Merkittävimmät amylaasit ovat alfa-amylaasi ja beeta-amylaasi. (Cornell, 2012, s. 67) Alfa-amylaasi on endoentsyymi, joka pilkkoo sattumanvaraisesti tärkkelyksen alfa-1,4-sidoksia. Entsyymit muokkaavat hyvin huonosti ehjiä tärkkelysjyväsiä, mutta jauhatusprosessissa osa jyväsistä vahingoittuu. (Kornbrust, Forman & Matveeva, 2012, s. 479) Alfa-amylaasi pilkkoo vahingoittuneita tärkkelysjyväsiä hitaasti ja paiston aikana liisteröityvää tärkkelystä nopeasti tuottaen dextriinejä ja oligosakkarideja (Cornell, 2012, s. 67). Viljaperäinen alfa-amylaasi inaktivoituu 87 °C:n lämpötilassa (Edwards, 2007, s. 70). Beeta-amylaasi on eksoentsyymi, joka tuottaa maltoosia pilkkomalla tärkkelyksen ei-pelkistävästä päästä joka toisen glukoosiyksikön välisiä alfa-1,4-sidoksia (Kornbrust, Forman & Matveeva, 2012, s. 479). Beeta-amylaasi inaktivoituu 60–65 °C:n lämpötilassa (Salovaara, 2017b, 75).

Proteaasit ovat peptidisidoksia hydrolysoivia entsyymejä. Ne hajottavat proteiineja ja proteiinien hajoamistuotteita pienemmiksi yhdisteiksi. Endoproteaasit pilkkovat proteiinien peptidisidoksia sattumanvaraisesti kohdistamalla muodostaen pienempiä peptidejä ja eksoproteaasit pilkkovat

proteiineja ketjun päästä tuottaen aminohappoja. (Kornbrust, Forman & Matveeva, 2012, ss. 483–484) Sitkoproteiinien hajoaminen heikentää sitkoverkostoa ja taikinan viskoelastiset ominaisuudet menetetään, jos sitkoverkosto hajoaa (Engström, Sandberg & Scheers, 2015).

## 2.6 Jauhatus

Vehnän jauhatusta tapahtuu useimmiten valssijauhatusena. Jauhatusprosessi on monivaiheinen ja prosessista saadaan monia eri jakeita, joista yhdistellään erilaisia lopputuotteita. Jauhatusprosessin kolme päävaihetta ovat rouhinta, raejauhatus ja jauhantavalssaus. Rouhinnassa uurretut metallivalssit pyörivät vastakkaisiin suuntiin repien jyvät auki ja murskaten ne. Rouhinnassa syntyvät rouhe ja rae erotellaan seulomalla, jonka jälkeen puhtaat endospermirakeet ohjataan jauhantavalssille ja seulonnan jälkeen lopputuotteena saadaan kaikista vaaleimpia jauhoja eli erikoisvehnäjauhoja ja karkeaa vehnäjauhoa. Lesettä sisältävät jakeet ohjataan rouhinta-valssilta raekoneelle, joka ominaispainolajittelee puhtaat rakeet lesettä sisältävistä rakeista. Lesettä sisältävät rakeet ohjataan sileämmille raevalsseille ja valssauksen, seulonnan, jauhantavalssauksen ja uuden seulonnan jälkeen saadaan puolikarkeaa vehnäjauhoa. Prosessia toistetaan niin kauan, että kaikki jakeet on saatu lajiteltua ja jauhatusprosessin loppupään tuotteena saadaan hiivaleipäjauhoa. (Salovaara, 2017b, s. 52)

## 3 TAIKINAN TEKO

Vehnätaikinan valmistus voidaan jakaa kolmeen pääosaan: ainesosien sekoittumiseen ja hydratoitumiseen, sitkon muodostukseen sekä ilman sekoittumiseen taikinaan. Ensimmäisessä vaiheessa vesi alkaa sitoutumaan jauhojen komponentteihin, jolloin proteiinit ja arabinoksytaanit vettyvät eli hydratoituvat. Sekoituksen aiheuttamat leikkausvoimat hajottavat jauhopartikkeleita pienemmiksi muodostaen vedelle lisää pintaa, johon imeytyä. Jauhojen komponenteista proteiinien osuus vedensidonnasta on 23 %, ehjien tärkkelysjyvästen 33 %, rikkoituneiden tärkkelysjyvästen 23 % ja pentosaanien 20 %. Osa vedestä liuottaa liukoisia aineita, kuten sokereita ja suolaa ja osa jää vapaaksi vedeksi hiivan ja entsyymien toiminnan mahdollistamiseksi. (Salovaara, 2017c, ss. 84–85)

Vehnän leivontaominaisuudet perustuvat vehnän sisältämiin sitkoproteiineihin eli gliadiiniin ja gluteeniiniin, jotka järjestäytyvät taikinassa gluteeniksi eli sitkoksi (Salovaara, 2017a, ss. 34–35). Taikinan valmistuksessa sitkon muodostus alkaa, kun sitkoproteiinit hydratoituvat eli sitovat osan vesimolekyyleistä heikoilla vetysidoksilla ja sekoituksen ansiosta liittyvät toisiinsa (Salovaara, 2017c, ss. 84–86). Gluteeniinit koostuvat korkean

molekyylipainon ja matalan molekyylipainon alayksiköistä, jotka ovat liittyneet toisiinsa disulfididisidoksilla. Taikinan sekoituksen aikana tapahtuu hydrofobisia vuorovaikutuksia, vaihtoreaktioita sulfhydryyliryhmien ja disulfididisidosten välillä sekä vetysidosten muodostumista, jolloin suurimolekyyliset gluteniinit ja gliadiinit muodostavat sitkoverkoston. (Cornell, 2012, ss. 54–56) Taikinan konsistenssi kasvaa sekoittaessa tiettyyn maksimiin saakka, jonka jälkeen taikinan ominaisuudet alkavat heikkenemään. Ylisekoittaessa taikinaa sen konsistenssi laskee ja taikinasta tulee löysä ja tarttuva (Salovaara, 2017c, s. 86). Suurimolekyyliset gluteniinit tekevät sitkoverkostosta elastisen ja kimmoisan, kun taas gliadiini antaa venyvyyttä (Salovaara, 2017a, ss. 34–35).

Taikinaa valmistaessa ilmaa pääsee taikinaan jauhopartikkeleihin jääneistä ilmataskuista sekä itse sekoituksesta johtuen (Salovaara, 2017c, s. 87). Ilmasta muodostuvat kaasurakkuloiden alkiot toimivat nukleaatiokohtina hiivan tuottamalle hiilidioksidille, koska hiilidioksidi ei pysty muodostamaan uusia kaasurakkuloita. Kaasurakkuloiden alkiot sisältävät happea ja typpeä, mutta hiiva käyttää happea ja sitä liukenee taikinanesteeseen, kun taas typpi ei liukene taikinaan vaan jää kaasurakkuloihin. (Cauvain, 2012, s. 21) Kaasurakkuloiden muodostumiseen ja niiden kokoon vaikuttavat sekoituksen teho ja aika, viskositeetti, pintajännitys sekä paine. Sekoituksen tehoa lisäämällä saadaan taikinaan enemmän kaasua ja hajotettua taikinassa olevia kaasurakkuloita pienemmäksi. Sekoituksen aikana käytettävällä korkeammalla paineella saadaan isompia kaasurakkuloita taikinaan ja osittaisella alipaineella pienempiä rakkuloita. (Wilde, 2012, s. 371)

## 4 HAPANLEIVONTA

Hapanleivonta on vuosisatoja vanha menetelmä, jota tietävästi Egyptiläiset hyödynsivät ensimmäisenä leivän valmistuksessa. Egyptistä hapanleivonta levisi Eurooppaan ja sieltä Yhdysvaltoihin San Franciscoon saakka. (Manner, 2015, ss. 87–88) 1800-luvulla leivän leipomiseen alettiin hyödyntämään oluen valmistajilta saatua oluthiivaa, josta jalostettiin leiviniivaa 1800-luvun puolivälissä (History of Bread, n.d.). Leiviniivan käyttö leivän valmistuksessa johti hapanleivonnan vähenemiseen 1900-luvulla (Manner, 2015, s. 88). Välimeren maissa sekä Espanjassa, Alankomaissa ja Yhdysvalloissa hapanleivontaa hyödynnetään vehnäleivän leipomiseen, kun taas Keski-, Pohjois- ja Itä-Euroopassa hapanleivonnan avulla valmistetaan ruisleipää (Hansen, 2004, s. 840).

## 4.1 Raski

Hapanleivonta perustuu taikinajuureen eli raskiin, joka on jauhojen ja veden seos (Hansen, 2004, s. 843). Jauhoissa on luonnostaan maitohappobakteereja ja hiivoja, jotka alkavat raskissa tuottamaan happoja, etanolia, hiilidioksidia sekä aromiaineita, kun raskia pidetään 20–30 °C:n lämpötilassa. Raskissa tapahtuu samaan aikaan kahdenlaista maitohappokäymistä sekä alkoholikäymistä. Maitohappobakteerit muodostavat maitohappoa, sekä etikkahappoa ja hiilidioksidia, kun taas hiivat muodostavat etanolia ja hiilidioksidia. (Salovaara & Tuukkanen, 2017b, ss. 119–121) Fermentaation aikana laktobasillit, hiivat ja eri entsyymit käyttävät tai muuttavat taikinan eri ainesosia (taulukko 1) (Meuser & Valentin 2004, s. 874).

Taulukko 1. Eri ainesosat, joita hiivat, laktobasillit ja entsyymit käyttävät tai muuttavat fermentaation aikana (Meuser & Valentin, 2004, s. 874)

Constituent	Yeast	Lactobacilli	Enzymes
Starch	–	–	$\alpha$ - and $\beta$ -Amylases
Dextrins	–	–	$\alpha$ - and $\beta$ -Amylases
Maltose	+	+	–
Sucrose	+	+	–
Glucose	+	+	–
Fructose	+	+	–
Pentosans	–	–	Pentosanases
Proteins	+	+	Proteases

Raskitus voidaan aloittaa spontaanilla fermentaatiolla, siemenraskin avulla tai raskistartterin avulla. Spontaanissa fermentaatiossa vesi-jauhoseos jätetään sopivaan lämpötilaan 1–2 päiväksi, jolloin jauhojen sisältämien maitohappobakteerien ansiosta tapahtuu maitohappofermentaatio ja taikina happamoituu. Spontaanin fermentaatio ei kuitenkaan aina välttämättä onnistu, jolloin taikinasta ei tule hyvälaatuista. (Hansen, 2004, s. 843) Toinen ja yleisempi tapa on lisätä raskiin niin sanottua siemenraskia, joka on alun perin spontaanilla fermentaatiolla valmistettu raski (Hansen, 2004, s. 843). Siemenraskia pidetään metabolisesti aktiivisena lisäämällä jauhoja ja vettä tietyin aikaväleihin (De Vuyst & Neysens, 2005, s. 44). Siemenraskia lisätään uuteen raskiin 0,5–20 %, jolloin valmiiksi aktiivisia mikrobeja saadaan välitettyä raskiin ja fermentaatio käynnistyy nopeammin (Häggman 2012, s. 128). Monissa leipomoissa siemenraski saattaa olla useita vuosikymmeniä vanha (Hansen, 2004, s. 843). Kolmas tapa on lisätä lisätä jauho-vesi-seokseen kuivattuja tai pakkaskuivattuja mikrobeja. Raskistartteri voi sisältää pelkästään maitohappobakteereja tai maitohappobakteereja sekä hiivoja. (Hansen, 2004, s. 843)

Raskit voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin valmistustavan mukaan. Tyypin 1 raskit valmistetaan perinteisillä menetelmillä eli spontaanin

fermentaation ja siemenraskin avulla. Tyypin 1 raskien valmistuksessa raskitus tapahtuu yleisesti 20–30 °C:n lämpötilassa, jolloin raskin pH on noin 4. Tyypin 2 raskit valmistetaan teollisesti siiloissa 2–5 päivää fermentoimalla yli 30 °C:n lämpötilassa, jolloin niiden pH on alle 3,5 ja mikrobin metabolinen aktiivisuus vähäinen. Tyypin 3 raskit ovat kuivattuja ja jauhettuja raskeja, joita käytetään taikinoissa happamuuden ja maun vuoksi. Tyypin 2 ja 3 raskeilla ominaista on se, että taikinoissa joudutaan käyttämään niiden lisäksi leiviniivaa taikinan nostatukseen, koska tyypin 2 ja 3 raskeissa happamuus estää hiivojen lisääntymistä. (De Vuyst & Neysens, 2005, s. 44)

## 4.2 Raskien mikrobit

Viljan mikrofloora koostuu bakteereista, hiivoista ja sienistä, joita on noin  $10^4$ – $10^7$  pmy/g (pesäkettä muodostavaa yksikköä grammaa kohti). Jauhoissa mikrobeja on noin  $2 \times 10^4$ – $6 \times 10^7$  pmy/g. Viljassa olevat bakteerit koostuvat pääosin mesofiilisistä bakteereista, joihin kuuluu enterobakteereja, *Pseudomonas*-suvun bakteereja sekä grampositiivisia maitohappobakteereja. Myös *Staphylococcus aureus* ja *Bacillus cereus* ja muita bakteereja voidaan tavata. Viljasta tai jauhoista löydetyt hiivat kuuluvat sukuihin *Candida*, *Cryptococcus*, *Pichia*, *Rhodotorula*, *Torulasporea*, *Trichosporon*, *Saccharomyces* ja *Sporobolomyces*. ja sienet sukuihin *Alternaria*, *Cladosporium*, *Drechslera*, *Fusarium*, *Helminthosporium*, *Ulocladium*, *Aspergillus* sekä *Penicillium*. (De Vuyst & Neysens, 2005, s. 44)

Raskin käyminen tapahtuu yleisimmin niin, että ilman määrä on rajallinen. Tällöin raskiin muodostuu mikrofloora, joka muokkaa taikinan ominaisuuksia fermentaatiotuotteillaan sellaiseksi, jossa vain tietyt happotolerantit mikrobit voivat kasvaa. (Stolz, 2003, s. 27) Ennen käymistä hapanjuuren pH on noin 5,0–6,2 ja siinä on paljon fermentoituvia hiilihydraatteja. Olosuhteet suosivat maitohappobakteereja, jotka syrjäyttävät nopeasti fermentaation aikana gramnegatiiviset enterobakteerit. (De Vuyst & Neysens, 2005, s. 45) Raskissa maitohappobakteereja on noin  $10^8$ – $10^9$  pmy/g ja hiivoja  $10^6$ – $10^7$  pmy/g suhteen ollessa yleensä 100:1 (Hansen, 2004, s. 851).

