

SEAMK

Seinäjoen ammattikorkeakoulu
Seinäjoki University of Applied Sciences

Pinja Korhonen

Hapanjuurien vertailu gluteenittoman hapanjuurileivän leivontaprosessissa

Opinnäytetyö

Kevät 2026

Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka

Tekijä: Pinja Korhonen

Työn nimi: Hapanjuurien vertailu gluteenittoman hapanjuurileivän leivontaprosessissa

Ohjaaja: Merja Kyntäjä

Vuosi: 2026

Sivumäärä: 58

Liitteiden lukumäärä: 1

Työn tavoitteena oli kehittää gluteeniton hapanjuurileipäresepti yksinkertaisista raaka-aineista kotileipureille ja kuluttajille. Tarkoituksena oli osoittaa, että kuluttaja voi kasvattaa riittävän voimakkaan ja elinvoimaisen hapanjuuren kotikeittiöön optimoidussa kasvuympäristössä sekä valmistaa gluteenitonta hapanjuurileipää, joka eroaa rakenteeltaan ja maultaan perinteisestä gluteenittomasta leivästä. Työssä verrattiin itse valmistetun ja kaupallisen hapanjuuren kehitystä ja toimivuutta leivän valmistusprosessissa. Tällä pyrittiin osoittamaan, että kotijuurella voidaan valmistaa gluteenitonta hapanjuurileipää, joka on tulokseltaan yhtä hyvä tai jopa parempi kuin kaupallisella hapanjuurella valmistettu leipä.

Gluteenittomien hapanjuurien kehitystä seurattiin pH-näytteiden avulla. Valmiiden hapanjuurileipien rakennetta analysoitiin rakenneanalysointilaitteella ja leipien kuorista sekä sisuksista mitattiin veden aktiivisuus ja kosteuspitoisuus. Lisäksi hapanjuurileipien tilavuus ja paistohäviöt määritettiin. Valmiit tuotteet arviointiin aistinvaraisesti.

Tulokset osoittavat, että kotikeittiössä on mahdollista kasvattaa elinvoimainen juuri ja leipoa laadukasta gluteenitonta hapanjuurileipää ilman leipomo-olosuhteita. Leivontaprosessien vertailu osoitti, että kotijuurta käyttämällä päästään yhtä hyviin leivontatuloksiin kuin kaupallisella juurella. Mittaustulosten ja aistinvaraisen arvioinnin perusteella gluteenittoman kotijuurileivän ja kaupallisen juurileivän välillä ei havaittu merkittäviä eroja. Työn tuloksia voidaan hyödyntää uusien hapanjuurituotteiden kehittämiseen.

¹ Asiasanat: hapanleipä, hapattaminen, gluteenittomat tuotteet, rakenneanalyysi, tuotekehitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Food Processing and Biotechnology

Author: Pinja Korhonen

Title of thesis: Evaluating gluten-free sourdough starters during a gluten-free sourdough bread baking process

Supervisor: Merja Kyntäjä

Year: 2026

Number of pages: 58

Number of appendices: 1

The aim of the work was to develop a gluten-free sourdough recipe for home bakers and consumers. The purpose was to show that the consumer can develop a sufficiently active sourdough starter in a growing environment developed for the home kitchen.

The work compared the development and functionality of homemade and commercial gluten-free sourdough in the process of making gluten-free sourdough bread. The aim of the work was to show that it is possible to bake gluten-free sourdough bread as good or better with a homemade sourdough starter than with a commercial one. The development of gluten-free sourdough starter was monitored by pH-measurements. The finished sourdough breads were analysed using a structural analysis, water activity and moisture content measurements of the bread. The baking process and the final products were assessed by sensory analysis.

The results show that it is possible to make gluten-free bread without bakery conditions when using an active gluten-free sourdough starter. Based on measurement results and sensory evaluation no significant differences were found between homemade gluten-free and commercial sourdough bread. The results of the gluten-free sourdough bread project can be used to develop new gluten-free sourdough products.

¹ Keywords: sourdough bread, souring, gluten-free products, structural analysis, product development

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit	8
1 JOHDANTO	9
2 GLUTEENITON LEIVONTA	10
2.1 Gluteeni.....	10
2.2 Gluteenittomat viljat.....	11
2.2.1 Riisi	11
2.2.2 Kaura	13
2.2.3 Muita gluteenittomia viljoja.....	14
2.3 Gluteenittomat tärkkelykset	14
2.4 Hydrokolloidit.....	15
3 HAPANJUURILEIVONTA	17
3.1 Hapanjuuren valmistus.....	17
3.2 Maitohappobakteerit ja hiivat.....	18
3.3 Startterit.....	19
3.4 Esitaikinat.....	19
3.5 Juuren säilytys.....	20
4 TUTKIMUKSEN RESEPTIIKKA JA MENETELMÄT	22
5 GLUTEENITON HAPANJUURILEIPÄ.....	24
5.1 Hapanjuuren valmistus.....	24
5.2 Reseptiikan kehitys	29
5.3 Taikinan valmistus.....	31
5.4 Muotoilu ja kohotus	32
5.5 Paistoprosessi ja lopputulos.....	33
6 MITTAUSMENETELMÄT	36
6.1 Säilyvyysajan määrittäminen.....	36

6.2	Leivän rakennemittaus	36
6.3	Leivän kosteus ja a_w -arvo	39
6.4	Leivän tilavuusmittaus ja paistohäviö	40
6.5	Juurien pH-arvot.....	41
6.6	Aistinvarainen arviointi	42
7	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	44
8	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	53
	LÄHTEET	55
	LIITTEET	58

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Kuivatun gluteenittoman riisihapanjuuren pakkaus ja sisältö.	24
Kuva 2. Kotikeittiöön rakennettu hapanjuuren kasvuympäristö.....	25
Kuva 3. Ruokintajakso 1: kotijuuri (vasen) ja kaupallinen juuri (oikea).....	27
Kuva 4. Kotijuuri (vasen) ja kaupallinen juuri (oikea) ruokintajakson 6 viimeisenä päivänä. ...	28
Kuva 5. Turvotettu, leivontavalmis psylliumgeeli.	32
Kuva 6. Kohonneet ja pintaviilletyt leivät kotijuurella (vasen) ja kaupallisella juurella (oikea).....	34
Kuva 7. Kullanruskeaksi paistuneet hapanjuurileivät kotijuurella (vasen) ja kaupallisella juurella (oikea).	35
Kuva 8. Hapanjuurileivän kuoren rakennemittaus.....	38
Kuva 9. Hapanjuurileivän sisuksen rakennemittaus leipäviipaleista.	38
Kuva 10. Näytteiden analysointi Precisa XM60 -kosteusanalysointilaitteella.	39
Kuva 11. Aktiivisen vesipitoisuuden määrittäminen Novasina LabMASTER -mittalaitteella...	40
Kuva 12. pH-mittari ja pH-liuskat hapanjuurien happamuuden analysointiin.	42
Kuva 13. Hapanjuurinäytteiden tulokset pH-liuskoilla.	45
Kuva 14. Murukoko kuivahtaneessa sekä pehmeässä kotijuurileivässä (vasen) ja kaupallisessa juurileivässä (oikea).....	51
Kuvio 1. Hapanjuurien pinnankorkeuden kehitys ruokintakertojen välillä ruokintajaksolla 1. .	26
Kuvio 2. Hapanjuurien pinnankorkeuden kehitys ruokintakertojen välillä ruokintajaksolla 6. .	28
Kuvio 3. Hapanjuurinäytteiden pH-arvojen kehitys ruokintajaksoilla 1 ja 6.	44

Kuvio 4. Hapanjuurileipien kuorten ja sisusten rakenteen palautuminen puristustestistä (n=3).	46
Kuvio 5. Hapanjuurileipien kuorten kosteusanalyysin tulokset.	47
Kuvio 6. Hapanjuurileipien sisusten kosteusanalyysin tulokset.	48
Taulukko 1. Reseptiikassa käytetyt raaka-aineet ja prosenttiosuudet koko taikinan painosta sekä psylliumin osuus jauhojen kokonaispainosta (%).	30
Taulukko 2. Muutokset reseptiikkaan (testileivonta 2 ja 3) ja valmis resepti (%).	31
Taulukko 3. Veden aktiivisuus (a_w) hapanjuurileivissä.	48
Taulukko 4. Hapanjuurileipien paistohäviöt.	49

Käytetyt termit

Autolyysi	Taikinan esivalmistusvaihe, jossa jauhojen ja veden seos lepää ennen juureen lisäämistä. Parantaa taikinan laatua, kuten käsiteltävyyttä ja rakennetta.
Eksogeeninen	Hapanjuurileivonnassa juureen tai taikinaan ulkopuolelta lisättyjä tekijöitä, kuten hiivaa tai entsyymejä.
Endogeeninen	Hapanjuurileivonnassa jauhojen ja taikinan oma, luonnostaan esiintyvä mikrobikanta.
Fermentointi	Hapatusprosessi, jossa mikro-organismit muuttavat sokereita hapoiksi, alkoholiksi ja hiilidioksidiksi. Käymisreaktio laskee hapatettavan tuotteen pH-arvoa.
Hiilihydraattipolymeeri	Pitkäketjuinen ja monimutkainen hiilihydraatti (polysakkaridi), joka muodostuu useista toisiinsa liittyneistä monosakkaridi- eli sokeryyksiköistä. Vaikuttaa taikinan rakenteeseen ja ominaisuuksiin.
Inaktivaatio	Mikro-organismien tekeminen toimintakyvyttömäksi elintarvikkeiden säilyvyyden ja turvallisuuden parantamiseksi.
Konsistenssi	Taikinan tai valmiin tuotteen rakenne ja koostumus leivonnassa.
Käymismetabolia	Mikrobien tapa tuottaa energiaa hajottamalla hapanjuuren sisältämiä sokereita.
Pseudoviljat	Luontaisesti gluteenittomia kasveja, joiden siementen peruskoostumus muistuttaa viljanjyviä.
Siirroste	Pieni määrä aktiivista hapanjuurta, jota lisätään uuteen taikinaan käymisen edistämiseksi.

1 JOHDANTO

Leipä on yksi suomalaisen ruokakulttuurin kulmakivi, josta erityisesti hapanjuurella leivottuun ruisleipään on kasvatettu tiivis ja vankkumaton suhde. Valitettavasti kasvava määrä suomalaisia joutuu luopumaan perinteisestä leipäkulttuurista, sillä yhä useampi sairastaa keliakiaa ja noudattaa täysin gluteenitonta ruokavaliota. Gluteenia sisältäviä leipätuotteita vältellään myös muiden sairauksien tai ravitsemuksellisten syiden vuoksi. Gluteenittomista raaka-aineista valmistettujen leipien maku ja rakenne poikkeaa gluteenia sisältävistä tuotteista.