### 4.2.1 Maitohappobakteerit

Maitohappobakteerit ovat grampositiivisia, itiöitä tuottamattomia sauvoja tai kokkeja, joiden pääasiallinen aineenvaihduntatuote on maitohappo (Von Wright & Axelsson, 2011, s. 2). Maitohappobakteereille ominaista on hyvä happojen ja suolojen kestävyys. Ne voidaan jakaa taksonomisesti niiden muodon, solumorfologian, sokerifermentaation, kasvuun vaikuttavan lämpötilan ja suolapitoisuuden, hapon kestävyden sekä soluseinäanalyysien perusteella. Raskeista löydetyt maitohappobakteerit ovat suurimmalta osin *Lactobacillus*-sukua. Muita raskeista löydettyjä maitohappobakteerisukuja ovat *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactococcus* ja *Weissella*.

(Hansen, 2004, s. 851) Yleensä raskissa on noin kolmesta viiteen laktobasilien dominoivaa lajia (Salovaara & Tuukkanen, 2017b, s. 122).

*Lactobacillus*-suvun maitohappobakteerit voidaan jakaa kolmeen ryhmään riippuen niiden hiilihydraattimetaboliasta: obligatiivisesti heterofermentatiivisiin, fakultatiivisesti heterofermentatiivisiin sekä obligatiivisesti homofermentatiivisiin (taulukko 2) (Hansen, 2004, s. 851). Maitohappobakteerien aineenvaihdunta tapahtuu heksoosifermentaation avulla kahta eri reittiä (Von Wright & Axelsson, 2011, ss. 2–3). Homofermentatiiviset ja fakultatiivisesti heterofermentatiiviset maitohappobakteerit käyttävät Embden–Meyerhof–Parnas-reittiä eli glykolyysiä, jossa aineenvaihduntatuotteena syntyy pääosin maitohappoa (Hansen, 2004, s. 851). Obligatiivisesti heterofermentatiiviset maitohappobakteerit käyttävät pentoosi-fosfoketolaasi-reittiä, jossa maitohapon lisäksi muodostuu hiilidioksidia ja etanolia (Von Wright & Axelsson, 2011, s. 4). Molemmista reiteistä olennaisinta on heksoosien fermentaatio. Homofermentatiiviset maitohappobakteerit eivät pysty fermentoimaan pentooseja, joten siitä vastaavat heterofermentatiiviset maitohappobakteerit. (Hansen, 2004, s. 851)

Taulukko 2. Raskeista löydettyjen laktobasillusten jaottelu (Hansen 2004, 852)

Obligatiivisesti homofermentatiiviset	Fakultatiivisesti heterofermentatiiviset	Obligatiivisesti heterofermentatiiviset
<i>L. acidophilus</i>	<i>L. alimentarius</i>	<i>L. brevis</i>
<i>L. amylovorus</i>	<i>L. casei</i>	<i>L. buchneri</i>
<i>L. delbrueckii</i>	<i>L. curvatus</i>	<i>L. fermentum</i>
<i>L. farciminis</i>	<i>L. paralimentarius</i>	<i>L. fructivorans</i>
<i>L. helveticus</i>	<i>L. plantarum</i>	<i>L. frumentii</i>
<i>L. leichmanni</i>	<i>L. rhamnosus</i>	<i>L. hilgardii</i>
<i>L. mindensis</i>		<i>L. panis</i>
		<i>L. pontis</i>
		<i>L. reuteri</i>
		<i>L. sanfranciscensis</i>
		<i>L. viridescens</i>

#### 4.2.2 Hiivat

Hiivat ovat yksisoluisia sieniä, joista osa esiintyy myös rihmamaisena (Solunetti n.d.). Hiivat lisääntyvät useimmiten kuroutumalla, mutta myös kah-tia jakautumalla (Ruokavirasto n.d.). Raskeista on löydetty yli 20 hiivalajia, joista yleisimpiä ovat *C. milleri*, *C. holmii*, *S. cerevisiae* ja *S. exiguus* (Chavan & Chavan, 2011). Hiivalajien ja hiivasolujen määrään taikinassa ja ras-kissa vaikuttaa jauhojen laatu, lämpötila, fermentointiaika, taikinatulos,

hapen määrä, happamuus sekä raskityyppi (Stolz, 2003, s. 26). Raskeissa havaituille hiivoille tyypillistä on happamuuden kestävyys (Hansen, 2004, 855). Yleensä raskeissa on vain yksi hiivalaji dominoivana lajina (Salovaara & Tuukkanen, 2017b, s. 123).

Hiivat ovat fakultatiivisesti anaerobeja mikrobeja eli niiden aineenvaihdunta tapahtuu hapen läsnäollessa respiraatiolla ja ilman happea fermentaatiolla. Hiivojen yleisin tyypin ja energian lähde ovat hiilihydraatit ja tarkemmin glukoosi. Glukoosin muuttaminen energiaksi tapahtuu glykolyysin avulla, jossa glukoosi hajoaa pyruvaatiksi ja ATP:ksi. (Guerzoni, Serrazanetti, Vernocchi & Gianotti, 2013, s. 159) Hiivojen sisältämä entsyymi invertaasi pilkkoo sakkaroosia glukoosiksi ja fruktoosiksi ja maltaasi-entsyymimaltoosia glukoosiksi (Edwards, 2007, s. 70). Hiivat tuottavat hiilidioksidia, orgaanisia happoja, aldehydejä, ketoneja ja etanolia (Serna-Saldivar, 2010, s. 271).

## 5 HIDASTETTU FERMENTAATIO

Hidastetulla fermentaatiolla tai kylmäkohotuksella tarkoitetaan taikinan pitämistä kylmässä, yleensä suunnilleen jääkaappilämpötilassa (Edwards 2007, s. 161). Kylmäkohotuksen ansiosta taikinoiden käyttöaika saadaan joustavammaksi (Struyf ym. 2017, s. 851, ss. 857–858). Menetelmää käytetään niin pienissä kuin isoissa leipomoissa helpottamaan ja tasaamaan tuotantoa (Edwards 2007, 161). Taikinat voidaan varastoida kokonaisena tai ne voidaan muotoilla valmiiksi tuotteiksi ennen kylmäkohotusta (Hengel n.d.). Taikina johtaa huonosti lämpöä, joten ison taikinanpalan jäähtymiseen ja lämpenemiseen kuluu pidempi aika. Tällöin taikinan sisäosan ja reunojen välillä voi olla suuria lämpötilaeroja, jolla voi olla epäsuotuisa vaikutus lopputuotteen laatuun. (Cauvain 2007, s. 176) Taikinoiden tai tuotteiden kylmäkohotus voidaan tehdä esimerkiksi jääkaapissa tai vaihtolämpökaapissa, jossa on riittävä ilmankosteus, jotta taikinan tai tuotteen pinta ei kuivu. Kuivumisen estämiseksi taikinat tai tuotteet voidaan myös peittää esimerkiksi muovipussilla. (Jussila, Ahonen & Virtanen, 2017, s. 137)

Kylmäkohotettujen taikinoiden käyttöikä ei yleensä ylitä kolmea vuorokautta, koska pidempi kohotusaika johtaa laadun heikentymiseen. Pitkän kohotuksen aikana taikina alkaa kuivumaan, jolloin taikinan paino laskee. (Cauvain 2007, ss. 182–183) Kylmäkohotettujen taikinoiden yksi mahdollinen ongelma on ylikohoaminen, joka johtuu hiivojen metabolisesta aktiivisuudesta matalassa lämpötilassa. Ylikohoaminen vaikuttaa taikinan laatuun heikentämällä reologisia ominaisuuksia. (Struyf ym. 2017, s. 851, ss. 857–858) Toinen taikinan laatua heikentävä tekijä on kylmäkohotuksen aikana jatkuva entsyymien toiminta, jonka nopeus riippuu lämpötilasta. Alfa-amylaasi jatkaa vahingoittuneen tärkkelyksen pilkkomista ja proteaasit pilkkovat proteiineja heikentäen taikinan rakennetta. Taikinan laadun heikkenemiseen vaikuttavia tekijöitä ovat taikinapalojen koko, hiivan

määrä sekä säilytyslämpötila. Laadun heikkenemistä voidaan vähentää vähentämällä käytettävän hiivan määrää ja laskemalla säilytyslämpötilaa. (Cauvain 2007, ss. 182-183)

## 6 TAIKINAN OMINAISUUksiIN VAIKUTTAJAT TEKIJÄT

Taikinan reologisiin ominaisuuksiin vaikuttavat jauhojen koostumus ja muut ainesosat sekä prosessiparametrit, kuten sekoituksen kesto ja voimakkuus sekä lämpötila (Zaidel, Chin & Yusof, 2010). Eri ainesosat vaikuttavat myös taikinassa tapahtuvaan fermentaatioon (Salovaara, Kerojoki & Jussila, 2017, s. 49).

### 6.1 Ainesosat

Taikinan valmistukseen käytettävillä eri ainesosilla on erilaisia vaikutuksia niin taikinaan kuin itse lopputuotteeseen. Taikinan valmistuksessa kaksi tärkeintä ainesosaa ovat vesi ja jauhot, jotka muodostavat taikinan rakenteen. Jauhojen ja veden lisäksi taikinan lisätään usein taikinan ominaisuuksien tai valmistusprosessin parantamiseksi esimerkiksi hiivaa, suolaa, soke-ria ja rasvaa. (Salovaara ym. 2017, s. 47)

#### 6.1.1 Jauho

Jauhojen käyttäytymiseen taikinassa vaikuttaa jauhojen koostumus, johon vaikuttavat vehnän kasvatusolosuhteet, eri vehnälajikkeet sekä jyvien jauhatus (Lallemand, 2018). Jauhot määrittävät esimerkiksi taikinassa tarvittavan veden määrän. Suurin vaikutus jauhojen toiminnallisuuteen on jauhojen proteiinipitoisuudella ja sitkon ominaisuuksilla. Korkeamman proteiinipitoisuuden jauhoissa vedensidontakyky on suuri ja taikinaa pitää sekoittaa pidempään optimaalisen taikinan muodostumisen saavuttamiseksi. (Serna-Saldivar, 2010, s. 263) Jauhojen tuhkapitoisuus vaikuttaa taikinan pH:n muutoksiin puskurointikyvyn avulla, jolloin korkeamman tuhkapitoisuuden jauhoista valmistetun taikinan pH laskee hitaammin verrattuna vähemmän tuhkaa sisältävästä jauhosta valmistettuun taikinaan (Salovaara & Tuukkanen, 2017b, s. 125). Jauhojen fermentoituvien sokereiden määrä vaikuttaa hiivasolujen toimintaan fermentaation aikana. Sokereiden saatavuuteen vaikuttavat jauhojen sisältämien hiilihydraattien määrä ja jauhojen ja hiivojen entsyymit, jotka pilkkovat hiilihydraatteja fermentoituviksi sokereiksi fermentaation aikana. (Struyf ym. 2017, s. 850)

#### 6.1.2 Vesi

Taikinan ainesosista veden osuus on toiseksi suurin jauhojen jälkeen. Veden ansiosta osa jauhojen komponenteista hydratoituu ja taikinan



vesiliukoiset aineosat, kuten suola, liukenevat. Veden määrän avulla voidaan säädellä taikinan konsistenssia. Suurempi vesimäärä johtaa pehmeämpään, hyvin venyvään ja vähemmän elastiseen taikinaan, kun taas pieni vesimäärä johtaa jäykempään taikinaan, joka on elastinen ja huommin venyvä. Vettä tarvitaan myös taikinassa tapahtuvien kemiallisten reaktioiden, kuten fermentaation ja entsyymien toiminnan käynnistämiseen. Pehmeässä taikinassa fermentaatio tapahtuu nopeammin jäykkään taikinaan verrattuna, joten veden määrä vaikuttaa myös tarvittavan hiivan määrään. Valmiin taikinan lämpötila vaikuttaa hiivojen ja maitohappobakteerien toimintaan merkittävästi ja helpoin tapa säädellä taikinan lämpötilaa on veden lämpötilan muuttaminen. (Rosada, 2019)

### 6.1.3 Suola

Suolaa lisätään yleensä esimerkiksi leipätaikinoihin noin 1–2 prosenttia taikinan jauhojen painosta (Struyf ym. 2017, s. 855). Suola koostuu positiivisen varauksen natriumioneista ja negatiivisen varauksen kloridi-ioneista, jotka taikinassa peittävät heikon positiivisen nettovarauksen omaavien sitkoproteiinien varaukset. Normaalisti proteiinimolekyylit pyrkivät jonkin verran erilleen toisistaan, mutta suolalisäyksen ansiosta proteiiniverkoston rakenne tiivistyy ja sitko vahvistuu. Suola lisää taikinan sekoitustarvetta sekä parantaa taikinan sekoituskestävyyttä. Sekoituksen pituuden lisääntymistä voidaan estää lisäämällä suola taikinaan vasta sekoituksen loppuvaiheessa. (Salovaara, 2017b, ss. 66–69) Suolan lisääminen taikinaan vaikuttaa myös hiivojen fermentaatiota hidastamalla. Suolapitoisuuden kasvun takia hiivojen kaasuntuotanto heikkenee taikinassa, kun veden aktiivisuus laskee. Toisaalta ilman suolaa taikinan sitko on heikompi, jolloin taikinasta pääsee vapautumaan enemmän hiilidioksidia fermentaation aikana. (Struyf ym. 2017, s. 855) Veden aktiivisuuden lasku parantaa myös lopputuotteen säilyvyyttä homeiden kasvuolosuhteita heikentämällä. Tärkein tehtävä suolalla on kuitenkin lopputuotteen maun parantaminen. (Salovaara, 2017b, s. 70)

### 6.1.4 Leivinihiiva

Hiivasolut käyttävät taikinassa olevia fermentoituvia sokereita ja tuottavat hiilidioksidia ja etanolia, joiden ansiosta taikina kohoaa fermentaation ja uuninousun aikana. Hiivat tuottavat myös orgaanisia happoja, glyserolia ja aromiyhdisteitä. Aineenvaihduntatuotteiden tuotantoon vaikuttavat esimerkiksi taikinan aineosat ja fermentaatio-olosuhteet. Hiivojen toimintakykyyn vaikuttavat fermentoituvien sokereiden saatavuus, osmoottinen paine ja lämpötila. (Struyf ym. 2017, ss. 850–851)

## 6.2 Sekoitus

Sekoitus on tärkeä vaihe valmistaessa taikinaa, jonka sitkon vahvuus on sopiva lopputuotteen laadun kannalta (Zaidel ym. 2010). Sekoituksen avulla taikinan ainesosista saadaan viskoelastinen massa. Taikinaan pääsee myös ilmaa sekoituksen ansiosta, jolloin taikinan kuplarakenne muodostuu. Sekoituksen aikana taikina pyörii sekoituskulhossa ja venyy, jolloin syntyy sekoitusta vastustava voima. (Millar & Tucker, 2012, ss. 402–404) Sitkoverkosto kehittyy, kun proteiinit liittyvät ristiin disulfididisoksin (Zaidel ym. 2010). Taikinan sekoitusta vastustava voima kasvaa sekoituksen aikana tiettyyn maksimiarvoon saakka, jonka jälkeen se heikkenee. Kun taikinan sekoitusta vastustava voima on maksimiarvossaan, on taikinan käsiteltävyys parhaimmillaan. (Millar & Tucker, 2012, ss. 402–404) Optimaalisesti sekoitetussa taikinassa proteiinien välisillä vuorovaikutuksilla on maksimaalinen energia (Salovaara, 2017c, s. 88). Ennen maksimiarvon saavuttamista taikina on kehittymätön ja sitkoverkoston kehittäminen on kesken (Millar & Tucker, 2012, ss. 402–404). Sekoittamisen jatkaminen maksimiarvon saavuttamisen jälkeen johtaa proteiinien välisten ristsidosten ja disulfididisidosten hajoamiseen, jolloin gluteniinit depolymerisoituvat (Zaidel ym. 2010). Tällöin sekoitusta vastustava voima heikkenee ja taikinasta tulee venyvämpi, vähemmän elastinen ja tarttuva (Millar & Tucker, 2012, ss. 402–404). Taikinan sekoitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat sekoitusaika, sekoituksen voimakkuus, taikinakoneen tyyppi sekä lämpötila. Optimaalisen sekoituksen saavuttamiseksi taikinan sekoitusaika pitää olla riittävän pitkä ja sekoituksen voimakkuus riittävän korkea. (Zaidel ym. 2010)

## 6.3 Fermentointilämpötila

Fermentaatio tapahtuu yleisimmin 26–32 °C:n lämpötilassa (Serna-Saldívar 2010, 270). Hiivoille optimaalinen kasvlämpötila on 25–27 °C (Chavan & Chavan 2011). Matalin kasvlämpötila useimmille hapanjuurista löydettyille hiivoille on 8 °C (Hansen, 2004, s. 858). Hiivan kaasuntuotto kasvaa taikinan lämpötilan noustessa ja optimaalisin kaasuntuottolämpötila on noin 35–38 °C. Yli 40 °C:n lämpötilassa hiivat alkavat inaktivoitumaan ja kuolevat 60 °C:ssa. (Häggman 2010, s. 126) Leiviniiva pystyy tuottamaan hiilidioksidia vielä matalassa 5–8 °C:n lämpötilassa (Struyf ym. 2017, s. 851). Matala lämpötilan hidastaa amylaasien toimintaa, jolloin riski sille, että amylaasit pilkkovat liikaa tärkkelystä ja taikinasta tulee tarttuva ja huonosti käsiteltävä, vähenee (Edwards, 2007, s. 161). Maitohappobakteerien optimaalinen kasvlämpötila on 30–35 °C ja jotkut pääosin heterofermentatiiviset lajit pystyvät kasvamaan alle 15 °C:n lämpötiloissa. Korkein maitohappobakteerien kasvlämpötila on 45–55 °C. Maitohapon muodostuminen kasvaa lämpötilan noustessa, kun taas etikkahapon muodostumiseen lämpötilan nousulla ei ole merkittävää vaikutusta. Tästä syystä kylmemmässä lämpötilassa fermentoiduissa hapanjuuritaikinoissa etikkahapon suhteellinen määrä on korkeampi lämpöisessä fermentoituihin hapanjuuritaikinoihin verrattuna. (Hansen 2004, ss. 858–859)

## 7 MITTAUSMENETELMÄT

Jauhojen soveltuvuutta tietyn tuotteen leivontaan voidaan testata analyttisillä testeillä ja empiirisillä testeillä. Analyttisten testien avulla voidaan määrittää esimerkiksi jauhojen proteiinipitoisuus. Empiiriset testit mittaavat jauhojen käyttäytymistä leivonnan aikana ja antavat leivonnan kannalta enemmän tietoa kuin esimerkiksi pelkkä proteiinipitoisuus. (Edwards, 2007, s. 139) Raskia voidaan luonnehtia kemiallisten parametrien, kuten pH:n ja happoluvun avulla, joita voidaan mitata raskista tai taikinasta. (Hansen 2004, s. 845). Hiivojen tuottaman hiilidioksidin nostatuskyky taikinassa on tärkeä ominaisuus esimerkiksi leivän valmistuksessa. Hiivojen aktiivisuutta taikinassa voidaan mitata tuotetun kaasun tai hiilidioksidin avulla. (Rad & Kasaie, 2017, s. 100)

### 7.1 Happamuuden mittaus

Raskin ja taikinan happamuutta voidaan mitata pH:n avulla, joka kuvaa liuoksen vetyioniaktiivisuutta. Tulos luetaan logaritmiselta asteikolla yleensä 0–14 välillä, jossa lukema alle 7 tarkoittaa hapanta, 7 neutraalia ja yli 7 emäksistä. Kun pH-lukema muuttuu yhdellä yksiköllä, vetyionien aktiivisuus kasvaa tai laskee kymmenkertaisesti. Mittaus voidaan suorittaa työntämällä pH-mittarin elektrodi suoraan näytteeseen tai laimentamalla näyte ensin. pH:n mittausta hyödynnetään myös happoluvun määrittämisessä. (Salovaara, 2017a, s. 22)

### 7.2 Titraus

TTA (Total titratable acidity) eli happoluku kuvaa titrautuvien happojen kokonaisuutta (Salovaara & Tuukkanen, 2017b, s. 124). Menetelmä perustuu happo-emästitraukseen, jossa hapan näyte neutraloidaan vahvalla emäksellä (Bakerpedia n.d.a). Punnittu näyte laimennetaan ja siihen lisätään natriumhydroksidia, kunnes saavutetaan pH arvo 8,5 (Salovaara, 2017a, ss. 22–23). Happoluku ilmoitetaan kuluneen emäksen määränä millilitroina (Salovaara & Tuukkanen, 2017b, s. 124). Fermentaation aikana taikinaan muodostuvista hapoista suurin osa on maitohappoa, mutta suhdemäärä vaihtelee, joten happoluvun avulla ei voida ilmoittaa tarkkaa happojen määrää, vaan siihen tarvitaan muita menetelmiä (Salovaara, 2017a, ss. 22–23).

### 7.3 Hiivojen aktiivisuus

Vuosien aikana monia eri menetelmiä on kehitetty taikinassa hiivojen tuottaman hiilidioksidin mittaamiseen. (Rattin, Faubion, Walker & Menser, 2009, s. 261). Hiilidioksidin määrän mittaamisella voidaan arvioida hiivojen

toimintaa (Rad & Kasaie, 2017, s. 100). Tulosten avulla voidaan säädellä hiivan määrää taikinassa, ennustaa hiivojen toimintaa fermentaation aikana, säätää fermentaatio-olosuhteita sekä arvioida muiden raaka-aineiden, kuten suolan, veden ja sokerin vaikutusta hiivojen toimintaan. Hiilidioksidin tuoton mittaamiseen käytettyjä laitteita ovat esimerkiksi risografi, fermentografi, maturografi sekä rheofermentometri. (Bakerpedia n.d.b)

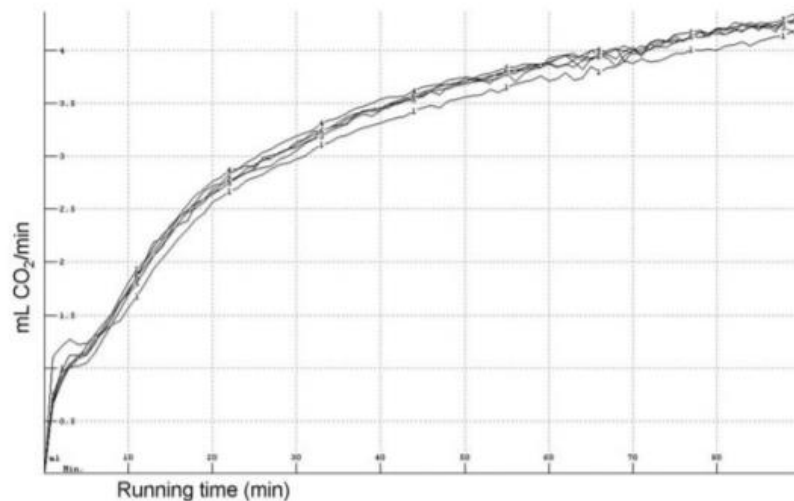
### 7.3.1 Risografi

Risografin toiminta perustuu taikinassa muodostuvan hiilidioksidin paineen mittaamiseen paineanturin avulla (kuva 2). Taikinanäyte asetetaan ruostumattomasta teräksestä valmistettuun näyteastiaan ja kansi suljetaan. Näyteastian päällä ja risografin kaasunmittauskammion ulkopuolella olevien liittimien välille kytketään letku, jota pitkin kaasua liikkuu. Näyteastia asetetaan risografin vesihauteeseen ja Risosmart-ohjelmiston kautta testi käynnistetään. (Rattin ym. 2009, ss. 261–262)



Kuva 2. Risografi. (National Manufacturing, n.d.).

Hiivan tuottama hiilidioksidi kulkeutuu letkua pitkin kaasunmittauskammioon, jossa kaasun paine mitataan paineanturin avulla ja kaasua vapautuu ilmakehään. Kaasumittauksia toistetaan ohjelmistosta ennalta määritetyin aikaväleihin valittuun aikaan saakka. Testin valmistuttua ohjelmisto antaa saadut tulokset kuvaajina, joista nähdään vapautuneen hiilidioksidin tilavuutena millilitroina minuuttia kohti sekä kumulatiivisesti koko ajan aikana vapautuneen hiilidioksidin määrän millilitroina (kuva 3, s. 16). (Rattin ym. 2009, ss. 261–262)



Kuva 3. Risosmartin piirtämä kuvaaja, jossa x-akselilla aika ja y-akselilla hiilidioksidin vapautuminen millilitroina minuuttia kohti. (Rattin ym. 2009, ss. 261–262).

Mallista riippuen risografissa voi olla mahdollisuus analysoida kahtatoista näytettä sekä referenssinäytettä saman testin aikana. Tällöin laite suorittaa kaasumittaukset jokaiselle näytteelle vuoron perään. Useimmiten risografin vesihautteen lämpötila säädetään 30 ° C:n lämpötilaan kaasumittausten tapahtuessa minuuten välein ja kokonaisajan ollessa 90 minuuttia. (Rattin ym. 2009, ss. 261–262)

### 7.3.2 Fermentografi

Fermentografissa hiilidioksidin tuottoa mitataan piirturin avulla (kuva 4, s. 17). Punnittu taikinanäyte asetetaan kumipalloon, joka kiinnitetään vipuvarteeseen. Kumipallo upotetaan vesihauteeseen ja hiilidioksidin muodostuessa kumipallo alkaa nousemaan vesihauteessa liikuttaen vipuvartta. Vipuvarren toiseen päähän on kiinnitetty kynä, joka alkaa piirtämään viivaa liikkuvaan paperiarkkiin. Mittaus suoritetaan usein kolmessa eri vaiheessa, 90 minuutin, 150 minuutin ja 240 minuutin välein. Jokaisen mittauksen jälkeen taikinanäytettä painellaan taikinassa muodostuneen hiilidioksidin aiheuttaman paineen laskemiseksi ja paperiarkki ja kynä säädetään takaisin nolлахetkelle. (Serna-Saldivar, 2012, s. 200)



Kuva 4. Fermentografi. (Serna-Saldivar 2010, s. 498).