Opinnäytetyötä varten käytiin keskusteluja gluteenitonta ruokavaliota noudattavien henkilöiden kanssa ja perehdyttiin suljetussa Facebook-ryhmässä julkaistuun gluteenittomaan hapanjuurileivontaan liittyvään sisältöön. Keskustelujen pohjalta todettiin, että moni gluteenitonta ruokavaliota noudattava kuluttaja välttelee teollisesti valmistettuja leipätuotteita. Epämiellyttävät makuun tai koostumukseen liittyvät aistikokemukset olivat yleisimmin keskusteluissa ilmennyt syy tuotteiden ostamatta jättämiseen. Keskusteluissa sekä useissa Facebook-ryhmän aloituksissa ilmeni kuluttajien kiinnostus hapanjuurileivontaa kohtaan. Aloitusten yhteyteen jätetyt kommentit osoittivat, että varsinkin leivontaa aloittelevat kuluttajat kaipaavat selkeää ja helposti noudatettavaa reseptiikkaa. Päätettiin kehittää reseptiikka kotileipureille ja kuluttajille, jotka haluavat valmistaa gluteenitonta hapanjuurileipää yksinkertaisista raaka-aineista kotikeittiöolosuhteissa.

Tavoitteena oli osoittaa, että kuluttajan on mahdollista kasvattaa riittävän voimakas ja elinvoimainen gluteeniton hapanjuuri kotikeittiöön optimoidussa kasvuympäristössä. Lisäksi tavoitteena oli todistaa, että itse valmistetulla hapanjuurella on mahdollista valmistaa yhtä hyvää tai parempaa leipää kuin kaupallisella hapanjuurella ilman leipomo-olosuhteita. Tutkimus toteutettiin vertailemalla itse valmistetun ja kaupallisen hapanjuuren kehitystä sekä toimivuutta gluteenittoman hapanjuurileivän valmistusprosessissa. Valmistusprosessissa käytettiin itse kehitettyä reseptiikkaa. Tavoite toteutettiin kehittämällä kotikeittiöolosuhteissa valmistuva gluteeniton hapanjuurileipä, joka ei muistuttanut ominaisuuksiltaan perinteistä gluteenitonta leipää.

2 GLUTEENITON LEIVONTA

2.1 Gluteeni

Gluteeniton-sanalla on kaksi eri käyttötarkoitusta sekä merkitystä (Salovaara ym., 2017, s.128). Leivontateknologisesti gluteenilla tarkoitetaan vehnän sitkoa eli taikinan vaivauksen aikana muodostuvaa joustavaa ja verkkomaista kalvorakennetta (mts. 276). Sitko syntyy veden ja vehnän varastoproteiinien, gliadiinin ja gluteniinin, sekoittuessa toisiinsa. Leivontateknologisesti gluteeniton leivonta on siis leivontaa ilman vehnää (mts. 128).

Lääketieteellisessä merkityksessä gluteenilla tarkoitetaan vehnän, rukiin ja ohran luontaisesti sisältämää prolamiiniproteiinia, joka ei sovellu keliakikoille (Salovaara ym., 2017, s. 128). Keliakia on autoimmuunitauti, jossa gluteeni aiheuttaa ohutsuolen limakalvon tulehduksen ja suolinukan vaurioitumisen (Tunturi, 2024). Keliakiaa esiintyy henkilöillä, joilla on perinnöllinen alttius sairastua. Keliakia voidaan todeta eri tavoin, mutta ensisijaisena alkututkimuksena käytetään vasta-aineiden määrittystä verikokeiden avulla.

Keliakian oireet esiintyvät tyypillisimmin vatsakipuina, suolen toiminnan ja ulosteiden koostumuksen vaihteluina sekä turvotuksena (Tunturi, 2024). Suolisto-oireiden lisäksi osalla keliakiaa sairastavilla esiintyy iho-oireita, jotka liittyvät ihokeliakiaan. Keliakiaan liittyy usein myös ravintoaineiden imeytymishäiriö, sillä suolinukan vaurioituessa ravintoaineiden imeytyminen solujen kautta verenkiertoon häiriintyy. Keliakiaa sairastavan henkilön on noudatettava gluteenitonta ruokavaliota, jossa gluteenia sisältävät viljat ja tuotteet korvataan gluteenittomilla vaihtoehdoilla.

Gluteenittomat tuotteet valmistetaan nimenomaan keliakikoille soveltuvaksi (Salovaara ym., 2017, s. 128). Euroopan komission asetuksella (EY) N:o 41/2009 määritellään tarkasti gluteenittomat tuotteet ja niiden valmistus. Asetus perustuu kansainväliseen Codex Alimentarius -standardiin (Codex Stan 118–1979). Kontaminaatoriskin poistamiseksi gluteenittomien tuotteiden tuotantotilat eristetään muusta tuotannosta tai tuotantotiloja käytetään ainoastaan gluteenittomien tuotteiden valmistamiseen. Tarkat lainsäädännölliset vaatimukset koskevat valmistuksen lisäksi gluteenittomien tuotteiden koostumusta sekä pakkausmerkintöjä. Kuluttajille myyntivalmiit elintarvikkeet tulee nimetä asetuksen (EY) N:o 41/2009 mukaisesti. Gluteeniton -nimikkeellä myytävän tuotteen gluteenipitoisuus ei saa ylittää 20 mg/kg. Erittäin

vähägluteeninen -nimikkeellä gluteenipitoisuuden yläraja on 100 mg/kg. Gluteeniton-merkintä on mahdollista liittää elintarvikkeisiin, jotka täyttävät asetuksen (EY) N:o 41/2009 ja Euroopan komission täytäntöönpanoasetuksen (EU) N:o 828/2014 ehdot.

2.2 Gluteenittomat viljat

Gluteenittomassa leivonnassa käytetään gluteenittomia viljoja, siemeniä, palkoviljoja, tärkkelyksiä sekä pseudoviljoja (Salovaara ym., 2017, s. 128). Gluteenittomassa leivonnassa käytettävät raaka-aineet eivät muodosta taikinaan vehnäleivonnalle tyypillistä viskoelastista sitkoverkostoa. Yleisesti gluteenittomassa leivonnassa käytettyjä viljakasveja ovat maissi, riisi, teff, hirssi ja kaura.

Kauraa sisältävissä elintarvikkeissa tulee huomioida Komission täytäntöönpanoasetuksen (EU) N:o 828/2014 liitteen B-kohdan lisävaatimukset:

B. Kauraa sisältäviä elintarvikkeita koskevat lisävaatimukset. Elintarvikkeisiin, joille on annettu nimitys ”gluteeniton” tai ”erittäin vähägluteeninen”, sisältyvän kauran on oltava erityisesti tuotettu, valmistettu ja/tai käsitelty siten, että vältetään vehnän, rukiin, ohran tai niiden risteytettyjen lajikkeiden aiheuttama kontaminaatio, ja tällaisen kauran gluteenipitoisuus saa olla enintään 20 mg/kg.

2.2.1 Riisi

Riisi on yksi maailman tärkeimmistä ravintokasveista ja sitä kasvatetaan maailmanlaajuisesti yli 100 eri maassa (Arendt & Zannini, 2013, s. 116–117). Valtaosa riisistä viljellään Kiinassa sekä Intiassa. Suurin osa kaupallisista riisilajikkeista kasvaa 1–2 metriä korkeaksi, mutta riisikasvien koko voi vaihdella 0,3–7 metrin välillä lajikkeen mukaan. Riisi luokitellaan puolivesikasviksi, mutta sitä voidaan viljellä niin maalla kuin syvässä vedessä (mts. 119). Riisin kasvuaika vaihtelee lajikkeen mukaan 80–280 vuorokauden välillä. Erilaiset ympäristötekijät, kuten lämpötila, ilmankosteus, ravinto, istutustiheys ja päivän pituus vaikuttavat olennaisesti riisin kasvuun.

Riisin jauhatusprosessin tavoitteena on erotella riisinjyvistä kuori, leseet ja alkio minimoimalla jyvän ytimen vaurioituminen (Arendt & Zannini, 2013, s. 133–134). Esipuhdistuksen aikana kuorimattomasta riisistä poistetaan muun muassa vieraat jyvät, kasvi- ja eläinperäiset epäpuhtaudet, maa-aines sekä metallipartikkelit. Puhdistusprosessissa käytetään pyörivällä

sekä värähtelevällä liikkeellä toimivia seuloja, painovoimaerottimia, sähkömagneetteja sekä ilmavirtaa. Puhdistuksen jälkeen riisinjyvät ohjataan koneelliseen kuorintaprosessiin.

Riisinjyvää ympäröivä syömäkeltoton kuori poistetaan yleisimmin laitteella, joka koostuu kahdesta vastakkain pyörivästä kumitelasta (Arendt & Zannini, 2013, s. 134–135). Telat pyörivät kahdella eri nopeudella vastakkaisiin suuntiin. Prosessissa riisinjyvät ohjataan kulkemaan telojen välistä, jolloin kuori irtoaa jyvän pinnalta ja irronneet kuoret poistetaan imujärjestelmän avulla. Kuoritut jyvät ohjataan levyerottimelle, joka erottelee jyvät liike-energian avulla kolmeen kategoriaan – kuorittuun eli ruskeaan riisiin, kuorimattomaan riisiin ja näiden kahden sekoitukseen. Rakenteeltaan kevyin ruskea riisi kulkeutuu levyerottimen etuosaan, josta jyvät ohjautuvat valkaistavaksi eli leseiden poistoprosessiin. Kuorimattomat riisinjyvät ohjautuvat erottimen takaosaan ja uudelleen kuorittavaksi. Levyerottimen keskiosaan jäävät riisinjyvät palautetaan takaisin erotteluprosessiin.

Valkaisuprosessin aikana ruskeasta riisistä poistetaan mekaanisesti jyvän uloin kuorikerros eli leseet (Arendt & Zannini, 2013, s. 135). Prosessissa kuorikerros voidaan poistaa hiomalla jyviä karkeaa pintaa vasten tai hyödyntää jyvien välistä kitkaa, joka rikkoo ja irrottaa leseet jyvän pinnalta. Valkaisuprosessista jyvät ohjataan kiillotettavaksi, jossa irtonainen lese poistuu riisinjyvien pinnalta. Jyvät kulkeutuvat kartion muotoiseen kiillotuskoneeseen, jossa riisin pinta harjautuu nahkaliuskoja vasten. Prosessin päätyttyä pinta on kirkkaampi ja hohtavampi.

Riisin jauhatusprosessissa käytetään kolmea eri menetelmää (Arendt & Zannini, 2013, s. 136). Perinteisin jauhatustapa on märkäjauhatus, jossa riisi liotetaan ja jauhetaan lisäveden kanssa. Märkäjauhettu riisi suodatetaan, kuivataan ja siivilöidään. Kuivajauhatus tapahtuu jauhamalla riisi myllytyslaitteistolla, kuten vasaramyllyllä tai levymyllyllä. Prosessin aikana ei käytetä lainkaan vettä. Puolikuivajauhatus yhdistelee kuiva- ja märkäjauhatukselle tyypillisiä prosessivaiheita. Puolikuivajauhatuksen aikana riisi liotetaan, kuivataan ja jauhetaan myllytyslaitteiston avulla.

Riisijauho on monipuolinen ja miedon makuinen tuote, joka sopii erinomaisesti gluteenittomaan leivontaan sekä ruoan valmistukseen (Virtasalmen Viljatuote, i.a.-b). Riisijauhoa on saatavilla hienoksi sekä karkeaksi jauhettuna. Täysjyväriisistä valmistettu riisijauho on hie-man vaaleaa riisijauhoa ravinteikkaampi vaihtoehto.