### 7.3.3 Maturografi

Myös maturografiin toiminta perustuu piirturin piirtämään käyrään. Kaasun tuottoa ja vapautumista mitataan taikinan korkeuden mittaamisen avulla. Maturografissa taikinanäytettä painellaan kahden minuutin välein, jolloin taikinaan ei ehdi muodostua painetta. Piirturista saadun kuvaajan käyrän korkeimman ja matalimman kohdan väli kuvaa taikinan painelusta ja elastisuudesta johtuvaa korkeuden muutosta. (Serna-Saldivar, 2010, s. 496)

### 7.3.4 Chopin rheofermentometri

Chopin rheofermentometri mittaa taikinan muodostumista, hiilidioksidin tuotantoa sekä taikinan kaasunpidätyskykyä (kuva 5, s. 18) (Chopin Technologies n.d.). Rheofermentometrissä taikinanäyte asetetaan reiälliseen kammioon ja näytteen päälle asetetaan paino. Kammion painetta mitataan kahdella eri tapaa erillisen painemittarin avulla. Taikinasta vapautuva kaasu pääsee kammion reikien ja venttiilien kautta painemittarille, joka mittaa ensin kokonaispainetta. Toisessa vaiheessa taikinasta vapautuva hiilidioksidi kerätään erilleen kaasupesurin avulla ja painemittari mittaa muiden kaasujen painetta. (Chopin Technologies 2014) Testin tuloksia voidaan tarkastella erillisen tietokoneohjelman avulla (Chopin Technologies n.d.)



Kuva 5. Chopin rheofermentometri Rheo F4. (Chopin Technologies n.d.).

#### 7.4 Reologisten ominaisuuksien mittauslaitteet

Taikinan reologisia ominaisuuksia määrittävät testit ovat tärkeimpiä jauhojen soveltuvuuden kannalta. Taikinan reologisia ominaisuuksia mitataan erilaisilla laitteilla, joista suurin osa mittaa suorasti tai epäsuorasti voimaa tai sitkon vahvuutta ja taikinan venyvyyttä ja elastisuutta. Testien avulla saadaan tietoa tärkeistä prosessiparametreista ja voidaan ennustaa tuotteen laatua. Jauhojen ja taikinan reologisia ominaisuuksia voidaan mitata esimerkiksi farinografilla, ekstensografilla, miksografilla, sekä alveografilla. (Serna-Saldivar, 2010, ss. 490–496)

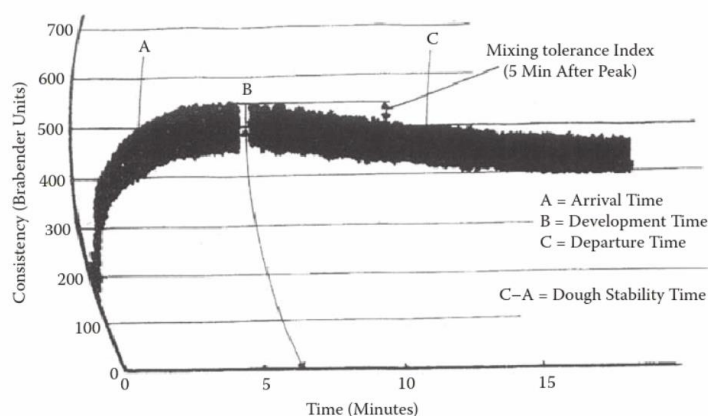
##### 7.4.1 Farinografi

Farinografi on laite, joka mittaa taikinan sekoitusta vastustavaa voimaa (kuva 6, s. 19) (Serna-Saldivar, 2010, s. 492). Farinografilla määritetään jauhojen vedensidontakyky sekä taikinan muodostumisaika, sekoituskestävyys ja pehmeneminen (Salovaara, 2017b, s. 53). Ensimmäisenä farinografiin laitetaan 50 tai 300 grammaa jauhoja ja määritetään tarvittava vesimäärä, jotta taikinalle saadaan optimaalinen konsistenssi eli 500 FU (farinografi-yksikköä) (Serna-Saldivar, 2010, s. 492). Jauhojen vedensidontakyvyn määrittäminen tapahtuu titraamalla, jolloin taikinaan lisätään vettä byretin avulla (Salovaara, 2017b, s. 56). Vedensidontakyvyn määrittämisen jälkeen taikinan sekoitusta jatketaan 20 minuuttia, jotta taikinan muodostumisaika ja jauhojen käyttäytyminen ennen maksimikonsistenssin saavuttamista ja sen jälkeen (Serna-Saldivar, 2010, s. 492).



Kuva 6. Brabender Farinografi-E. (Direct Industry n.d.b).

Farinografin tunnusluvuista saadaan kuvan 7 mukainen farinogrammi eli sekoituskäyrä (Salovaara, 2017, s. 56). Farinogrammissa taikinan muodostumisaika on aika sekoituksen alusta maksimikonsistenssin saavuttamiseen. Sekoituskestävyydellä tarkoitetaan aikaa, jolloin farinogrammin käyrä pysyy yli 500 FU (Serna-Saldivar, 2010, s. 492). Taikinan pehmeneminen lasketaan 10–12 minuuttia vaivauksen aloituksesta mitatun sekoituskäyrän keskikohdan ja 500 FU:n erotuksena (Salovaara, 2017b, s. 56).



Kuva 7. Farinogrammi. (Serna-Saldivar, 2010, s. 491).

#### 7.4.2 Ekstensografi

Ekstensografilla analysoidaan farinografilla valmistetun taikinanäytteen venyytyttä ja venytystä vastustavaa voimaa (kuva 8, s. 20) (Serna-Saldivar, 2010, s. 492). Taikinasta punnitaan 150 gramman palat, jotka muotoillaan ekstensografian pyörö- ja pitkärullaajilla sylinterimäisiksi paloiksi (Salovaara, 2017b, s. 57). Osa paloista siirretään lämpötilasäädelyyn kaappiin

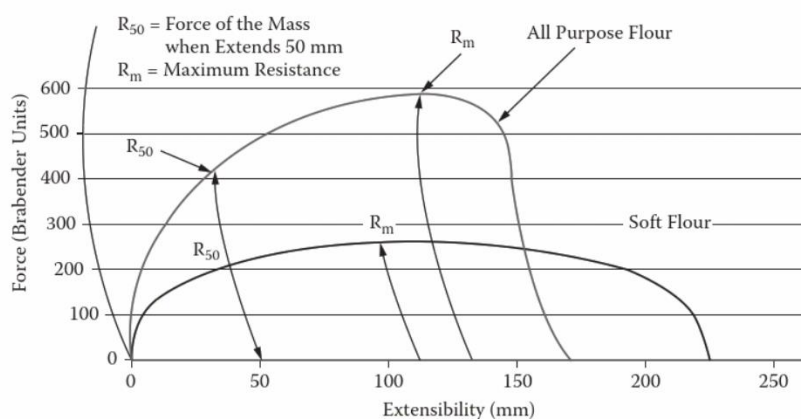


myöhempää analysointia varten (Edwards 2007, s. 149). Lepoaika myöhemmin analysoitaville paloille on 45 minuuttia, 90 minuuttia ja 135 minuuttia. Taikinapalat kiinnitetään ekstensografin pidikkeisiin ja paloja venytetään niiden katkeamiseen saakka. (Salovaara, 2017b, s. 57)



Kuva 8. Brabender ekstensografi-E. (Direct Industry n.d.a).

Laitteesta saadaan kuvan 9 mukainen ekstensogrammi, eli käyrä, jossa venyvyys luetaan x-akselilta ja venytystä vastustava voima y-akselilta. Käyrän alle jäävä pinta-ala on verrannollinen energiaan, joka tarvitaan, jotta taikinänäyte repeää. Venyvyyden ja venytystä vastustavan voiman suhde on tärkeä parametri leivonnassa, koska se kuvaa taikinan sitkon vahvuutta ja taikinan venyvyyttä. (Serna-Saldivar, 2010, s. 492)



Kuva 9. Ekstensogrammi. (Serna-Saldivar 2010, s. 493).

#### 7.4.3 Miksografi

Miksografi on 1933 Amerikassa kehitetty laite (Edwards 2007, s. 152). Sen toimintaperiaate on samanlainen, kuin farinografilla. Laite piirtää käyrän,

josta nähdään taikinan muodostumisaika ja maksimikonsistenssi. Mikso-grafilla saatavat tulokset eivät ole kuitenkaan yhtä laajoja, kuin farinografin tulokset ja niitä arvioidaan subjektiivisemmin. Analysoitavan näytteen koko on vain 10 tai 35 grammaa ja koe kestää 7–8 minuuttia. (Serna-Saldivar, 2010, ss. 494–495)

#### 7.4.4 Alveografi

Alveografi mittaa taikinan venyvyyttä ja venytystä vastustavaa voimaa (kuva 10). Taikina valmistetaan standardisoiduissa olosuhteissa ja rullataan levyksi. Levystä leikataan neljä kiekkoa, joiden annetaan levätä 20 minuuttia kontrolloiduissa olosuhteissa. (Edwards 2007, ss. 142–143) Taikinakiekko asetetaan alveografiin, jonka jälkeen taikinaan injektoidaan ilmaa tasaisella paineella niin kauan, että taikinakupla puhkeaa. Menetelmällä saadaan simuloitua taikinan kaasun pidätystä fermentaation aikana. (Serna-Saldivar, 2010, s. 495) Alveografin muodostamasta käyrästä saadaan luettua maksimi paine, kuplan puhkeamiseen kulunut aika, joka kuvaa taikinan venyvyyttä sekä käyrän alle jäävä pinta-ala, joka on verrannollinen taikinakuplan puhkeamiseen tarvittavaan energiaan ja kuvaa tällöin taikinan vahvuutta (Edwards 2007, ss. 142–143). Vahvoilla jauhoilla on usein korkea käyrä ja suuri käyrän alle jäävä pinta-ala (Serna-Saldivar, 2010, s. 495).

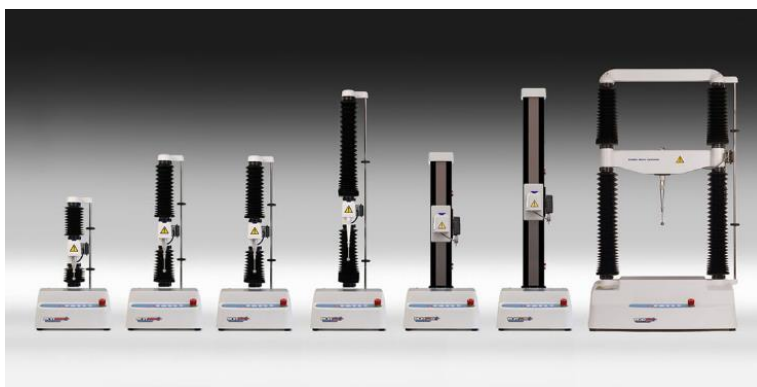


Kuva 10. Chopin Alveografi. (Bard Grain Foods Processing Machinery Co. n.d.).

#### 7.4.5 Rakenneanalysaattori

Rakenneanalysaattori on laite, jolla voidaan mitata erilaisten näytteiden fysikaalisia ominaisuuksia. Laitteen toiminta perustuu erilaisiin vaihdettaviin antureihin, jotka liikkuvat ylös tai alas, jolloin näytettä voidaan

esimerkiksi puristaa, venyttää ja leikata. Rakenneanalysaattorin voimakkenno tallentaa mittauksessa tarvittavan voiman ja kuvaajalle piirretty käyrä, jonka avulla näytteen rakennetta voidaan arvioida. (Stable Micro Systems n.d.c) Stable Micro Systems rakenneanalysaattoreihin on myös kehitelty leipomotuotteiden ominaisuuksien analysointia varten lisäosia, kuten Kieffer Dough & Gluten Extensibility Rig, Chen-Hosney Dough Stickiness Rig, Warburtons Dough Stickiness Rig ja Dobraszczyk/Roberts Dough Inflation System (Stable Micro Systems n.d.a). Stable Micro Systems rakenneanalysaattoreita on myös monia eri malleja (kuva 11), jotka eroavat toisistaan esimerkiksi niiden käyttämän voiman perusteella (Stable Micro Systems n.d.d).



Kuva 11. Erilaisia Stable Micro Systems rakenneanalysaattorimalleja. (Stable Micro Systems n.d.d).

Kieffer Dough & Gluten Extensibility Rig on pienemmän mittakaavan versio ekstensografista ja venytettävien näytepalojen koko on vain noin 0,4 grammaa (Dunnewind, Sliwinski, Grolle, Van Vliet, 2007). Lisäosan avulla mitataan näytteen venyvyyttä ja venytystä vastustavaa voimaa (kuva 12) (Smewing, 2014).



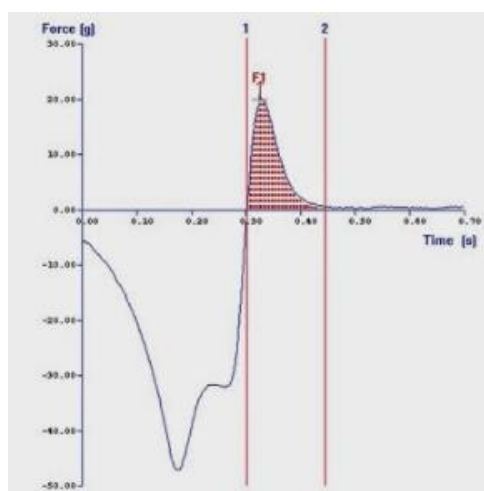
Kuva 12. Kieffer Dough & Extensibility Rig. (Smewing 2014).

Chen-Hoseney Dough Stickiness Rig on lisäosa, jonka avulla taikinan tarttuvuutta voidaan tutkia (kuva 13). Taikinan liiallinen tarttuvuus voi johtua esimerkiksi ylisekoituksesta, liian suuresta vesimäärästä tai liiallisesta proteolyttisten entsyymien toiminnasta. (Smewing, 2015a) Kokeessa taikina näytettä puristetaan ensin, jonka jälkeen puristusvoima vapautetaan tarttuvuuden mittaamiseksi (Young, 2012, s. 571).