2.2.2 Kaura

Kaura on viljakasvi, josta 67 % maailmanlaajuisesta osuudesta viljellään pohjoisella pallonpuoliskolla (Arendt & Zannini, 2013, s. 245). Suomi on yksi eniten kauraa viljelevistä maista. Kaura on ravintorikas vilja, joka on hyvä kuidun, rasvojen ja kivennäisaineiden lähde (mts. 243). Kaura on luontaisesti gluteeniton vilja, mutta tuotantoketjun aikana voi tapahtua ristikontaminaatio vehnän, ohran tai rukiin kanssa (Tierna, 2024).

Gluteenittomassa ruokavaliassa tulee käyttää vain gluteenittomaksi merkittyjä kauratuotteita (Tierna, 2024). Koska kaura kasvaa usein rukiin, vehnän ja ohran kanssa, kauran gluteenittomuus on varmistettava puhdistamalla kaura muista viljoista. Kauran gluteenittomuus voidaan varmistaa kahdella tavalla, joista toinen on täysin gluteeniton tuotantoketju. Gluteenittomassa tuotantoketjussa kauran sekaan ei missään tuotannon vaiheessa pääse gluteenia sisältäviä viljoja. Toisessa tuotantotavassa muiden viljalajien kanssa kosketuksiin joutunut kaura kulkee tuotantoprosessissa useiden puhdistusvaiheiden sekä laadunvarmistuspisteiden läpi, joiden avulla vieraat viljat poistetaan kauran joukosta. Gluteenittomat tuotteet valmistetaan erillisellä tuotantolinjalla. Jotta tuotteiden gluteenittomuudesta voidaan varmistua, jokaisesta tuotantoerästä kerätään säännöllisin väliajoin näytteitä. Kerätyt näytteet analysoidaan gluteenittomuuden varmistamiseksi.

Kauran jauhatusprosessi alkaa esipuhdistuksella, jossa kaurasta erotellaan ja poistetaan il-mavirran sekä separaattorin avulla vieraspartikkelit, kuten oljet ja kivet (Arendt & Zannini, 2013, s. 267). Mahdolliset metallipartikkelit poistetaan käyttämällä magneettiseparaattoria. Erottelun jälkeen kaura ohjataan jyvän ominaisuuksiin perustuvan lajittelun kautta kuorinta-prosessiin.

Kauranjyvät kuoritaan joko isku- tai kivikuorintajärjestelmän avulla (Arendt & Zannini, 2013, s. 268–269). Kuoret ja hienoaines erotetaan kokonaisista, rikkoontuneista sekä kuorimattomista kauranjyvistä. Kuorimattomat jyvät uudelleenohjataan kuorintaprosessiin. Kuoritut jyvät lämpökäsitellään, josta kaura hyötyy monin eri tavoin. Lämpökäsittelyn myötä lopputuote ei esimerkiksi maistu kitkerältä. Lämpökäsittelyn aikana kauraan muodostuu miellyttävän paahteenen maku ja kevyen ruskea väri.

Lämpökäsittelyn jälkeen kauranjyvät ohjataan leikkausprosessiin, jossa jyvät pilkotaan kahdesta neljään osaan (Arendt & Zannini, 2013, s. 269). Palojen kokoon vaikuttaa muuan

muassa jyvän alkuperäinen koko, kosteus sekä leikkuuterien terävyys. Prosessin lopuksi kaurasta muodostuu seos, joka sisältää erikokoisia jyväpaloja ja hienojakoista sekä leikkaamatonta kauraa. Hienojakoinen aines ja kuorenpalat poistetaan imulaitteen avulla ja jäljelle jääneestä seoksesta valmistetaan kaurahiutaleita, kaurajauhoja sekä kauralesettä.

2.2.3 Muita gluteenittomia viljoja

Maissi on tunnettu viljelykasvi, joka on kotoisin Perusta (Leipätiedotus, i.a.). Maissin viljely on keskittynyt tietyille alueille, kuten Yhdysvaltoihin ja Kiinaan. Suomessa maissin elintarvikkeikäyttö on vähäistä. Maissia käytetään runsaammin teollisessa käytössä, kuten maissitärkkelyksenä. Maissia on useita eri lajeja, mutta suurimmat sadot syntyvät hybridimaisseista. Hybridimaissit yhdistelevät eri lajien ominaisuuksia. Maissin jyvän kemiallisesta koostumuksesta 76 % on vettä ja 19 % hiilihydraatteja.

Durra on afrikkalaislähtöinen, maailman viidenneksi viljellyin viljakasvi, joka kasvattaa suosiotaan jatkuvasti myös Suomessa (Wynne-Ellis & Lindberg, 2024). Durra sisältää runsaasti kuitua ja hivenaineita, jonka ansiosta se sopii tarvittaessa korvaamaan esimerkiksi gluteenittoman kauran. Suomessa durraa on saatavilla pääosin jauhoina ja kokonaisena jyvänä.

Tattari on yksi monipuolisimmin käytettävistä viljelykasveista, joka on lunastanut paikkansa gluteenittomassa keittiössä (Wynne-Ellis, 2025). Tattari on lähtöisin Pohjois-Intiasta ja Kiinasta. Vaatimattomissa olosuhteissa kasvavaa tattaria viljellään ympäri maailmaa ja Suomessa ensimmäiset tattariviljelmät ovat peräisin 1300-luvulta. Tattari on voimakkaan makuisen ja ravintoarvoiltaan erinomainen kasvi, sillä se sisältää muun muassa runsaasti proteiinia, kuitua ja rautaa. Vaikka tattari on luontaisesti gluteeniton kasvi, mahdollisen kontaminaattioriskin vuoksi tuotteen gluteenittomuus tulee varmistaa pakkauksesta.

2.3 Gluteenittomat tärkkelykset

Gluteenittoman taikinan rakennetta on vahvistettava hiilihydraattipolymeereilla, kuten tärkkelyksillä (Salovaara ym., 2017, s. 128). Tärkkelyksillä on merkittävä rooli gluteenittoman leipätaikinan valmistusprosessissa (Mir ym., 2021, s. 155). Tärkkelyksen lisääminen parantaa taikinan viskositeettia, paksuutta, vedenpidätysominaisuuksia sekä kaasunpidätyskykyä. Gluteenittomassa leivonnassa käytettävät tärkkelykset valmistetaan yleensä maissista,

tapiokasta, perunasta, hirssistä ja kvinoasta. Tärkkelysten lisäksi taikinoissa voidaan käyttää esiliisteröityjä raaka-aineita, kuten perunahiutaleita (Salovaara ym., 2017, s. 129). Useista gluteenittomista tärkkelyslähteistä huolimatta, vehnätärkkelyksen on todettu toimivan leivonnassa parhaiten. Gluteenittomassa leivonnassa käytettävä vehnätärkkelys on käsitelty gluteenittomaksi eli tärkkelyksen gluteenipitoisuus on enintään 20 mg/kg.

Tärkkelysmolekyylit koostuu pääosin amyloosista ja amylopektiinistä (Mir ym., 2021, s. 156–157). Amyloosi ja amylopektiini muodostavat 98–99 % tärkkelyksen kuivapainosta ja loput 1–2 % ovat proteiineja, lipidejä ja mineraaleja. Maissi-, riisi- ja perunatärkkelykset sisältävät 70–80 % amylopektiiniä ja 20–30 % amyloosia. Tärkkelyksen amyloosi-amylopektiinisuhde riippuu käytettävän raaka-aineen alkuperästä, ilmasto-olosuhteista, kasvukauden pituudesta ja sadonkorjuun ajankohdasta. Leipätaikin valmistuksessa on suositeltavaa käyttää korkean suhdeluvun omaavaa tärkkelystä. Amyloosi-amylopektiinisuhde on merkittävässä roolissa tärkkelyksen geelitymisessä ja siten myös leivän rakenteessa.

Tärkkelys voi sitoa itseensä jopa 45 % vettä taikin valmistuksen aikana ja sen katsotaan toimivan inerttinä eli reaktiokyvyttömänä täyteaineena gluteenittomassa taikinassa (Arendt & Dal Bello, 2008, s. 294). Leivontaprosessin alussa tapahtuvaan sekoituksen aikana tärkkelys jakautuu tasaisesti taikinamassaan (Salovaara ym., 2017, s. 129). Uuninousun aikana tapahtuva lämpötilan kasvaminen synnyttää taikin kaasukupliin painetta, jonka myötä kuplat laajanevat ja repeytyvät. Paiston edetessä tärkkelys alkaa jähmettyä ja vaahtokuplien muodostama rakenne muuttuu stabiiliksi. Gluteenittoman taikin kannalta olennaista on, että vaahtokuplien rakenne kestää laajentumisen, kunnes tärkkelys jähmettyy jatkuvaksi rakenteeksi.

Muutokset tärkkelyksen rakenteessa aiheuttavat leivän vanhenemisen (Salovaara ym., 2017, s. 11). Leivän rakenteen vanhenemisen katsotaan johtuvan pääosin amylopektiinin uskitymisestä eli retrogradaatiosta. Amylopektiinin uskityminen jäykistää tärkkelysjyväsiä sekä koko rakennetta, mikä johtaa leivän sisuksen kovenemiseen.

2.4 Hydrokolloidit

Gluteenittomassa leivonnassa käytetään hydrokolloideja parantamaan taikin sisältämien vaahtokuplien pysyvyyttä sekä taikin viskositeettia (Salovaara ym., 2017, s. 130). Hydrokolloidit ovat vettä sitovia ja taikin viskositeettia lisääviä hiilihydraattipolymeerejä, joiden

ominaisuuksia hyödynnetään myös monissa muissa elintarvikkeissa. Hydrokolloidien muodostama, kaasukuplia ympäröivä liuos pitää kuplat erillään parantaen vaahdon pysyvyyttä. Liuoksen avulla myös tärkkelysjyvät jakautuvat taikinaan tasaisemmin. Hydrokolloideja saadaan useista eri lähteistä, kuten ratamokasvista (psylliumkuitu), palkokasveista (johanneksenleipäpuujauhe) ja hedelmistä (pektiini). Useat hydrokolloidit luetaan lisäaineisiin, jolloin ne on merkittävä ainesosaluettelo E-koodilla.

Psyllium on noin 25–45 cm korkeaksi kasvava trooppisten alueiden kasvi, joka tunnetaan tieteellisesti nimellä *Plantago* (*Plantaginaceae*-heimo) (Agrawal, 2021, s. 2). Psyllium -sanaa käytetään yleisnimikkeen tavoin *Plantago*-suvun yli 200 lajista. Psylliumsiemenet ovat kuivattuja ja puhdistettuja *Plantago ovata* -kasvin siemeniä. Psylliumkuori eli siemenen uloin kuori-kerros on kasvin tärkein ja ravintorikkain osa. Psylliumkuori koostuu mm. proteiinista, B1-vitamiinista ja kuidusta. Psylliumkuori sisältää noin 70 % liukoista ja 30 % liukenematonta kuitua. Väriltään kuori on valkoista kuituainetta, jota voidaan myös prosessoida hienojakoisemmaksi jauheeksi. Psyllium omaa erinomaisen vedensidontakyvyn ja muodostaa hyytelömäisen rakenteen sekoittuessaan nesteeseen (mts. 3).

Hydrokolloideja käytetään taikinoissa yksittäin tai yhdistelemällä niitä toistensa kanssa (Salovaara ym., 2017, s. 131). Jo pienikin lisäys nostaa taikinan konsistenssia, jonka vuoksi lisättävät pitoisuudet lasketaan usein 1–2 % jauhojen painosta. Hydrokolloidien avulla parannetaan leivän tekstuuria, suutuntumaa sekä säilyvyysaikaa (Arendt & Dal Bello, 2008, s. 303). Pieninä määrinä hydrokolloidien odotetaan lisäävän leivän tilavuutta sekä pehmentävän leivän koostumusta. Taikinan vedensidontakyvyn kasvu riippuu hydrokolloidien rakenteesta sekä lisäysmäärästä.

3 HAPANJUURILEIVONTA

3.1 Hapanjuuren valmistus

Hapanjuuri on jauhojen ja veden sekoitus, joka fermentoidaan maitohappobakteerien ja hiivojen avulla (Preedy & Watson, 2019, s. 177). Fermentoituminen voi tapahtua spontaanisti tai lisäämällä juureen startteria eli heräteviljelmää. Hapanjuuri on vanhin tiedossa oleva keino leivän nostattamiseen. Taikinan hapattamisesta on hyötyä taikinalle sekä lopputuotteelle. Hapanjuuri synnyttää leipään makua ja happamuutta, parantaa leivän säilyvyyttä sekä murukkoa (mts. 178).

Hapanjuuren eli raskin valmistamiseen käytetään yleensä vettä ja jauhoja (Salovaara ym., 2017, s. 117). Valmistuksessa voidaan käyttää lisäksi raskinsiementä. Raskinsiemeneksi kutsutaan edellisellä leivontakerralla sivuun otettua tai erikseen raskinsiemenenä ruokittavaa juurta. Raskinsiemenen käyttämistä hapanjuuren valmistuksessa kutsutaan takaisinraskitukseksi. Prosessin aikana raskimikrobit siirtyvät raskista toiseen, jossa ne lisääntyvät ja vahvistuvat entisestään. Hapanjuuren käymisprosessin etenemiseen vaikuttavat muun muassa lämpötila, aika ja käytettävät jauhot.

Raskin valmistuksessa voidaan käyttää yksivaihe- tai monivaihemenetelmää (Salovaara ym., 2017, s. 120). Yksivaihemenetelmässä kaikki raaka-aineet lisätään valmistusastiaan samaan aikaan, kun taas monivaihemenetelmällä raskia herätellään muutaman tunnin välein lisäämällä seokseen jauhoja ja vettä. Herättelyllä pyritään kasvattamaan juuren sisältämää hiivakantaa ja luontaista nostatusvoimaa, jotta leipäaikina saadaan kohoamaan ilman leivinhii-vaa. Hapattamisprosessin aikana juuressa tapahtuu maitohappo- ja alkoholikäymistä.

Hapanjuurikäymisen laatua määrittävät useat tekijät, jotka vaikuttavat myös valmiin lopputuotteen laatuun (Preedy & Watson, 2019, s. 182). Endogeeniset ja eksogeeniset tekijät vaikuttavat hiivojen ja maitohappobakteerien määrään sekä mikrobilajien esiintymiseen käymisprosessin aikana. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat prosessin aikana lisätyn veden ja jauhojen määrän vaihtelu, käymisaika, käymislämpötila sekä juuren takaisinraskitusten määrä. Vaihtelevat olosuhteet voivat johtaa juuren sisältämien maitohappobakteerien ja hiivojen epätasapainoon. Epätasapainotilassa juuren kasvuolosuhteet ovat merkittävästi optimaalisemmat vain toiselle mikrobikannalle. Jotta mikrobikannat pysyisivät tasapainossa, prosessiin

vaikuttavat ulkoiset tekijät ja työvaiheet on hyvä pitää mahdollisimman vakioina. Raaka-aineiden osalta tasapainoon ei voi vaikuttaa, sillä esimerkiksi jauhot vaikuttavat juuren mikrobi-koostumukseen.

3.2 Maitohappobakteerit ja hiivat

Hapanjuuri sisältää runsaasti mikro-organismeja eli maitohappobakteereja ja hiivoja, jotka kuuluvat eri sukuihin ja lajeihin (Preedy & Watson, 2019, s. 181). Mikro-organismit ovat peräisin valmistusympäristöstä tai hapanjuuren valmistuksessa käytettävistä jauhoista. Vaihtoehtoisesti mikro-organismien lähteitä ovat siirrostena käytettävät hedelmät tai jogurtti. Suurin osa hapanjuuresta eristetyistä maitohappobakteereista kuuluu *Lactobacillus*-sukuun, joita on löydetty yli 60 erilaista lajia. Yleisimmin hapanjuurissa esiintyviä maitohappobakteereja ovat *Lactobacillus pediococcus*, *Lactobacillus leuconostoc* ja *Lactobacillus weissella*. Maitohappobakteerilajeista *Lactobacillus sanfranciscensis* ja *Lactobacillus alumentarius* ovat harvoja *Lactobacillus* -lajeja, joita pidetään hapanjuurikasvustolle ominaisina maitohappobakteereina.

Laktobasillit ovat sauvamuotoisia maitohappobakteereja, jotka ovat käymismetabolialtaan homofermentatiivisia tai heterofermentatiivisia (Salovaara ym., 2017, s. 121). Homofermentatiiviset laktobasillit muodostavat hapanjuureen pääosin maitohappoa. Heterofermentatiiviset laktobasillit muodostavat maitohapon lisäksi etikkahappoa tai etanolia sekä hiilidioksidia. Hapanjuuren happamuus syntyy maitohappokäymisessä, jossa maitohappobakteerit muuttavat jauhojen sisältämän sokerin maitohapoksi ja etikkahapoksi (mts. 120). Prosessin aikana juuren pH-arvo alkaa laskemaan. Maitohapon ja etikkahapon muodostumiseen vaikuttaa olennaisesti käymisolosuhteet, mikrobikannat, jauhon ja veden mittasuhteet, lämpötila ja käymisaika.

Hapanjuurista eristetyistä hiivalajeista useimmat kuuluvat *Ascomycetes* -lajiin, mutta vain kuusi eri lajia on eristetty spontaanikäyneistä hapanjuurista (Preedy & Watson, 2019, s. 181). Nämä lajit kuuluvat *Saccharomyces* ja *Candida*-sukuihin ja niitä pidetään olennaisena osana juuren käymisprosessia. Suurin osa *Saccharomyces cerevisiae* -lajin edustajista on todennäköisesti siirtynyt hapanjuuriin käymisympäristössä tapahtuneen kontaminaation kautta. Hiivojen avulla tapahtuva alkoholikäyminen tuottaa juureen etanolia ja hiilidioksidia (Salovaara ym., 2017, s. 121). Hiilidioksidi saa raskin kuohumaan ja toimii taikinassa nostattavana kaasuna.

Hapanjuuressa tapahtuva fermentoitumisprosessi vaikuttaa taikinaan sekä lopputuotteen ominaisuuksiin vahvistavasti (Preedy & Watson, 2019, s. 184). Hapanjuuri pidentää leivän säilyvyyttä, parantaa leivän makua sekä ravintoarvoja ja kasvattaa leivän tilavuutta. Kypsin hapanjuurileivän pH-arvot vaihtelevat 3,8–4,5 välillä, riippuen mikrobikoostumuksesta, jauhoista, lämpötilasta, fermentaatioajasta sekä taikinän saannosta.

3.3 Starterit

Hapanjuurileivontaan tarkoitettuja kaupallisia starttereita kehitettiin jo 1900-luvun alussa Pohjois-Euroopassa (Preedy & Watson, 2019, s. 183). Kaupallisia starttereita on useita erilaisia ja ne voidaan jaotella kahteen päämuotoon: valmiiksi määritelyihin kaupallisiin mikrobiseoksiin ja taikinajuuriin.

Valmiiksi määritellyt kaupalliset mikrobiseokset koostuvat puhtaista maitohappobakteeri- tai hiivakannoista (Preedy & Watson, 2019, s. 183). Mikrobikantoja voidaan käyttää yhdessä tai erikseen. Koska mikrobikannat ovat suunniteltu tuottamaan johdonmukaisia ja ennustettavia käymistuloksia, ne tuotetaan tarkasti valvotussa laboratorioympäristössä laadun varmistamiseksi (Muhammed ym., 2025, 5.2. Commercial Starters -luku). Mikrobiseos lisätään taikinaan fermentaation käynnistämiseksi. Mikrobiseokset sisältävät suuren määrän eläviä soluja ja niitä on saatavilla kuivattuna, tahnana ja nestemäisessä muodossa (Preedy & Watson, 2019, s. 183).

Taikinajuuri on säännöllisen ruokinnan avulla ylläpidettävä mikrobisto, joka koostuu hiiva- ja maitohappobakteerikannoista (Preedy & Watson, 2019, s. 183). Juuren sisältämien kantojen koostumus vaihtelee, sillä mikrobit elävät ja kehittyvät jatkuvasti. Juuri voidaan toimittaa puolikiinteässä tai jauhemaisessa muodossa.

3.4 Esitaikinat

Kotileivonnassa sekä artesaanileipomoissa raaka-aineet käyvät usein läpi esikäsittelyprosesseja, jotta valmistettavat tuotteet saavuttavat haluttuja tuoteominaisuuksia (Salovaara ym., 2017, s. 91). Leivän makua, rakennetta ja säilyvyyttä voidaan parantaa käyttämällä leipätaikinän valmistuksessa esitaikinaa. Esitaikinatyyppejä on monia erilaisia, joista useimmat

sisältävät jauhoja, vettä ja pienen määrän leiviniivaa. Leivottavasta tuotteesta, leipomosta ja maasta riippuen esitaikinan annetaan kehittyä 1–24 tuntia +4...+22 °C -lämpötilassa.

Esitaikinan voi valmistaa myös ilman hiivaa (Salovaara ym., 2017, s. 91). Tällöin seokseen lisätään vain jauhoa ja vettä, jonka jälkeen seoksen annetaan levätä 20–30 minuutin ajan. Tällaista esitaikinaa kutsutaan nimellä autolyysi tai nollataikina. Takaisinraskitusta eli jauho-vesiseokseen lisättävää aiempaa taikinajuurta hyödynnetään ulkomailla vaaleiden leipien valmistuksessa enemmän kuin Suomessa. Esitaikinoiden tapaan tuotelaatua parantavana keinona käytetään paisutustekniikkaa mm. rouheille, siemenille ja pähkinöille. Riittävän vesimäärän, paisutusajan sekä veden lämpötilan myötä raaka-aineet pehmenevät ja parantavat vedensidontakykyään. Paisutettavat raaka-aineet parantavat lopputuotteen suutuntumaa, kosteutta ja kiinteyttä.

3.5 Juuren säilytys

Juuren säilytystapa riippuu siitä, kuinka aktiivisesti hapanjuurta käytetään leivonnassa (Leipäpaja – Eliisa Kuusela, 2018). Aktiivinen hapanjuurileipuri voi säilyttää hapanjuurta huoneenlämmössä tai jääkaapissa. Jos juurta käytetään epäsäännöllisesti tai harvoin, paremman säilyvyyden takaamiseksi juuren voi kuivata ja elvyttää käyttöön tarpeen mukaan.