Kuva 13. Chen-Hoseney Dough Stickiness Rig taikinan tarttuvuuden tutkimiseen. (Smewing 2015a).

Mittauksen jälkeen laite piirtää kuvaajan, jossa voidaan lukea taikinan tarttuvuus, eli käyrän korkein kohta, tarttumisen tekevä työ eli käyrän alle positiiviselle puolelle jäävä pinta-ala sekä näytteen venymisen pituus anturin palatessa takaisin ylös (kuva 14). (Tan, Shamsudin, Mohammed & Rahman, 2016, s. 250)



Kuva 14. Taikinan tarttuvuuden kuvaaja. X-akselilla aika ja y-akselilla voima. (Smewing 2015a).

Warburtons Dough Stickiness System mittaa taikinan tarttuvuutta 500 tai 1000 gramman taikinanäytteestä (kuva 15). Taikinanäyte asetetaan laatikkoon ja näytteen päälle asetetaan reiällinen levy. Rakenneanalysaattoriin kiinnitetty ohut terä painuu levyssä olevan reiän ja taikinanäytteen läpi ja mittaa taikinan tarttuvuutta noustessaan takaisin ylös. Tulosten kuvajassa korkeampi huippukohta tarkoittaa tarttuvampaa taikinaa. (Smewing, 2015b)



Kuva 15. Warburtons Dough Stickiness System. (Smewing 2015b).

Dobraszczyk/Roberts Dough Inflation System mittaa taikinanäytteen laajentumiskykyä, kun näytettä täytetään ilmalla männän avulla (kuva 16). Täytön aikana painetta mitataan paineenmuuntimen avulla ja taikinanäytteen tilavuus lasketaan männän siirtymän perusteella. Menetelmän avulla voidaan mitata sitkon laatua ja ennustaa taikinan käyttäytymistä kohotuksen aikana. Laitteeseen voidaan liittää myös erillinen kustomoitu lämpötilakammio, jolloin taikinanäytteeseen voidaan syöttää maksimissaan 60 °C ilmaa. (Stable Micro Systems n.d.b)



Kuva 16. Dobraszczyk/Roberts Dough Inflation System. (Stable Micro Systems n.d.b).

## 8 KOESUUNNITELMAN LUONTI

Taikinan eri ominaisuuksien mittarointia varten luotiin koesuunnitelma, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa. Koesuunnitelmaan pyrittiin valitsemaan erilaisia parametreja, joita useimmiten analysoidaan eri menetelmillä vehnätaikinoista ja varsinkin hapanjuuritaikinoista tai raskeista. Menetelmillä voidaan analysoida taikinoiden kemiallisia, reologisia ja mikrobiologia ominaisuuksia. Taulukosta 3 nähdään koesuunnitelmaan valitut parametrit. Koesuunnitelman muuttujaksi valittiin aika ja analyysien aikaväliksi 24 tuntia 0-hetkestä 72 tuntiin saakka. Raskin osalta analyysit voidaan suorittaa aina ennen leivontaa.

Taulukko 3. Koesuunnitelman analysoitavat parametrit

Kemialliset	Mikrobiologiset	Reologiset
Happoluku	Maitohappobakteerit	Venyvyys
pH		Venyvyysvastus
Etikkahappo		Taikin tarttuvuus
Maitohappo		

Happoluku ja pH ovat yleisimpiä taikinasta ja raskista analysoitavia kemiallisia parametreja, joiden avulla taikin happamuutta voidaan tutkia. Taikin pH-mittaus suoritetaan pH-mittarilla. Mittarissa on elektrodi, joka työnnetään suoraa näytteeseen tai laimennettuun näytteeseen ja laite mittaa näytteen pH:n. Happoluku mitataan titraamalla. Byretin avulla näytteeseen lisätään hiljalleen natriumhydroksidia ja näytteen pH mitataan pH-mittarilla natriumhydroksidilisäysten välillä. Analyysi on valmis, kun näyte saavuttaa pH-arvon 8,5. Happamuuteen vaikuttavat maitohappobakteerien tuottamat maito- ja etikkahappo, joiden tarkkaa määrää ei voida pH-mittauksen ja happoluvun avulla mitata. Etikka- ja maitohapon määrää voidaan mitata esimerkiksi kromatografisesti.

Maitohappobakteerien määrää raskissa ja taikinassa voidaan mitata mikrobiologisilla menetelmillä. Varsinkin hapanjuurileivonnassa maitohappobakteerien määrä ja toiminta on kriittistä, jotta lopputuotteen mausta saadaan hapanjuurileivonnalle tyypillinen. Maitohappobakteerien viljelyä varten koesuunnitelmaan tehtiin myös valmis taulukoiden 4, 5 ja 6 mukainen suunnitelma näytteiden laimentamisesta.

Taulukko 4. Kylmäkohotustaikin laimennossarjat

Aika (h)	Laimennossarja
0	$10^{-1}$ – $10^{-3}$
24	$10^{-2}$ – $10^{-6}$

Jatkuu

Jatkuu

48	$10^{-3}$ – $10^{-7}$
72	$10^{-3}$ – $10^{-8}$

Taulukko 5. Hapanjuuritaikinan laimennossarjat

Aika (h)	Laimennossarja
0	$10^{-3}$ – $10^{-7}$
24	$10^{-3}$ – $10^{-7}$
48	$10^{-3}$ – $10^{-7}$
72	$10^{-3}$ – $10^{-8}$

Taulukko 6. Raskin laimennossarja

Aika (h)	Laimennossarja
Ennen leivontaa	$10^{-4}$ – $10^{-8}$

Venyvyyden, venytysvastuksen ja taikinan tarttuvuuden avulla voidaan mitata taikinan sitkoverkoston vahvuutta ja ajan ja kylmäkohotuksen vaikutusta sitkoon. Analyysit voidaan suorittaa esimerkiksi ekstensografilla tai alveografilla. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös rakenneanalysointia, jolloin ei tarvita kuin yksi laite edellä mainittujen ominaisuuksien tutkimiseen. Venyvyys ja venytysvastus mitataan Kieffer Dough & Gluten Extensibility Rig avulla ja taikinan tarttavuus Chen-Hoseney Dough Stickiness Rig tai Warburtons Dough Stickiness System avulla.

## 9 MENETELMÄT

Työssä käytettiin tutkimusaineistona laboratoriomittakaavan kylmäkohotettuja vehnä- ja hapanjuuritaikinoita, sekä teollisessa tuotannossa valmistettuja kylmäkohotettuja vehnätaikinoita ja niistä otettuja näytteitä. Taikinoiden pH-mittaukset jaettiin kolmeen eri kokeeseen ja kolmannen kokeen yhteydessä taikinoiden lämpötilan muutosta kohotuksen aikana seurattiin data-loggereiden avulla. Toisen kokeen alussa taikinoista otettiin erilliset pienet näytteet kohotustestiä varten ja taikinoiden säilyvyyttä kylmäkohotuksen aikana seurattiin pH-mittausten yhteydessä aistinvaraisesti haistamalla, maistamalla ja silmämääräisesti katsomalla.

## 9.1 Taikinoiden valmistus

Taikinoiden valmistukseen käytettiin erillistä muokattua reseptiikkaa. Taikinat valmistettiin sekoittamalla vehnä jauhot, vesi, öljy, suola, hiiva sekä raski hapanjuuritaikinaan ja sokeri kylmäkohotustaikinaan. Hapanjuuritaikinaan käytetty raski oli ruokittu taikinoiden valmistusta edeltävällä viikolla. Taikinoita vaivattiin kuvan 17 yleiskoneella ensin hitaalla teholla 2 minuuttia, jonka jälkeen 6 minuuttia suuremmalla teholla. Vaivauksen jälkeen taikinoiden lämpötila mitattiin ja taikinat siirrettiin taikinakulhosta kannellisiin vuokiin kylmiöön.



Kuva 17. Taikinan vaivaus yleiskoneella.

## 9.2 pH:n mittaus

Eri taikinoiden pH:n muutosta kylmäkohotuksen aikana tutkittiin kolmessa eri kokeessa, joissa taikinoiden säilytyslämpötila pysyi samana, mutta taikinat ja kohotusaika vaihtelivat. pH:n mittaamiseen käytettiin Mettler Tolledon Seven Easy pH-mittaria. Mittari kalibroitiin ennen jokaista koetta pH-arvojen 4 ja 7 puskuriliuoksilla.

### 9.2.1 Ensimmäinen koe

Ensimmäisessä kokeessa teollisen tuotannon taikinasta otettiin noin 200 gramman näyte, joka laitettiin suljettavaan muovipurkkiin. Taikinan pH mitattiin heti näytteenoton jälkeen ja sen jälkeen näyte siirrettiin 3 °C:n lämpötilaan. Mittaus toistettiin 24 tunnin välein neljän vuorokauden ajan. Jokaisella mittauskerralla taikinanäytteen pH mitattiin kolmesta sattumanvaraisesta kohdasta (kuva 18, s. 28).





Kuva 18. Ensimmäisen kokeen pH-mittaus.

### 9.2.2 Toinen koe

Toisessa kokeessa pH:ta mitattiin laboratoriomittakaavan kylmäkohotetuista vehnä- ja hapanjuuritaikinasta kuva sekä raskista. Noin 750 gramman taikinoista mitattiin pH heti taikinoiden valmistuksen jälkeen ja sen jälkeen 24 tunnin välein neljän vuorokauden ajan. Hapanjuuritaikinän lämpötila oli valmistuksen jälkeen 26,3 °C ja kylmäkohotustaikinän 28 °C. Jokaisella mittauskerralla taikinoiden pH mitattiin näytteiden keskeltä sekä molemmilta reunoilta (kuva 19).



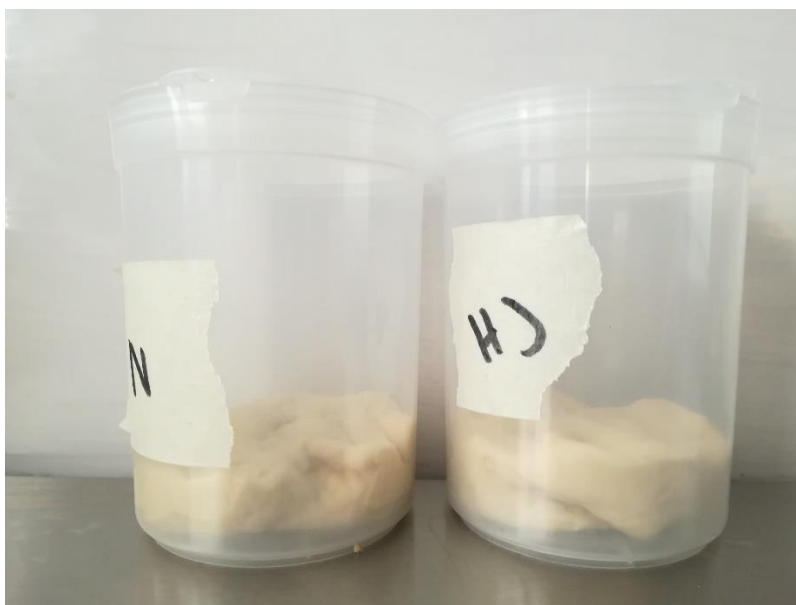
Kuva 19. Toisen kokeen pH-mittaus.

### 9.2.3 Kolmas koe

Kolmannessa kokeessa pH-mittaukset suoritettiin vain kerran 16–26 tuntia kohonneille kylmäkohotetuille vehnätaikinoille. Kymmenestä teollisen tuotannon taikinasta otettiin pieni näyte taikinoiden keskeltä pH-mittausta varten. Taikinoista neljä oli valmistettu jo aamuvuoron aikana ja loput kuusi iltavuoron aikana pH-mittausta edeltävänä päivänä.

### 9.3 Kohotuskoe

Kohotuskokeessa laboratoriomittakaavan kylmäkohotus- ja hapanjuuri-taikinoista punnittiin noin 50 gramman näyte erilliseen pieneen suljettavaan muovipurkkiin ja muovipurkki siirrettiin 3 °C:n lämpötilaan. Näytteistä otettiin kuvan 20 mukainen valokuva 0-hetkestä lähtien 24 tunnin välein neljän päivän ajan.



Kuva 20. Kohotuskokeen taikinanäytteet taikinan valmistuksen jälkeen.

### 9.4 Lämpötilan seuranta

Taikinoiden lämpötilaa seurattiin neljän eri data-loggerin avulla. Data-loggeri kerää lämpötiladataa muistiin ja erillisen tietokoneohjelmiston avulla loggerien data voidaan purkaa tietokoneelle. Loggerit yhdistettiin aluksi tietokoneeseen USB-liitännän avulla ja mittaus toiminto kytkettiin päälle ja mittausväliksi valittiin viisi minuuttia. Loggereista kolme oli piikillistä mallia ja yksi piikitön. Piikitön loggeri laitettiin pienen, alle kilon vertailutaikinanäytteen keskelle osittain näkyviin. Piikillisistä loggereista kaksi työnnettiin teollisen taikinan keskelle pystysuoraan (kuva 21. s. 30) ja yksi vaakatasoon taikinan päälle.



Kuva 21. Data-loggeri taikinassa.

## 10 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Tulosten tarkastelussa esitetään pH-mittausten, kohotuskokeen, lämpötilaloggeroinnin sekä aistinvaraisen säilyvyyden arvioinnin tulokset. Taikinan pH-mittausten tulokset on jaettu kolmeen eri osaan ja tulokset on esitetty taulukkoina ja kuvaajina. Myös lämpötilaloggeroinnin tulokset on esitetty taulukkomuodossa ja kuvaajana. Kohotuskokeessa ja säilyvyyden tutkimisessä arviointi suoritettiin aistinvaraisesti ilman tarkempaa mittaamista.