Jos juurella leivotaan päivittäin, juurta voi säilyttää huoneenlämmössä (Leipäpaja – Eliisa Kuusela, 2018). Huoneenlämmössä säilytettävää juurta ruokitaan kotikeittiöolosuhteissa kerran vuorokaudessa, jotta mikrobikanta pysyy elinvoimaisena.

Noin kerran viikossa leivottaessa, juurta voidaan säilyttää jääkaapissa ja ruokkia käytön yhteydessä (Leipäpaja – Eliisa Kuusela, 2018). Juuri säilyy jääkaapissa kuukausia, vaikka ruokinta suoritettaisiin harvemmin kuin kerran viikossa. Pitkä säilytysaika kuitenkin voi muuttaa mikrobikannan koostumusta ja vaikuttaa juuren toimintaan heikentävästi. Ylläpitoruokintaa suositellaan suorittavaksi kahden kuukauden välein, jos juurella ei leivota aktiivisesti.

Kuivatettava hapanjuuri tulee levittää mahdollisimman ohueksi kerrokseksi leivinpaperin päälle, jotta kuivumisprosessi alkaa mahdollisimman nopeasti (Lindholm, 2022, s. 35). Juurta tulee kuivattaa niin kauan, että juurilevy alkaa murenemaan sekä lohkeilemaan. Juuren kuivuudesta tulee varmistua ennen säilytysastiaan siirtämistä. Kuivatusmenetelmä on yksi vanhimmista säilöntämenetelmistä, jolla tuotteen säilymisaikaa voidaan pidentää (Tucker, 2007,

s. 137). Kuivausprosessissa tuotteessa oleva nestemäinen vesi haihtuu tuotteen pinnalta tai huokosista ja vesihöyry poistetaan esimerkiksi kuuman ilman avulla. Lisälämmön avulla kuivausprosessia voidaan nopeuttaa sekä varmistaa tuotteen vesipitoisuuden aleneminen. Solujen aineenvaihdunnan hidastamiseksi sekä solurakenteiden ja -toimintojen säilyttämiseksi juuri tulisi kuivata riittävän alhaiseen vesipitoisuuteen (Santivarangkna ym., 2008, s. 6).

Jäädymisellä ja pakkasvarastoinnilla on jonkin verran hyväksi havaittua vaikutusta mikro-organismien inaktivaatioon (Tucker, 2007, s. 125). Pakastusprosessin aikana osa mikro-organismeista voi kuitenkin vaurioitua tai jopa kuolla. Hapanjuuressa esiintyvistä mikrobeista *Lactobacilluksen* on todettu olevan suhteellisen vastustuskykyinen jäädymis ja sulatusprosesseille. *Lactobacilluksen* eloonjäämisprosentti vaihtelee 50–70 % välillä. Jäätymisen voi aiheuttaa muutoksia tuotteen väriin, makuun tai ravitsemuksellisesti tärkeisiin komponentteihin (Fellows, 2016, s. 915–916). Pakastaminen ja prosessin nopeus vaikuttaa elintarvikkeen solurakenteisiin, vesipitoisuuteen sekä koostumukseen. Hitaasti tapahtuva jäätymisen aiheuttaa rakennevaurioita, joka aiheutuu kuivumisen ja mekaanisen rasituksen yhdistelmästä. Nopeasti jäätyneisiin tuotteisiin muodostuu vähemmän rakennevaurioita.

4 TUTKIMUKSEN RESEPTIIKKA JA MENETELMÄT

Tutkimusprosessi aloitettiin valmistamalla kaksi gluteenitonta hapanjuurta, kotijuuri ja kaupallinen juuri. Hapanjuuret valmistettiin identtisillä raaka-aineilla, jotta kehitysprosesseja pystyttiin tarkastelemaan ja vertailemaan keskenään. Kotijuuren valmistus aloitettiin tyhjästä sekoittamalla keskenään täysjyväriisijauhoja ja vettä. Kaupallinen juuri heräteltiin kuivatusta riisihapanjuuresta. Hapanjuurien kehitystä seurattiin pH-arvojen sekä juurien pinnankorkeuden muutosten avulla.

Prosessin seuraavassa vaiheessa kehitettiin gluteenittoman hapanjuurileivän resepti. Kehitystyö aloitettiin etsimällä tuotekehityksen pohjaksi soveltuva resepti, joka täytti hapanjuurileivän ominaisuuksille ja raaka-aineille asetetut kriteerit. Tavoitteena oli kehittää kuluttajille soveltuva, yksinkertaisista raaka-aineista valmistettu hapanjuurileipäresepti. Kehitysprosessissa hyödynnettiin muun muassa gluteenittomasta leivonnasta kertovaa kirjallisuutta. Reseptiikkaa muokattiin vaiheittain leivontakokeiden avulla, kunnes leipä vastasi asetettuja kriteerejä.

Kolmannessa vaiheessa aloitettiin gluteenittomien hapanjuurileipien valmistus. Leipätaikinoita valmistettiin yksi kummallakin hapanjuurella. Taikinat valmistettiin, muotoiltiin, kohotettiin ja paistettiin kehitetyn reseptiikan mukaisesti. Leivontaprosessien eteneminen sekä raaka-aineiden määrät kirjattiin tarkasti ylös myöhempää vertailua varten.

Työssä tarkasteltiin gluteenittomien hapanjuurileipien rakenteeseen ja säilyvyyteen vaikuttavia tekijöitä mittausmenetelmien avulla. Mittauksilla seurattiin leipien kosteuspitoisuuden, veden aktiivisuuden ja rakenteen muutoksia kolmen päivän ajan. Lisäksi hapanjuurileipiä arvioitiin aistinvaraisesti havainnoimalla muun muassa koostumusta ja ulkonäköä.

Hapanjuurileipien rakennetta mitattiin kuoresta sekä sisuksesta TA-XTPlus-rakennanalysaattorin avulla. Rakennanalysaattori on mittauslaite, jolla puristetaan tai venytetään näytettä ylös- ja alaspäin liikkuvan mittausvarren avulla (Stable Micro Systems, 2025). Mittauksen aikana laitteen voimakkenno kerää voima-, etäisyys- ja aikatietoja, joita analysoimalla voidaan määrittää näytteen rakenne. Tulokset esitetään yleensä kaaviona, jonka avulla analysointi tapahtuu. Rakennanalysaattorilla voidaan suorittaa monipuolisia elintarvikkeisiin kohdistuvia mittauksia erilaisten anturipäiden avulla. Antureiden avulla voidaan suorittaa muun muassa venytys-, puristus- ja leikkaustestejä sekä mitata tuotteen ominaisuuksia, kuten murtuvuutta, tahmeutta ja joustavuutta.

Leipien kosteuspitoisuuden mittaamiseen käytettiin Precisa XM60 -kosteusanalysointilaitetta. Precisa Instruments AG:n (2002, s. 8) mukaan kosteusanalysointilaitteella määritetään tuotteen kosteuspitoisuuden termogravimetristä menetelmää käyttäen. Termogravimetria on tekniikka, jossa tutkittavan näytteen massa mitataan lämmityksen tai jäähtymisen aikana (Pielichowski & Pielichowska, 2022, s. 38). Mitä alhaisempi tuotteen kosteuspitoisuus on, sitä hitaammin tuote vapauttaa kosteutta (Subramaniam, 2016, s. 450). Kosteusanalysointilaitteella punnitaan näytteen ennen ja jälkeen kuumennuksen, jotta näytteestä voidaan laskea erotus (Precisa Instruments AG, 2002, s. 39). Kuumennuksen aikana kosteusanalysointilaitteella käytetään lämmitykseen halogeenisäteilyä, joka näytteeseen osuessaan muuttuu lämpöenergiaksi ja lämmittää näytettä sisältä ulospäin.

Hapanjuurileipien sisältämän veden aktiivisuus mitattiin Novasina LabMaster a_w -mittalaitteella. Veden aktiivisuus määritetään a_w -mittalaitteen avulla tasapainottamalla tuotteen sisältämä vesi ja mittauskammion ylätilan vesihöyry (Mir ym., 2021, s. 247). Vesiaktiivisuudella tarkoitetaan tuotteen sisältämän veden höyrynpaineen suhdetta puhtaan veden kyllästyneeseen höyrynpaineeseen samoissa olosuhteissa (mts. 246). Lämpötilan nousu tehostaa veden aktiivisuuden kasvua. a_w -mittalaite koostuu kastepisteanturista, lämpötila-anturista, tuuletimesta sekä infrapunalämpömittarista. Mitta-antureiden avulla laite määrittää mittauskammion ilman kastepistelämpötilan sekä näytteen lämpötilan. Mittauksen kestoon vaikuttaa analysoidun näytteen ja mittauskammion välinen lämpötilaero.

Gluteenittomien leipien tilavuuden määrittämisessä käytettiin syrjäytysmenetelmää, joka suoritetaan yleensä siementen avulla (Preedy & Watson, 2019, s. 204). Tarkoituksena on asettaa leipä sopivaan mitta-astiaan ja täyttää astia tasaisesti siemenillä. Ylijääneet siemenet kuvastavat leivän tilavuutta.

Gluteenittomia hapanjuurileipiä arvioitiin aistinvaraisesti prosessin eri vaiheissa. Valmiita tuotteita arvioitiin kuluttajanäkökulmasta kolmena peräkkäisen päivän ajan. Tuotteen laatua voidaan mitata näkö-, haju-, maku-, tunto- ja kuuloaistien tuottaman tiedon avulla (Bourne, 2002, s. 257–258). Aistimenetelmiä voidaan hyödyntää instrumentaalisten rakennemittausmenetelmien kalibrointiin. Aistihavainnointi tarjoaa mahdollisuuden saada laaja analyysi elintarvikkeen koostumuksesta, sillä monia muutoksia on vaikea mitata laitteiden avulla. Aistinvarainen arviointi on tärkeä osa tuotekehitystä, varsinkin uusien tuotteiden kehityksen alkuvaiheissa.

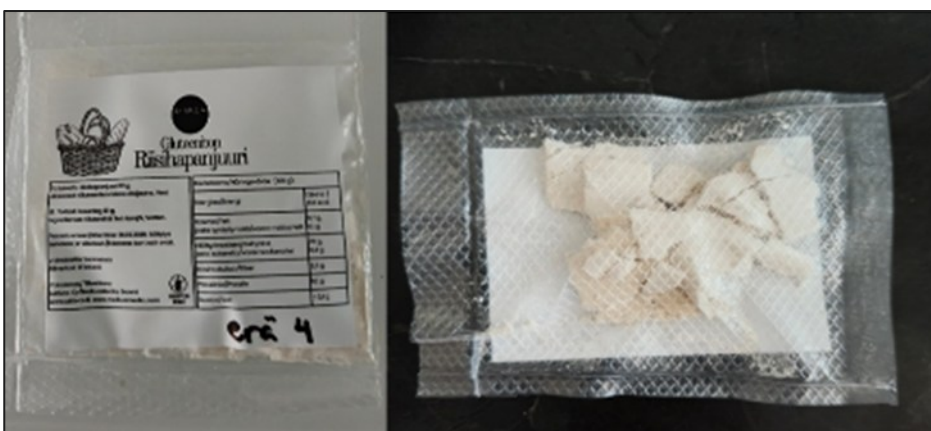
5 GLUTEENITON HAPANJUURILEIPÄ

5.1 Hapanjuuren valmistus

Opinnäytetyötä varten valmistettiin kaksi gluteenitonta hapanjuurta, kotijuuri ja kaupallinen juuri, joiden eroavaisuuksia tarkasteltiin pH-arvon eli happamuuden ja elinvoimaisuuden kehitysprosessissa. Juurien valmistuksessa käytettiin talousvettä, jota ei seisotettu huoneenlämmössä tai kuumennuskäsitelty ennen käyttöä.

Hapanjuurien valmistuksessa käytettiin Virtasalmen Viljatuotteen täysjyväriisijauhoja. Täysjyväriisijauhoihin päädyttiin neutraalin maun ja vaaleita riisijauhoja paremman ravintosisällön vuoksi. Riisijauhojen vertailussa käytettiin apuna Fineli -palvelua (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL), i.a.). Finelin tietojen mukaan täysjyväriisijauhot sisältävät muun muassa huomattavasti enemmän kuitua ja magnesiumia vaaleisiin riisijauhoihin verrattuna. Täysjyväriisijauhojen sisältämät ravintoaineet auttavat hapanjuuren mikrobikannan kehittymisessä.

Kotijuuri valmistettiin sekoittamalla keskenään vettä ja täysjyväriisijauhoa. Kaupallinen juuri valmistettiin herättelemällä Aktivos Oy / MakuaMedian valmistamaa kuivattua riisihapanjuurta (kuva 1). Kuivattu riisihapanjuuri tilattiin Virtasalmen Viljatuotteen verkkokaupasta (Virtasalmen Viljatuote, i.a.-a). Koska Aktivos Oy / MakuaMedian riisihapanjuuri oli valmistettu Virtasalmen Viljatuotteen täysjyväriisijauhoista, kotijuuren ja kaupallisen juuren ainesosaluettelot olivat identtiset.



Kuva 1. Kuivatun gluteenittoman riisihapanjuuren pakkaus ja sisältö.

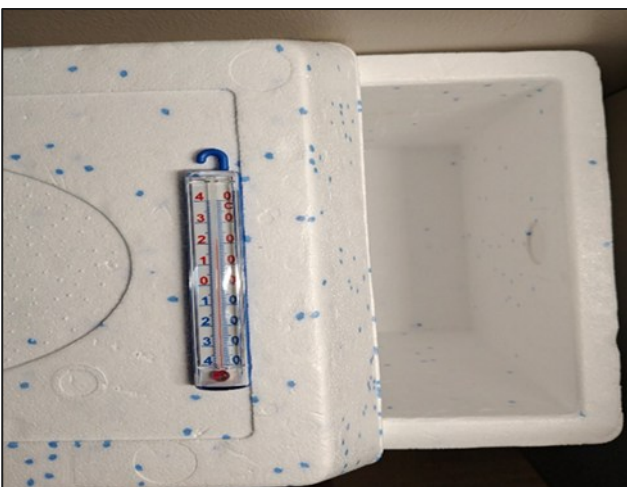
Hapanjuurien vertailua varten kuivajuuren valmistajalta tiedusteltiin, millaisia maitohappobakteeri- ja hiivakantoja käytettävä riisihapanjuuri sisältää. Lisätietoa ei saatu, sillä valmistaja ei

ollut teettänyt riisihapanjuurelle erillistä mikrobikantatestiä (MakuaMedia, henkilökohtainen tiedonanto, 19.6.2025).

Kuivatun riisihapanjuuren mukana toimitettiin kirjallinen ohje juuren herättämiseen, jossa ohjeistettiin ruokkimaan juurta vähintään kolme kertaa päivässä 3–4 päivän ajan. Aikataulullisesti näin tiheä ruokinta ei ollut mahdollista, joten ruokinta päätettiin suorittaa kerran päivässä kotijuuren ruokinnan yhteydessä. Tiedostettiin, että ohjeistettua harvemmalla ruokintatiheydellä juuren kehittymiseen saattaisi kulua enemmän aikaa.

Juurien kehittäminen aloitettiin 14.7.2025, kaksi kuukautta ennen varsinaista mittausleivontaa, jotta mikrobikannat ehtivät kasvamaan ja voimistumaan riittävästi. Juurien valmistuksessa käytettiin puhtaita, litran vetoisia lasipurkkeja. Käytettävän veden lämpötila mitattiin digitaalilämpömittarilla ja jauhot punnittiin keittiöva`an avulla. Kotijuuren valmistus aloitettiin mittaamalla lasipurkkiin täysjyväriisijauhoja sekä +31-asteista talousvettä. Raaka-aineet sekoitettiin sekoitustikun avulla tasaiseksi tahnaksi, jonka jälkeen lasipurkin kansi asetettiin kevyesti purkin suulle. Kaupallisen juuren valmistus aloitettiin liuottamalla kuivattua riisihapanjuurta +31-asteiseen veteen. Kun seos oli tasaista, joukkoon lisättiin täysjyväriisijauhoja ja kansi asetettiin paikalleen.

Työn tavoitteiden mukaisesti juurille luotiin kuluttajakäyttöön soveltuva kasvuympäristö styroksisen kylmälaatikon avulla (kuva 2). Juuria säilytettiin styroksilaatikossa aktiivisen ruokintajakson ajan.

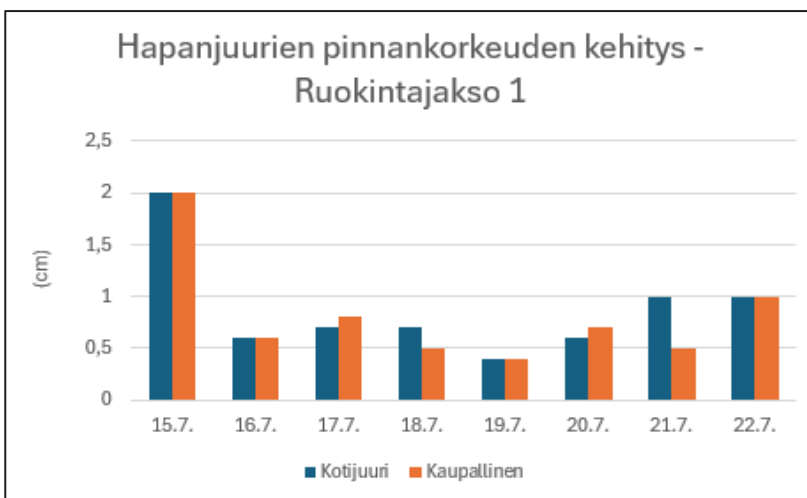


Kuva 2. Kotikeittiöön rakennettu hapanjuuren kasvuympäristö.

Kannella suljettavan, eristävästä materiaalista valmistetun laatikon avulla varmistettiin vedoton ja tasalämpöinen kasvuympäristö, jonka sisälämpötilaa tarkkailtiin lämpömittarin avulla. Lämpömittarin mukaan laatikon sisälämpötila pysyi tasaisesti +24-asteessa. Laatikon lämpötilaa oli mahdollista nostaa muutamien tuntien ajaksi asettamalla lämpimällä vedellä täytetty lasipurkki laatikon pohjalle. Lämmön haihtumisnopeutta pystyttiin kontrolloimaan laatikon kannen avulla.

Juuret ruokittiin kerran vuorokaudessa kahdeksan vuorokauden ajan. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen, kaupallinen juuri ruokittiin kaksi kertaa toisen ruokintapäivän (15.7.) aikana, jotta juuri alkoi kehittymään paremmin. Sekä kotijuureen että kaupalliseen juureen lisätyn veden keskiarvoinen lämpötila oli +28 °C. Käytetyn veden lämpötila vaihteli +25...+31 °C.

Juurien mikrobitoiminnan sekä happamuuden kehittymisen analysointia varten juurista otettiin 15 gramman painoisia näytteitä, jotka pyrittiin keräämään ennen juurien ruokintaa. Työssä analysoitavat näytteet kerättiin hapanjuurien ruokintajaksoilta 1 ja 6, ajalla 15.7.–22.7.2025 ja 17.9.–21.9.2025. Näytteet kerättiin tunnistetiedoilla varustettuihin näytepusseihin ja pakastettiin välittömästi. Ruokintajaksoilla 1 kaupallisesta juuresta onnistuttiin keräämään ensimmäinen näyte vasta kolmannen ruokintapäivän aikana (17.7.), sillä ohjeistuksesta poikkeavan ruokinnan vuoksi kaupallista juuri oli kehittynyt kotijuurta vähemmän. Hapanjuurien kehitystä seurattiin juurien pinnankorkeuden avulla ruokintajaksojen aikana (kuvio 1).



Kuvio 1. Hapanjuurien pinnankorkeuden kehitys ruokintakertojen välillä ruokintajaksoilla 1.

Ensimmäisen ruokintajakson aikana juuriin muodostui etikkaisia ja raikkaan happamia tuoksuja. Silminnähden havaittavaa mikrobitoimintaa esiintyi vaihtelevasti. Ruokintajakson

kahdeksantena päivänä (21.7.) juurien mikrobitoiminta oli selkeästi edellisiä päiviä voimakkaampaa (kuva 3).



Kuva 3. Ruokintajakso 1: kotijuuri (vasen) ja kaupallinen juuri (oikea).

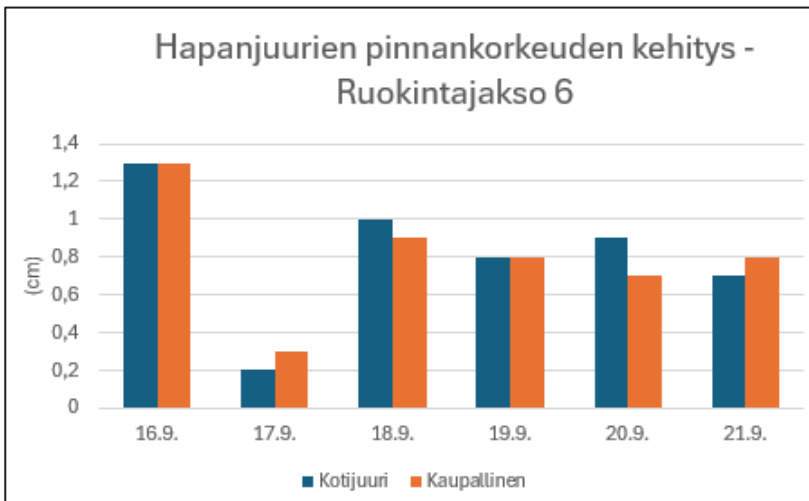
Mikrobitoiminnan lisäksi juurien pinnalle oli kertynyt nestekerros, joka viittasi siihen, että juuret olisivat kaivanneet lisää ravintoa. The Sourdough Schoolin (i.a.) mukaan juuren pinnalle muodostuva nestekerros voi viestiä epätasapainossa olevasta mikrobistosta tai ravinnonpuutteesta. Nestekerros on mikrobien aineenvaihdunnan sivutuote, joka ei vaikuta juureen haitallisesti.