### 10.1 pH-mittaukset

Ensimmäisen kokeen vehnätaikinanäytteen pH mitattiin 24 tunnin välein neljän vuorokauden ajan. Jokaisella mittauskerralla pH mitattiin kolmesta sattumanvaraisesta kohdasta näytettä. Taikinan valmistuksen jälkeen lämpimän taikinanäytteen pH oli 5,93–5,97. 24, 48 ja 72 tunnin mittaukset tehtiin kylmille taikinoille. Sivun 31 taulukosta 7 nähdään, että mittaustuloksissa on jonkin verran vaihtelua taikinan eri mittauskohtien välillä. 24 tunnin kohdalla mitatuista pH-arvoista korkein oli 5,86 ja matalin 5,68. 48 tunnin mittaushetkellä korkein pH-arvo oli 5,89 ja matalin 5,68 ja 72 tunnin kohdalla korkein arvo 5,52 ja matalin arvo 5,87. Vaikka mittaustuloksissa oli heittelyä, tulosten keskiarvojen mukaan taikinanäytteen pH on kuitenkin laskenut koko kohotuksen ajan. Kuvaajasta (kuva 22, s. 31) nähdään taikinanäytteen pH-mittaustulosten keskiarvoista muodostuva laskeva käyrä.

Taulukko 7. Ensimmäisen kokeen pH-arvot

Mittausaika	0 h	24 h	48 h	72 h
	pH			
	5,93	5,85	5,75	5,52
	5,96	5,86	5,89	5,87
	5,97	5,68	5,68	5,87
Keskiarvo	5,95	5,87	5,77	5,75



Kuva 22. Ensimmäisen kokeen taikinän pH:n muutos.

Toisessa kokeessa pH-mittausten aikaväli pysyi samana kuin ensimmäisessä kokeessa, mutta mittaukset tehtiin eri taikinänäytteistä sekä raskista. Hapanjuuritaikinaan käytetyn raskin pH:ksi mitattiin 3,46. Jokaisella mittauksella pH mitattiin kolme kertaa, kerran taikinoiden keskeltä ja kahdesti reunasta. Vehnätaikinassa mittaustulosten mukaan pH oli 0-hetkellä korkeimmillaan 5,82 ja matalimmillaan 5,78 (taulukko 8, s. 31). 72 tunnin kohotuksen jälkeen pH-arvoksi mitattiin alimmillaan 5,51. Ensimmäiseen kokeeseen verrattuna toisen kokeen vehnätaikinän 0-hetken mittaustulosten keskiarvo pH 5,81 oli matalampi kuin ensimmäisen kokeen vehnätaikinänäytteen mittaustulosten keskiarvo pH 5,87 24 tunnin kohotuksen jälkeen. Hapanjuuritaikinän pH 5,52 oli 0-hetkellä mittaustulosten keskiarvojen mukaan noin 0,3 matalampi kuin vehnätaikinän pH (taulukko 9, s. 32). Matalin hapanjuuritaikinasta mitattu pH-arvo 5,24 saatiin 48 tunnin kohotuksen jälkeen. 72 tunnin kohotuksen jälkeen mitatut pH-arvot olivat kaikki korkeampia, kuin 48 tunnin kohotuksen jälkeen mitatut arvot. Kuvaajasta (kuva 23, s. 32) nähdään, että vehnätaikinän mittaustulosten

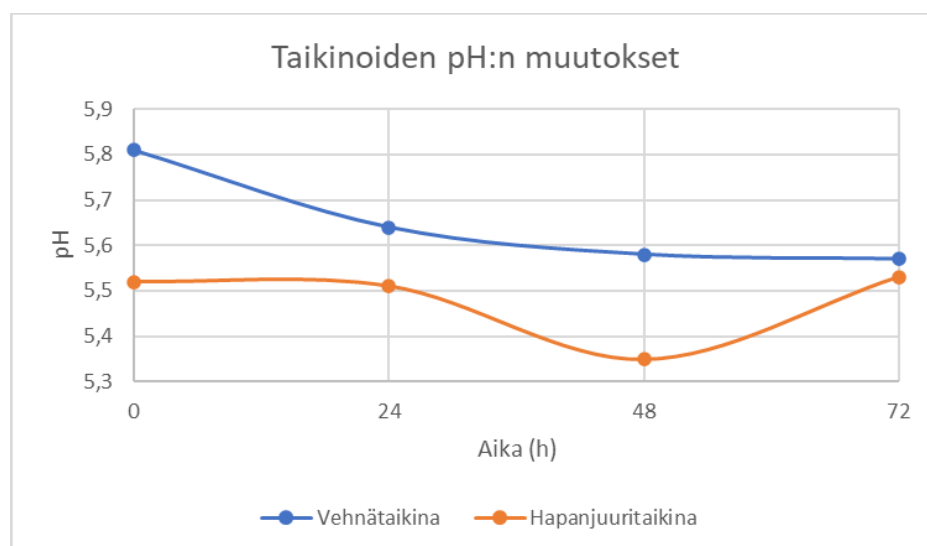
keskiarvoista saadaan laskeva käyrä. Hapanjuuritaikinan käyrä on laskeva 24 ja 48 tunnin välillä, mutta nousee 48 ja 72 tunnin välillä.

Taulukko 8. Toisen kokeen vehnätaikinan pH-arvot

Mittausaika	0 h	24 h	48 h	72 h
	pH			
Keskeltä	5,78	5,63	5,56	5,62
Reunasta	5,82	5,65	5,56	5,51
	5,82	5,63	5,63	5,58
Keskiarvo	5,81	5,64	5,58	5,57

Taulukko 9. Toisen kokeen hapanjuuritaikinan pH-arvot

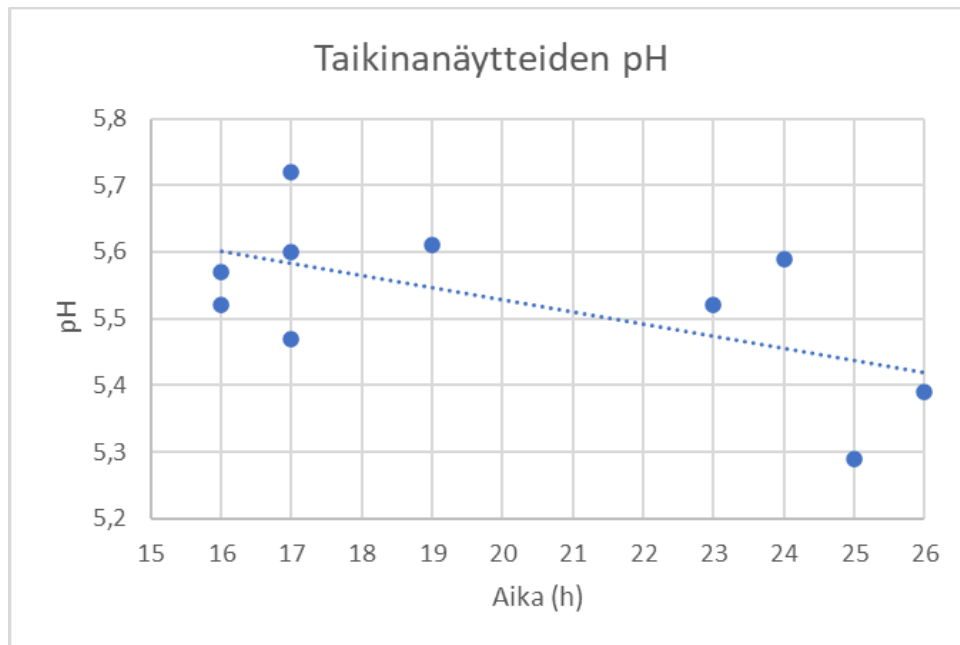
Mittausaika	0 h	24 h	48 h	72 h
	pH			
Keskeltä	5,50	5,44	5,24	5,54
Reunasta	5,51	5,55	5,40	5,54
	5,54	5,55	5,42	5,50
Keskiarvo	5,52	5,51	5,35	5,53



Kuva 23. Toisen kokeen kylmäkohotus- ja hapanjuuritaikinan pH:n muutokset.

Kolmannessa kokeessa pH-mittauksia ei tehty 0-hetkellä ollenkaan vaan vain jo valmiiksi kohonneista vehnätaikinoista. Mittaukset tehtiin kymmenestä eri teollisen valmistuksen taikinasta otetuista näytteistä ja taikinat olivat kohonneet mittaushetkellä kuudestatoista tunnista kahteenkymmenenkuuteen tuntia. Kuvaajasta (kuva 24, s. 33) nähdään, että näytteiden

pH-arvoissa on jonkin verran heittelyä, mutta lineaarinen trendiviiva on kuitenkin laskeva. Kolmen näytteen kohotusaika 17 tuntia on sama, mutta korkein mitattu pH-arvo on yli 5,7 ja matalin alle 5,5. Tulosten vaihteluun vaikuttavia tekijöitä ovat taikinanäytteiden lämpötila ja näytteen sijainti itse taikinassa. Näytteet pyrittiin ottamaan keskeltä taikinaa, mutta näytteenotto täsmälleen samasta kohdasta eri taikinoista kymmenen kertaa on käytännössä melko mahdotonta käsin.



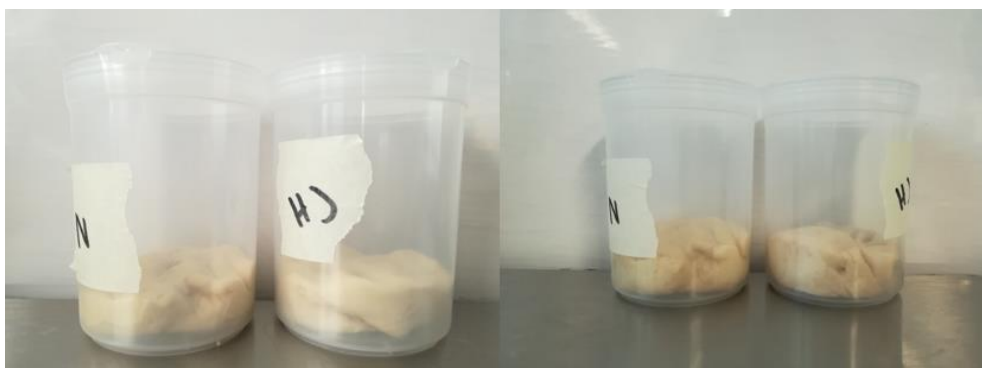
Kuva 24. Kolmannen kokeen taikinoiden pH-arvot.

## 10.2 Taikinoiden säilyvyys

Ensimmäisen ja toisen pH-mittauskokeen yhteydessä taikinan säilyvyyttä arvioitiin aistinvaraisesti. Aistinvarainen arviointi tapahtui haistamalla, maistamalla ja silmämääräisesti katsomalla taikinaa. Taikinoissa ei 72 tunnin kylmäkohotuksen aikana havaittu mikrobiologista pilaantumista, kuten homeiden kasvua tai taikinan rakenteen eli sitkoverkoston merkittävää heikentymistä. Mittaustulosten perusteella taikinoiden happamuus ei kuitenkaan laskenut tarpeeksi matalaksi estämään muiden mikrobien kasvusta, mutta toisaalta matala lämpötila taikinan päällä luo esimerkiksi ulkoisen kontaminaation kautta leviävien homeiden kasvulle epäsuotuisat olosuhteet. Matala lämpötila ja taikinan maltillinen happamuuden lasku vaikuttavat myös siihen, että taikinassa tapahtuva proteolyysi tapahtuu hitaammin ja sitkoproteiinien liukoisuus ei kasva liikaa, jolloin taikinan sitkeä ei heikenny niin paljon.

### 10.3 Kohotuskoe

Kohotuskokeessa käytettiin toiseen pH-mittauskokeeseen valmistetuista vehnä- ja hapanjuuritaikinoista otettuja näytteitä. Näytteet koodattiin niin, että N tarkoittaa vehnätaikinaa ja HJ hapanjuuritaikinaa. Taikinoiden kohoamista piti arvioida mittaamalla näytteiden korkeuden muutosta, mutta kuten kuvasta 25 nähdään, niin 72 tunnin aikana kummassakaan näytteessä hiivojen hiilidioksidin tuotannosta johtuvaa kohoamista ei juurikaan tapahtunut. 50 gramman näytteissä taikinan lämpötila laskee nopeasti yli 20 °C:sta 3 °C:n kohotuslämpötilaan ja matala lämpötila johtaa hiivojen toiminnan hidastumiseen ja lopulta keskeytymiseen.



Kuva 25. Taikinanäytteet 0-hetkellä ja 72 tunnin kohotuksen jälkeen.

### 10.4 Lämpötilan seuranta

Taikinoiden lämpötilan seurannassa neljä data-loggeria laitettiin kolmeen teollisen tuotannon vehnätaikinaan ja yhteen pieneen vehnätaikinanäytteeseen. Loggereiden mittausvälin pituudeksi valittiin viisi minuuttia ja mittareista 3 sijoitettiin pystyasentoon taikinoiden keskelle ja yksi vaakatasoon taikinan päälle. Vertailutaikinaassa sekä taikinoissa 1 ja 2 loggerit oli sijoitettu keskelle taikinaa pystyasentoon ja taikinaassa 3 vaakatasoon taikinan päälle. 23 tunnin kuluttua datan keruun aloittamisesta loggerit nourettiin pois taikinoista ja tietokoneohjelmiston avulla loggereiden keräämä data muutettiin excel-tiedostoksi. Tiedostosta eroteltiin loggereiden tunnin välein kirjaamat lämpötila-arvot (taulukko 10).

Taulukko 10. Taikinoiden lämpötilan muutos

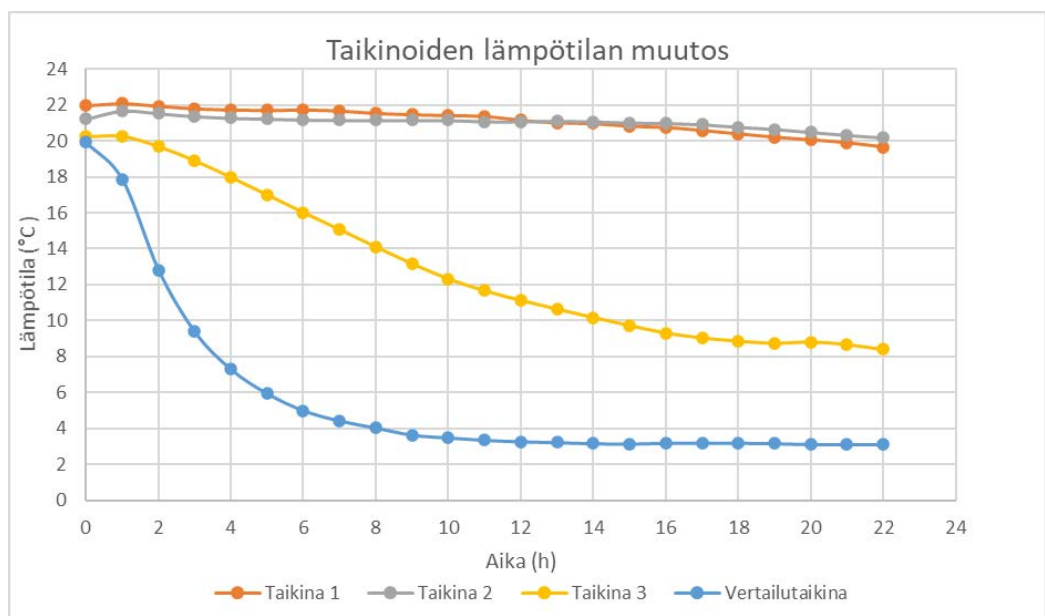
	Taikina 1	Taikina 2	Taikina 3	Vertailu- taikina
	Lämpötila (°C)			
Aika (h)				
0	22,0	21,1	20,2	19,9
1	22,1	21,7	20,2	17,9
2	21,9	21,5	19,7	12,8
3	21,8	21,5	18,9	9,4
4	21,7	21,4	18,0	7,3

Jatkuu

Jatkuu

5	21,7	21,3	17,0	5,9
6	21,7	21,2	16,0	5,0
7	21,7	21,2	15,1	4,4
8	21,5	21,2	14,1	4,0
9	21,4	21,2	13,2	3,6
10	21,4	21,2	12,3	3,5
11	21,4	21,1	11,7	3,4
12	21,2	21,1	11,1	3,3
13	21,0	21,1	10,6	3,2
14	21,0	21,1	10,2	3,1
15	20,8	21,0	9,7	3,2
16	20,7	21,0	9,3	3,2
17	20,6	20,9	9,0	3,2
18	20,4	20,8	8,9	3,2
19	20,2	20,7	8,7	3,2
20	20,1	20,5	8,8	3,1
21	19,9	20,3	8,7	3,1
22	19,7	20,2	8,4	3,1

Kuvan 26 kuvaajasta nähdään, teollisen mittakaavan taikinoissa 22 tunnin aikana taikinan sisälämpötila ei juurikaan laske 3 °C:n säilytyslämpötilassa. Taikinan sisälämpötila pysyy yli 20 °C:n lämpötilassa 21 tunnin ajan. Taikinan päällä lämpötila laskee 2 tunnin ja 10 tunnin välillä melko tasaisesti vähän alle 20 °C:sta 10 °C:seen. 22 tunnin kohdalla taikinan pinta on noin 8,4 °C. Vertailutaikinassa lämpötila laskee hyvin voimakkaasti ensimmäisen neljän tunnin aikana noin 20 °C:sta 7 °C:seen. 8 tunnin jälkeen taikinan lämpötila 4 °C on jo hyvin lähellä taikinoiden säilytyslämpötilää.



Kuva 26. Taikinoiden lämpötilan muutos.



## 11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Taikinan laatuun vaikuttavia tekijöitä on paljon ja joidenkin muuttujien, kuten lämpötilan ja ajan hallinta valmistusprosessin aikana voi olla haastavaa. Monella eri muuttujalla on myös suora vaikutus muihin muuttujiin, joten kaikkien vaikutus pitää ottaa huomioon valmistusprosessissa. Taikinan ominaisuuksia voidaan mitata esimerkiksi kemiallisilla, reologisilla ja mikrobiologisilla menetelmillä, mutta suurin osa eri analyysimenetelmistä vaatii kuitenkin erikoislaitteistoa ja voivat olla kalliita toteuttaa.

Taikinoiden pH-mittauksissa ensimmäisen ja toisen kokeen vehnätaikinoiden mittaustulosten keskiarvoista muodostui laskeva käyrä, eli taikinan happamuus laskee kylmäkohotuksen aikana. Toisen kokeen hapanjuuritaikinassa mittaustulosten mukaan pH nousi 48 ja 72 tunnin välillä, mutta kyseessä on todennäköisesti esimerkiksi näytteen lämpötilan vaihtelusta johtuva mittausrvirhe, koska kohotuksen aikana pH:n ei pitäisi nousta missään vaiheessa, vaan mikrobien toiminnan hidastuessa pH:n lasku myös hidastuu tai pysähtyy. Hapanjuuritaikinasta heti taikinan valmistuksen jälkeen mitattujen pH-arvojen keskiarvo 5,52 oli matalampi, kuin yhdenkään vehnätaikinan 0-hetken pH. Noin 3,5 pH-arvon raskilisäys hapanjuuritaikinaan aiheuttaa sen, että hapanjuuritaikinan pH on jo nollahetkellä matalampi kuin raskittomien vehnätaikinoiden pH. Oletettavissa myös on, tämän työn tuloksista poiketen hapanjuuritaikinan pH laskee enemmän kuin vehnätaikinoiden pH, koska maitohappobakteerien määrä on huomattavasti korkeampi. Kolmannen kokeen tuloksissa 16-26 tuntia kohotettujen taikinoiden pH-arvoissa oli vaihtelua jonkin verran, mutta arvoista muodostettu trendiviiva oli kuitenkin laskeva. Kaikkien kokeiden mittaustuloksissa oli vaihtelua, joka voi selittyä esimerkiksi taikinanäytteiden eri lämpötiloilla ja taikinan ominaisuuksien muutoksilla eri tavalla taikinan kohdasta riippuen.

Tämän työn perusteella pH:ta mittaamalla suoraan taikinasta eivät tulokset ole välttämättä täysin luotettavia ja lämpötilan vaihtelu voi vaikuttaa pH-arvoon. Toisaalta pH-mittausten otoskoko oli melko pieni. Toistamalla koe suuremmalla otoskoolla voitaisiin tulosten analysoinnissa hyödyntää tilastollisia menetelmiä. Lämpötilan vaihtelun vaikutusta mittaustuloksiin voidaan vähentää temperoimalla näyte tiettyyn lämpötilaan ennen pH-mittausta. Taikinan ominaisuuksien vaihtelun vaikutusta voidaan vähentää laimentamalla ja homogenisoimalla näyte ennen mittausta.

Kohotuskokeessa taikinanäytteet eivät kohonneet 72 tunnin kylmäkohotuksen aikana juurikaan. Näytteiden nopea jäähtyminen kolmen asteen säilytyslämpötilassa johtaa hiivojen toiminnan hidastumiseen, jolloin hiili-dioksidin liukoisuus kasvaa ja kaasurakkulat eivät laajennu, jolloin taikina

ei kohoaa. Kohoamattomuus johtaa tiiviiseen rakenteeseen niin taikinassa kuin lopputuotteessa ja lopputuote ei täytä laatukriteerejä.

Lämpötilaloggeroinnin perusteella teollisen taikinan sisälämpötila ei laske yli 3 °C 24 tunnin kylmäkohotuksen aikana. Taikina jäähtyy päältä nopeammin, mutta ei saavuta kuitenkaan säilytyslämpötilaa. Sisälämpötila pysyy optimaalisena mikrobien ja varsinkin hiivojen toiminnalle, jolloin taikina kohoaa hiivojen tuottaman hiilidioksidin ansiosta. Pienemmän vertailutaikinan lämpötila laskee huomattavan nopeasti jo kolmessa tunnissa alle 10 °C:n. Tällöin mikrobien toiminta taikinassa hidastuu merkittävästi ja taikinassa tapahtuvat muutokset tapahtuvat hitaammin teolliseen taikinaan verrattuna. Loggeroinnin perusteella voidaan päätellä, että kohotusolosuhteiden muuttaminen voi johtaa taikinassa nopeampaan tai hitaampaan jäähtymiseen, jolloin taikinoiden välille syntyy laatueroja. Myös taikinan keskiosan ja reunojen välillä on hyvin todennäköisesti ominaisuuseroja, koska kylmäkohotuksen aikana taikinan reunat jäähtyvät nopeammin keskiosaan verrattuna.

Taikinan massan kasvu johtaa hitaampaan jäähtymiseen, joten teollisen taikinan ominaisuuksien muutoksia ei voida mitata samoissa olosuhteissa kohotetun pienemmän taikinan avulla. Tästä syystä taikinan analyysit pitäisi tehdä ottamalla näyte suoraa teollisesta taikinasta tai muuttamalla pienen taikinan kohotusolosuhteita niin, että jäähtymiskäyrä vastaisi teollisen taikinan jäähtymiskäyrää.

Jatkossa pH-mittaukset tulisi suorittaa niin, että taikinanäyte laimennetaan ja temperoidaan ennen mittausta, jotta lämpötilan vaikutus tuloksiin saadaan vakioitua. Tässä työssä pH:ta tai lämpötilan muutosta ei mitattu ollenkaan teollisen valmistuksen hapanjuuritaikinasta, joten tulevaisuudessa koe kannattaa uusia ja valmistaa myös teollinen hapanjuuritaikina, jotta vehnätaikinan ja hapanjuuritaikinan pH:n ja lämpötilan muutoksia voidaan vertailla enemmän. Taikinoiden suuri massa vaikeuttaa myös taikinoiden näytteenottoa ja koko taikinaa edustavan näytteen saaminen on haasteellista. Tästä syystä näytteen ottaminen suoraan taikinan päältä voi olla taikinoiden laadunhallinnan kannalta helpommin toteutettavissa. Vaikka taikinan päältä otettu näyte ei kerrokaan taikinan sisällä tapahtuvasta pH:n muutoksesta, on näytteenotto kohta enemmän vakioitu ja tulosten vertailu muihin taikinoihin helpompaa verrattuna siihen, jos näyte olisikin yritetty ottaa suunnilleen taikinan keskeltä.

Taikinan mikrobiologiset analyysit ovat taikinoiden jatkuvan laadunhallinnan kannalta liian hitaita menetelmiä, koska tulosten saaminen kestää vähintään muutaman vuorokauden. Reologiset ja kemialliset analyysimenetelmät sen sijaan ovat kohtuullisen nopeita menetelmiä, joiden hyödyntäminen laadunvalvonnassa on helpompaa. Reologisten menetelmien toteutukseen vaadittavat laiteinvestoinnit voivat kuitenkin olla kustannukseltaan korkeat. Kemiallisten menetelmien laiteinvestointien kustannukset ovat matalammat, mutta toisaalta analyysiin tarvitaan erilaisia

reagensseja ja muita aineita. Analyysimenetelmät vaativat myös henkilöresursseja niin analyysien toteuttamiseen kuin laitteiden ylläpitoon.

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada lisää tietoa kylmäkohotettujen vehnä- ja hapanjuuritaikinoiden ominaisuuksista ja säilyvyydestä sekä niiden mittaamisesta. Ominaisuuksien mittaamista varten luotiin koesuunnitelma, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa. Työssä suoritettujen mittausten perusteella saatiin lisää tietoa taikinan lämpötilan ja pH:n muutoksista kylmäkohotuksen aikana. Tulosten perusteella voitiin todeta taikinan matalan lämpötilan heikentävän hiivojen kaasuntuottoa merkittävästi. 72 tunnin kohotuksen aikana taikinoissa ei havaittu aistinvaraisesti arvioimalla mikrobiologista pilaantumista tai taikinan rakenteen heikentymistä.

## LÄHTEET

- Bakerpedia (n.d.a) Total Titratable Acidity (TTA). Haettu 19.3.2020 osoitteesta <https://bakerpedia.com/processes/titratable-acidity-tta/>
- Bakerpedia (n.d.b). Yeast Performance Testing. Haettu 2.4.2020 osoitteesta <https://bakerpedia.com/processes/yeast-performance-testing/>
- Bart Grain Foods Processing Machinery Co. (n.d.). Used France Chopin Allveograph LabInstruments. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <http://www.flour-machinery.com/index.php?c=product&id=264#.Xp3vZsgzZPY>
- Cauvain, S. (2007). Dough retarding and freezing. Teoksessa Cauvain, S. & Young, L. (toim.) *Technology of Breadmaking*. New York: Springer.
- Casado, A., Álvarez, A., González, L., Fernández, D., Marcos, J. & Tornadijo, M. (2017). Effect of fermentation on microbiological, physicochemical and physical characteristics of sourdough and impact of its use on bread quality. *Food Technology and Economy, Engineering and Physical Properties* (35), 496-506. Haettu 10.3.2020 osoitteesta [https://www.agriculture-journals.cz/publicFiles/68\\_2017-CJFS.pdf](https://www.agriculture-journals.cz/publicFiles/68_2017-CJFS.pdf)
- Chavan, R. & Chavan, S. (2011). Sourdough Technology – A Traditional Way for Wholesome Foods: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Volume 10, Issue 3. Haettu 20.2.2020 osoitteesta <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1541-4337.2011.00148.x>
- Chopin Technologies (n.d.). Rheo F4. Haettu 16.4.2020 osoitteesta <https://chopin.fr/en/page-dun-produit/rheo-f4.html>
- Chopin Technologies (2014). Rheo F4 (English). Haettu 16.4.2020 osoitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=m5UgT0j7mJk>
- Cornell, H. (2012). The chemistry and biochemistry of wheat. Teoksessa Cauvain, S. (toim.). *Breadmaking: Improving quality*. Amsterdam: Elsevier Science & Technology. Haettu 8.2.2020 Ebook Central -tietokanta.
- Cultures For Health (n.d.). Beyond the loaf: The many uses of sourdough. Haettu 26.3.2020 osoitteesta <https://www.culturesfor-health.com/learn/sourdough/beyond-loaf-many-uses-sourdough/>
- De Vuyst, L. & Neysens, P. (2005). The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. *Trends in Food Science and Technology*.