Koska pinnalle kertyneestä nesteestä huolimatta juurissa oli havaittavissa selkeää mikrobitoimintaa, arveltiin kertymän johtuvan mikrobiston epätasapainosta. Koska hapanjuuret vaikuttivat ulkoisilta ominaisuuksiltaan elinvoimaisilta ja kehittyneiltä, päätettiin suorittaa ensimmäinen hapanjuurileivonta ja testata nuorten juurien nostatuskykyä leivontaprosessissa.

Leivontaprosessin yhteydessä hapanjuuria kerättiin noin 50 g puhtaisiin lasipurkkeihin seuraavaa ruokintajaksoa varten. Purkit peitettiin kevyesti muovikelmulla ja nostettiin jääkaappiin odottamaan seuraavan ruokintajakson aloitusta. Ensimmäisen ruokintajakson aikana suoritettava prosessi toistettiin kotijuurelle sekä kaupalliselle juurelle yhteensä neljä kertaa ennen varsinaista mittausleivontaprosessia.

Mittausleivontaprosessi aloitettiin juurien kuudennelta ruokintajaksolta. Jääkaapissa säilytetyt hapanjuuret siirrettiin huoneenlämpöön ja ruokittiin kerran vuorokaudessa yhteensä viiden päivän ajan. Juurten ruokinnassa käytetyn veden lämpötila oli keskimäärin +30,2 °C.

Ruokintajaksolla käytetyn veden lämpötila vaihteli +27...+33 °C. Juurien tuoksu oli pääosin happaman raikas, mutta havaittavissa oli myös voimakkaan etikkaisia vivahteita. Mikrobitoiminta alkoi välittömästi ensimmäisen ruokintakerran jälkeen (kuvio 2).



Kuvio 2. Hapanjuurien pinnankorkeuden kehitys ruokintakertojen välillä ruokintajaksolla 6.

Ruokintajaksojen 1 ja 6 tuloksia verratessa havaittiin, että kuudennen ruokintajakson juuret eivät ilmaiseet ravinnonpuutetta yhtä voimakkaasti kuin ensimmäisellä jaksolla. Ruokintajaksolla 1 juurten pinnalle kertyi useana päivänä 1 cm paksu nestekerros, kun vastaavasti kuudennen jakson juurissa nestekerrosta ei ilmennyt juuri lainkaan. Ruokintajaksolla 6 ainoa havainto nestekerroksesta tehtiin kotijuuresta ruokintajakson viimeisenä päivänä, jolloin ohut kerros muodostui lähelle lasipurkin pohjaa (kuva 4).



Kuva 4. Kotijuuri (vasen) ja kaupallinen juuri (oikea) ruokintajakson 6 viimeisenä päivänä.

5.2 Reseptiikan kehitys

Reseptiikan kehittämistä varten etsittiin potentiaalisia gluteenittomien hapanjuurileipien reseptejä, joihin oli lisätty havainnollistava kuvaliite valmiin tuotteen lopputuloksesta. Tuotekehityksen pohjana käytettävän reseptiikan toimivuus arvioitiin lopuksi testileivonnan avulla. Testileivontaan valittu reseptiikka täytti asetetut kriteerit.

Ensimmäiseen vertailuun valittiin reseptit, joiden lopputuotteiden ulkonäkö vastasi mielikuvaa työssä kehitettävästä gluteenittomasta hapanjuurileivästä. Leivän tuli näyttää rapeakuoriselta, kohonneelta ja sisältä pehmeältä. Ulkoisten ominaisuuksien jälkeen perehdyttiin leivissä käytettyihin raaka-aineisiin sekä valmistusmenetelmiin.

Useat reseptit sisälsivät kauraa, durraa, hirssiä, teffiä sekä valmiita gluteenittomia jauho-seoksia. Vaikka reseptillä valmistettu tuote olisi täyttänyt asetetut kriteerit ulkoisesti, leivän reseptiä ei hyödynnetty, jos ainesosaluettelosta löytyi lisättyä hiivaa, leivinjauhetta tai erikoisia raaka-aineita, kuten kastanjajauhoja. Raaka-aineiden määriä sekä niiden käyttösuh-teita vertailtiin toisiinsa, ja sen pohjalta lähdettiin kehittämään työssä käytettävää glutee-nitonta hapanjuurileipäreseptiä.

Gluteenittoman hapanjuurileivän ainesosaluettelo haluttiin pitää yksinkertaisena ja helposti lähestyttävänä, jotta käytettäviä raaka-aineita löytyisi useasta ruokakaupasta. Ainesosien suhteet pyrittiin määrittämään siten, että leivän koostumus olisi murenematon ja pehmeä, muistuttaen ominaisuuksiltaan tyypillistä gluteenia sisältävää hapanjuurileipää.

Taustatietoina hyödynnettiin gluteenittomasta leivonnasta kertovaa kirjallisuutta, blogitekstejä, suljetussa Facebook-ryhmässä käytyjä keskusteluja sekä ryhmässä jaettua glutee-nitonta reseptiikkaa. Lisäksi taustatietoa kerättiin kasvokkain käydyistä keskusteluista ja tutustumalla teollisesti valmistettujen gluteenittomien leipien tuoteselosteisiin. Connors (2021) esittää, kuinka valmistaa hyvää gluteenitonta hapanjuurileipää kotona. Koska resepti täytti asetetut kriteerit ja resepti löytyi blogitekstin lopusta, reseptiä päätettiin käyttää pohjana opinnäytetyössä kehitettävälle reseptiikalle.

Connorsin (2021) reseptiä kokeiltiin ensimmäisellä testikerralla siten, että tapiokatärkkelys ja perunatärkkelys korvattiin maissitärkkelyksellä (taulukko 1). Koska reseptissä kannustettiin kokeilemaan leivontaa myös muilla jauhoilla, durrajauhot päätettiin korvata kaurajauhoilla.

Salovaaran ym. (2017, s. 131) mukaan gluteenittomassa leivonnassa käytettävien hydrokolloidien määrä on yleensä noin 1–2 % jauhojen kokonaispainosta.

Taulukko 1. Reseptiikassa käytetyt raaka-aineet ja prosenttiosuudet koko taikinan painosta sekä psylliumin osuus jauhojen kokonaispainosta (%).

	Alkuperäinen resepti	Testileivonta 1
Vesi	40,4	40,5
Täysjyväreisijauho	16,2	16,3
Hapanjuuri	15,2	15,0
Perunatärkkelys	8,1	-
Durrajauho	8,1	-
Tapiokatärkkelys	6,1	-
Maissitärkkelys	-	14,0
Kaurajauho	-	8,0
Psylliumkuorirouhe	2,0	2,0
Hunaja	2,0	2,0
Suola	1,2	1,2
Oliiviöljy	0,8	1,0
Psylliumin osuus jauhojen kokonaispainosta	6,7	6,7

Alkuperäisessä reseptissä lisättävän hydrokolloidin eli psylliumin määrä oli suositeltua korkeampi, 6,7 %. Korvattuja jauhoja lukuun ottamatta resepti päätettiin pitää entisellään, jotta pystyttiin havainnoimaan taikinan prosessikäyttäytymistä sekä lopputuloksia valmiissa hapanjuurileivissä. Ensimmäisen testileivonnan perusteella hapanjuurileipiin muodostui pehmeä sisus ja rapea kuori, mutta happamuutta ei ollut riittävästi. Lisäksi leivän rakenne murustui helposti leikatessa ja syödessä.

Toista testileivontaa varten reseptiä muokattiin ensimmäisten leivontatulosten perusteella (taulukko 2). Psylliumin määrää laskettiin 6,7 %:sta 4,0 %:iin, jotta päästiin lähemmäksi gluteenittomille leiville tyypillistä hydrokolloidilisän määrää. Salovaaran ym. (2017, s.133) mukaan gluteenittomaan leipätaikinaan saadaan leipämäinen huokosrakenne, kun taikinaan käytettävistä jauhoista 30 % korvataan gluteenittomalla tärkkelyksellä. Tämän perusteella maissitärkkelyksen määrää laskettiin alkuperäisen reseptin sisältämästä 47 %:sta 30 %:iin. Lisäksi kaurajauhojen ja maissitärkkelysten suhteita taikinassa muutettiin. Taikinassa käytetty hunaja päätettiin poistaa ja vakioida lisättävän oliiviöljyn määrä. Toisen testileivonnan jälkeen leivontatulokset olivat parantuneet.

Taulukko 2. Muutokset reseptiikkaan (testileivonta 2 ja 3) ja valmis resepti (%).

	Testileivonta 2	Testileivonta 3	Valmis reseptiikka
Vesi	38,5	39,7	39,7
Täysjyväriisijauho	17,0	17,2	17,2
Hapanjuuri	15,9	16,1	16,1
Kaurajauho	14,7	14,0	13,9
Maissitärkkelys	10,2	9,7	9,7
Psylliumkuorirouhe	1,4	1,1	1,3
Suola	1,4	1,4	1,3
Oliiviöljy	0,9	0,9	0,9
Psyllium osuus jauhojen kokonaispainosta	4,0	3,3	4,0

Kahden testileivonnan perusteella päätettiin laskea psylliumin määrää 4,0 %:sta 3,3 %:iin. Tällä psylliumin määrällä leivät jäivät selkeästi aiempia matalammiksi. Lopullista reseptiikkaa varten psylliumin määrä nostettiin entiselleen. Alkuperäisellä ohjeella valmistettuna leivästä ei saatu riittävän hapanta, jonka vuoksi raskitukseen käytettävä vähimmäisaika muutettiin neljästä tunnista 12 tuntiin. Lisäksi leivän nostatusaika pidennettiin useilla tunneilla ja jääkaappinostatuksen sijaan prosessi suoritettiin jatkossa huoneenlämmössä. Valmiilla reseptiikalla valmistettu leipä vastasi asetettuja kriteerejä.

5.3 Taikinan valmistus

Hapanjuuritaikinat valmistettiin kahdessa eri kulhossa, jotka erotettiin tunnistetietojen avulla toisistaan. Mahdollisimman happaman makuprofiilin luomiseksi hapanjuurille suoritettiin raskitus ennen varsinaista leivontaa. Raskitusta varten kulhoissa sekoitettiin juurta, vettä sekä täysjyväriisijauhoa keskenään ja kulhot siirrettiin styroksilaatikkoon tekeytymään kahdeksan tunnin ajaksi.

Raskituksen jälkeen aloitettiin valmistamaan hapanjuurileipätaikinoita. Leipätaikinat valmistettiin yksi kerrallaan, jotta valmistusprosessi eteni mahdollisimman sujuvasti ja suoraviivaisesti. Ensimmäinen taikina valmistettiin kotijuurta käyttäen. Prosessivaiheet ja niihin käytetty aika sekä raaka-aineiden punnitustulokset kirjattiin tarkasti ylös, jotta leivontaprosessi pystyttiin toistamaan kaupallisella juurella.

Taikinan valmistus aloitettiin turvottamalla psylliumkuorirouhe lämpimässä vedessä. Psylliumkuorirouhe lisättiin kierrevatkaimen avulla tasaisesti sekoittaen +33-asteiseen veteen ja

jätettiin tekeytymään noin kahdeksaksi minuutiksi. Valmis psylliumgeeli oli rakenteeltaan lusi-koitavan paksua ja hieman venyvää (kuva 5).



Kuva 5. Turvotettu, leivontavalmis psylliumgeeli.