Haettu 8.2.2020 osoitteesta <http://comenius.susqu.edu/biol/312/the-sourdoughmicroflorabiodiversityandmetabolicinteractions.pdf>

Direct Industry (n.d.a). Extensograph-E. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <https://www.directindustry.com/prod/brabender-gmbh-co-kg/product-50061-1300575.html>

Direct Industry (n.d.b). Farinograph-E. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <https://www.directindustry.com/prod/brabender-gmbh-co-kg/product-50061-1300191.html>

Dunnewind, B., Sliwinski, E., Grolle, K. & Van Vliet, T. (2007). The kieffer dough and gluten extensibility rig – An experimental evaluation. *Journal of Texture Studies*. Volume 34, Issue 5-6. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-4603.2003.tb01080.x>

Edwards, W. (2007). *The science of bakery products*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry. Haettu 16.4.2020 Ebook Central -tietokanta.

Engström, N., Sandberg, A. S., & Scheers, N. (2015). Sourdough fermentation of wheat flour does not prevent the interaction of transglutaminase 2 with  $\alpha$ 2-gliadin or gluten. *Nutrients*, Volume 7, Issue 4, 2134–2144. Haettu 31.3.2020 osoitteesta <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4425136/#>

Guerzoni, M., Serrazanetti, D., Vernocchi, P. & Gianotti, A. (2013). Physiology and Biochemistry of Sourdough Yeasts. Teoksessa Gobbetti, M. & Gänzle, M. (toim.). *Handbook on Sourdough Biotechnology*. Berliini: Springer.

Hansen, Å. (2004). Sourdough Bread. Teoksessa Hui, Y., Meunier-Goddik, L., Josephsen, Å., Nip, W., Stanfield, P. & Toldrá, F. (toim.) *Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology*. Boca Raton: CRC Press LLC. Haettu 8.2.2020 osoitteesta Ebook Central -tietokanta.

History of bread (n.d.). Baker's yeast history – Origins and types of yeasts. Haettu 10.2.2020 osoitteesta <http://www.historyofbread.com/bread-history/history-of-bakers-yeast/>

Hengel (n.d.) Bread fermentation methods. Haettu 10.2.2020 osoitteesta <https://www.hengel.com/en/bread-fermentation-methods.html>

Hyslop (2018). On the rise: Sourdough fermentation ups 'better for you' properties to baked goods. Haettu 26.3.2020 osoitteesta <https://www.bakeryandsnacks.com/Article/2018/03/15/On-the-rise-Sourdough-fermentation-ups-better-for-you-properties-to-baked-goods>

Häggman, M (2010). Leipomo- ja myllytuotteet. Teoksessa Saarela, A., Hyvönen, P., Määttä, S. & Von Wright, A. (toim.). *Elintarvikeprosessit*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

Jussila, A., Ahonen, H. & Virtanen K. (2017). Taikinanteko ja ylöslyönti. Teoksessa Salovaara, H., Ignatius, A., Jussila, A. & Hurri-Martikainen, M. *Leivonnan teknologia – Ruokaleipä*. Helsinki: Suomen leipuriliitto ry.

Kornbrust, B., Forman, T. & Matveeva, I. (2012). Applications of enzymes in breadmaking. Teoksessa Cauvain, S. (toim.) *Breadmaking: Improving quality*. Amsterdam: Elsevier Science & Technology. Haettu 8.2.2020 Ebook Central -tietokanta.

Lallemand (2018). How Flour Affects Bread Quality. *Lallemand Baking Update*. Volume 3, Number 11. Haettu 10.3.2020 osoitteesta [https://lallemandbaking.com/wp-content/uploads/2018/04/3\\_11FLOUR.pdf](https://lallemandbaking.com/wp-content/uploads/2018/04/3_11FLOUR.pdf)

Leipätiedotus (n.d.a.). Vehnä (*Triticum aestivum*). Haettu 10.2.2020 osoitteesta <https://www.leipätiedotus.fi/tietoa-leivasta/vilja/kotimaiset-viljat/vehna.html>

Leipätiedotus (n.d.b). Viljan jyvä. Haettu 10.2.2020 osoitteesta <https://www.leipätiedotus.fi/tietoa-leivasta/vilja/viljan-jyva.html>

Manner, H. (2015). Taikinajuuren salaisuus. Teoksessa Mustonen, R. (toim.). *Ruisvoimaa*. Helsinki: Maahenki Oy.

Meuser, F. & Valentin M. (2004). Fermented Dough in Bread Production. Teoksessa Hui, Y., Meunier-Goddik, L., Josephsen, Å., Nip, W., Stanfield, P. & Toldrá, F. (toim.) *Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology*. Boca Raton: CRC Press LLC. Haettu 8.2.2020 Ebook Central -tietokanta.

Millar, S. & Tucker, G. (2012). Controlling bread dough development. Teoksessa Cauvain, S. (toim.). *Breadmaking: Improving quality*. Amsterdam: Elsevier Science & Technology. Haettu 8.2.2020 Ebook Central -tietokanta.

Mohebbi, Z., Homayouni, A., Azizi, M. & Hosseini, S. (2017). Effects of beta-glucan and resistant starch on wheat dough and prebiotic bread properties. *Journal of Food Science and Technology*. Haettu 15.2.2020 osoitteesta <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5756188/>

National manufacturing (n.d.). Risograph. Haettu 8.4.2020 osoitteesta <https://www.national-mfg.com/risograph>

Rad, A. & Kasaie, Z. (2017) A comparative study on different methods for the evaluation of baker's yeast bioactivity, *International Journal of Food Properties*, Volume 20, Number 1, 100-106. Haettu 2.4.2020 osoitteesta <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10942912.2016.1141297>

Rattin, G., Faubion, M., Walker, C. & Mense, A. (2009). Measuring Yeast CO<sub>2</sub> Production with the Risograph. *Cereal Foods World*. Volume 50, Number 6, 261-265. Haettu 25.2.2020 osoitteesta <https://www.cerealsgrains.org/publications/plexus/cfw/pastissues/2009/Documents/CFW-54-6-0261.pdf>

Rosada, D. (2019). The importance of water quality in baking. Haettu 18.3.2020 osoitteesta <https://www.bakemag.com/articles/11985-the-importance-of-water-quality-in-baking>

Ruokavirasto (n.d.) Yleistä mikrobeista. Haettu 7.2.2020 osoitteesta <https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikkeiden-turvallisen-kayton-ohjeet/ruokamyrkytykset/yleista-mikrobeista/>

Salovaara, H. (2017a). Leipurin kemiaa. Teoksessa Salovaara, H., Ignatius, A., Jussila, A. & Hurri-Martikainen, M. *Leivonnan teknologia – Ruokaleipä*. Helsinki: Suomen leipuriliitto ry.

Salovaara, H. (201b). Raaka-aineet. Teoksessa Salovaara, H., Ignatius, A., Jussila, A. & Hurri-Martikainen, M. *Leivonnan teknologia – Ruokaleipä*. Helsinki: Suomen leipuriliitto ry.

Salovaara, H. (2017c). Taikinan teko ja ylöslyönti. Teoksessa Salovaara, H., Ignatius, A., Jussila, A. & Hurri-Martikainen, M. *Leivonnan teknologia – Ruokaleipä*. Helsinki: Suomen leipuriliitto ry.

Salovaara, H., Kerojoki, H. & Jussila, A. Raaka-aineet. Teoksessa Salovaara, H., Ignatius, A., Jussila, A. & Hurri-Martikainen, M. *Leivonnan teknologia – Ruokaleipä*. Helsinki: Suomen leipuriliitto ry.

Salovaara, H. & Tuukkanen, K. (2017a). Raaka-aineet. Teoksessa Salovaara, H., Ignatius, A., Jussila, A. & Hurri-Martikainen, M. *Leivonnan teknologia – Ruokaleipä*. Helsinki: Suomen leipuriliitto ry.

Salovaara, H. & Tuukkanen, K. (2017b). Taikinanteko ja ylöslyönti. Teoksessa Salovaara, H., Ignatius, A., Jussila, A. & Hurri-Martikainen, M. *Leivonnan teknologia – Ruokaleipä*. Helsinki: Suomen leipuriliitto ry.

Sethy, K., Mishra, S., Mohanty, J., Agarawal, P., Meher, P., Satapathy, D., Sahoo, J., Panda, S. & Nayak, S. (2015). An Overview of Non-Starch Polysaccharide. *Journal Of Animal Nutrition And Physiology*. Haettu 20.2.2020 osoitteesta [http://jakraya.com/journal/pdf/1-janpArticle\\_3.pdf](http://jakraya.com/journal/pdf/1-janpArticle_3.pdf)

Serna-Saldivar, S. (2012). Cereal Grains laboratory reference and procedures manual. Boca Raton: CRC Press. Haettu 15.4.2020 Ebook Central -tietokanta.

Serna-Saldivar, S. (2010). *Cereal grains: properties, processing and nutritional attributes*. Boca Raton: CRC Press. Haettu 03.04.2020 Ebook Central -tietokanta.

Shelton, D. & Lee, W. (2000). Cereal Carbohydrates. Teoksessa Kulp, K. & Ponte, J. (toim.). *Handbook of Cereal Science and Technology, second edition*. New York: Marcel Dekker

Shewry, P. & Hey, S. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. *NBCI*. Haettu 13.2.2020 osoitteesta <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4998136/>

Smewing (2014). Texture Analysis in action: the Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig. Blogijulkaisu 18.12.2014. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <https://textureanalysisprofessionals.blogspot.com/2014/12/texture-analysis-in-action-kieffer.html>

Smewing (2015a). Texture Analysis in Action: the SMS/Chen-Hoseney Dough Stickiness Rig. Blogijulkaisu 19.2.2015. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <https://textureanalysisprofessionals.blogspot.com/2015/02/texture-analysis-in-action-smschen.html>

Smewing (2015b). Texture Analysis in Action: the Warburtons Dough Stickiness System. Blogijulkaisu 26.3.2015. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <https://textureanalysisprofessionals.blogspot.com/2015/03/texture-analysis-in-action-warburtons.html>

Solunetti (n.d.). Hiivat. Haettu 7.2.2020 osoitteesta <http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/hiivat/2/>

Stable Micro Systems (n.d.a). Bakery Product Texture Measurement. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <https://www.stablemicrosystems.com/BakeryProductTesting.html>

Stable Micro Systems (n.d.b). Dobraszczyk/Robers Dough Inflation System. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <https://www.stablemicrosystems.com/DoughInflationSystem.html>

Stable Micro Systems (n.d.c) How a Texture Analyser works. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <https://www.stablemicrosystems.com/HowATextureAnalyserWorks.html>



Stable Micro Systems (n.d.d). The Texture Analyser range. Haettu 20.4.2020 osoitteesta <https://www.stablemicrosystems.com/CompareTextureAnalysers.html>

Stolz, P. (2003). Biological Fundamentals of Yeast and Lactobacilli Fermentation in Bread Dough. Teoksessa Kulp, K. & Lorenz, K. (toim.) *Handbook of Dough Fermentations*. Boca Raton. CRC Press.

Struyf, N., Van der Maelen, E., Hemdane, S., Verspreet, J., Verstrepen, K. & Courtin, C. (2017). Bread Dough and Baker's Yeast: An Uplifting Synergy. *Comprehensive Reviews In Food Science and Food Safety*. Volume 16, 850-867. Haettu 3.3.2020 osoitteesta <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/1541-4337.12282>

Tan, S., Shamsudin, R., Mohammed, M. & Rahman, N. (2016). Effect of mixing period, water and sugar on the sesame cracker dough stickiness. *International Food Research Journal*. 249-254. Haettu 20.4.2020 osoitteesta [http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20\(06\)%202016%20supplementary/\(36\)%20IFRJ-16496%20Shamsuddin.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20(06)%202016%20supplementary/(36)%20IFRJ-16496%20Shamsuddin.pdf)

Von Wright, A. & Axelsson, L. (2011) Lactic Acid Bacteria: An Introduction. Teoksessa Lahtinen, S., Ouwenhand, A., Salminen, S. & Von Wright, A. (toim.). *Lactic acid bacteria: microbiological and functional aspect. Fourth edition*. Boca Raton: CRC Press LLC. Haettu 15.2.2020 Ebook Central -tietokanta.

Wilde, P. (2012). Foam formation in dough and bread quality. Teoksessa Cauvain, S. (toim.). *Breadmaking: Improving quality*. Amsterdam: Elsevier Science & Technology. Haettu 8.2.2020 Ebook Central -tietokanta.

Young, L. (2012). Application of texture analysis to dough and bread. Teoksessa Cauvain, S. (toim.). *Breadmaking: Improving quality*. Amsterdam: Elsevier Science & Technology. Haettu 8.2.2020 Ebook Central -tietokanta.

Zaidel, D., Chin, N. & Yusof, A. (2010). A Review on Rheological Properties and Measurements of Dough and Gluten. *Journal of Applied Sciences*. Volume 10, 2478-2490. Haettu 20.3.2020 osoitteesta <https://scialert.net/fulltextmobile/?doi=jas.2010.2478.2490>