Taikinan valmistuksessa käytettiin kaurajauhoja, maissitärkkelystä ja täysjyväriisijauhoja, jotka sekoitettiin leivontakulhossa yhdessä suolan kanssa. Turvotettu psylliumgeeli ja oliiviöljy sekoitettiin nopeasti raskitetun hapanjuuren joukkoon. Lopuksi kuiva-aineet lisättiin hapanjuuriseokseen, sekoittaen taikina tasaiseksi sähkövatkaimen taikinakoukkuja käyttäen. Salovaara ym. (2017, s. 131) mukaan taikina hyötyy voimakkaasta sekoituksesta, sillä riittävä sekoitusaika- ja teho varmistavat käytettävien hydrokolloidien ja jauhojen sisältämien pinta-aktiivisten proteiinien uuttumisen nesteeseen.

Taikinaa sekoitettiin koukkujen avulla, kunnes se alkoi irtoamaan hieman kulhon reunoilta ja näyttämään kimmoisalta. Taikinaa sekoitettiin yhteensä neljän minuutin ajan, jonka jälkeen taikina muotoiltiin ja asetettiin kohotuskulhoon. Valmistusprosessi toistettiin kaupallisella juurella tarkasti muistiinpanoja seuraten. Vaikka kaupallisen juuren valmistaminen eteni muistiinpanojen mukaisesti, työn kulku kirjattiin ylös, jotta prosesseja pystyttiin vertailemaan myöhemmin toisiinsa.

5.4 Muotoilu ja kohotus

Sitkoverkoston omaava leipätaikina muotoillaan usein venyttämällä ja taittelemalla taikinaa useita kertoja kohotuksen aikana (Kuusela, s. 94). Myöhemmässä vaiheessa taikinaa esimuotoillaan joko käsin tai leipurinlastan avulla siten, että taikinan pinta kiristyy ja jännittyy (mts. 96). Varsinainen muotoilu tehdään levänneelle leipätaikinalle. Muotoilu tapahtuu

monivaiheisesti taittelemalla, venyttämällä ja kiristämällä taikinaa ennen viimeistä kohotusta (mts. 100).

Gluteeniton taikina ei kestä vehnähananjuurelle tyypillistä voimakasta muotoilua, jonka vuoksi leipätaikinoita käsiteltiin mahdollisimman vähän. Leipätaikinat irrotettiin vuorollaan leivontakulhoista leipurinlastan avulla ja muotoiltiin jauhotetuin käsin pyöreämmäksi.

Muotoilun yhteydessä leipien raakapainot punnittiin ja kirjattiin muistiin. Kotijuurella valmistettu leipä painoi raakana 906 grammaa ja kaupalliseen juureen valmistettu 920 grammaa. Koska taikinat olivat rakenteeltaan pehmeitä, kohotus tapahtui leivinliinalla vuoratuissa leivontakulhoissa. Leivontakulhojen tarkoituksena oli pitää leipien muoto ryhdikkään pyöreänä kohotuksen ajan. Leivinliinojen päälle ripoteltiin ohut kerros kaurajauhoja taikinoiden tarttumisen estämiseksi. Leipien pinnat jauhotettiin ja liinojen kulmat taiteltiin suojaamaan taikinoita kuivumiselta.

Kohotuksessa hyödynnettiin styroksilaatikkoa, joka suljettiin osittain kannen avulla. Taikinoita kohotettiin vedottomassa ja tasalämpöisessä laatikossa noin 12 tunnin ajan ennen paistoa. Kohotuksen aikana leivät olivat lähes kaksinkertaistaneet tilavuutensa. Kohonneen taikinan pinnalle painettu kuoppa palautui vain osittain alkuperäiseen muotoonsa sitkoverkoston puuttumisen vuoksi.

5.5 Paistoprosessi ja lopputulos

Paistoprosessi aloitettiin teräskattiloiden esilämmityksellä. Teräskattilat asetettiin kylmään uuniin ja säädettiin kiertoilmaohjelma lämpenemään 205-asteeseen. Kun uuni oli saavuttanut asetetun lämpötilan, kuumat kattilat nostettiin uunista. Teräskattiloiden pohjalle ripoteltiin ohut kerros kaurajauhoja. Kohonneet leipätaikinat siirrettiin kohotuskulhoista varovasti esilämmitettyihin kattiloihin. Leipien pintoihin viillettiin kuviot terävän veitsen avulla juuri ennen paistoa (kuva 6).



Kuva 6. Kohonneet ja pintaviilletyt leivät kotijuurella (vasen) ja kaupallisella juurella (oikea).

Viiltämisen jälkeen leipien ulkoreunoille kaadettiin noin 30 millilitraa kylmää vettä ja kattiloiden kannet asetettiin paikalleen välittömästi veden lisäämisen jälkeen. Kattilan sisälle jäävän vesihöyryn avulla pyrittiin mahdollisimman rapeakuoriseen paistotulokseen. Kattilat nostettiin uunin alatasolle ja leipiä paistettiin kannella peitettynä kiertoilmaohjelmalla noin 35 minuutin ajan.

Kun paistoajan päätyttyä kannet poistettiin, havaittiin vesihöyryn tiivistyneen leipien pinnalle kiiltäväksi ja kalvomaiseksi kerrokseksi. Leipien paistoa jatkettiin ilman kantta 35 minuutin ajan. Paistotuloksia tarkastellessa päätettiin jatkaa leipien paistoaikaa viidellä minuutilla, jonka jälkeen leivät nostettiin uunista. Leipien kypsyys varmistettiin mittaamalla sisälämpötila leipien keskikohdasta digitaalisella paistomittarilla. Leipien lopullinen paistoaika oli yhteensä 75 minuuttia ja sisälämpötila oli uunista otettaessa +98-astetta. Kypsät leivät olivat kauttaaltaan kullanuskeita ja rapeakuorisia (kuva 7). Leivät irtosivat hyvin kattiloista ja kumisivat onnistusti pohjaan koputtaessa, mikä ilmaisi leipien kypsyden.



Kuva 7. Kullanruskeaksi paistuneet hapanjuurileivät kotijuurella (vasen) ja kaupallisella juurella (oikea).

Leipiä jäähdytettiin ensimmäisen 30 minuutin ajan ritilän päällä, jotta vesihöyry pääsi poistumaan tasaisesti. Ritiläjäähdytyksen jälkeen leivät siirrettiin elintarvikekäyttöön tarkoitettuihin paperipusseihin, joissa ne jäähdyivät noin seitsemän tunnin ajan mittausten aloitukseen saakka. Pusseja ei suljettu jäähdytymisen ajaksi, jotta leivistä vapautuva kosteus ei kertynyt paperipussien sisäosiin ja leipien kuori pysyi rapeana.

6 MITTAUSMENETELMÄT

6.1 Säilyvyysajan määrittäminen

Leipä kuuluu tuoteryhmään, jolle on ominaista kuoren eli ohuen ja kuivan kerroksen muodostuminen pehmeään mururakenteen ympärille (Subramaniam, 2016, s. 435). Kuoren kosteuspiitoisuus on yleensä 12–17 % ja sisuksen kosteuspiitoisuus 35–42 %. Veteen liuenneet aineet, kuten suola, sitoo itseensä vettä (Salovaara ym., 2017, s. 21). Kun liuenneiden natrium- ja kloridi-ionien ympärille muodostuu vesimolekyylien muodostama kerros, vesi on sitoutunutta. Sitoutunut vesi ei ole käytettävissä esimerkiksi mikrobeille, jonka vuoksi veteen liuenneet aineet voivat parantaa leivän mikrobiologista säilyvyyttä.

Leivän vanheneminen on fysikaalinen ilmiö, joka alkaa leivän jäähtyessä (Salovaara ym., 2017, s. 10). Vanhenemisen aikana leivän sisus alkaa koveta tärkkelyksen, erityisesti amylopektiinin uuskiintymisen seurauksena. Homeiden ja bakteerien itämistä leivässä voidaan ehkäistä alhaisella pH-arvolla (mts. 224).

Muutokset leivässä ovat tuotekohtaisia ja ilmenevät eri tuoteominaisuuksissa (Subramaniam, 2016, s. 445). Näitä muuttuvia ominaisuuksia ovat esimerkiksi tuotteen kosteus, kiinteys, kovuus tai pehmeys, kimmoisuus ja rapeus. Pakkaamattomassa leivässä kosteus pääsee siirtymään leivästä huoneilmaan, mutta pakatussa leivässä kosteus jakautuu tasaisesti pakkaukseen, leivän sisukseen ja kuoreen sekä huoneilmaan (mts. 449). Tämä johtaa tilanteeseen, jossa leivän sisuksen kosteuspiitoisuus laskee, kun vastaavasti kuoren kosteuspiitoisuus nousee. Korkea kuoren kosteuspiitoisuus voi lisätä homeen kasvun riskiä. Kosteudesta on myös hyötyä, sillä leivän kosteuspiitoisuus hidastaa sisuksen vanhenemista. Gluteenittomassa leivonnassa hydrokolloidit sitovat vettä, mikä hidastaa leivän vanhenemista (Salovaara ym., 2017, s. 132).

6.2 Leipän rakennemittaus

Rakennemittaukset suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun (SEAMK) Analyysilaboratoriossa TA-XTPlus-rakennanalysaattorilla, jonka avulla määritettiin gluteenittomien hapanjuurileipien rakenne. Mittaukset suoritettiin kotijuurella sekä kaupallisella juurella valmistettujen leipien kuoresta ja sisuksesta kolmesta eri kohdasta, kolmen peräkkäisen päivän ajan.

Mittausten avulla mitattiin kuorten ja sisusten joustavuutta. Lisäksi tulosten avulla arvioitiin leivän laadullisia ominaisuuksia eli tuoreutta, rakennetta ja laatua. Mittauksissa haluttiin tarkastella leivän rakenteen muuttumista kuluttajaperspektiivistä. Leivät päätettiin leikata neljään mahdollisimman tasakokoiseen sektoriin ja säilyttää jokaista sektoria omassa paperipussissa huoneenlämmössä. Leikkaamis- ja säilytystavan avulla pyrittiin jäljittelemään kotikeittiöolosuhteita, jossa leivän vanhenemisprosessi tyypillisesti etenisi. Mittaustulosten avulla haluttiin määrittää, kuinka monta päivää gluteenittomien leipien rakenne pysyy pehmeänä ja joustavana kuluttajan säilyttämänä kotikeittiöolosuhteissa.

Rakenneanalysointiväline kalibroitiin jokaisen mittauspäivän alussa sekä työn aikana mitta-anturia vaihtaessa. Mittauskorkeudet vaihtelivat kuoren ja sisuksen välillä, sillä analysoidut näytteet olivat eri korkuisia. Mittauksissa käytettiin leipomotuotteille suunnattua mittaohjelmaa, joka oli suunniteltu leivän pehmeiden ja joustavuuden määrittämiseen. Näyte suositeltiin analysoidavan kahdesta päällekkäin asetetusta vaaleasta vuokaleipäviipaleesta. Ohjeistuksesta poiketen mittaukset suoritettiin pyöreän mallisesta pataleivästä. Pataleivän sisus oli vuokaleivälle tyypillistä koostumusta tiiviimpää.

Osa työssä käytettävistä tarvikkeista poikkesi ohjelman suosituksista. Suositellun viiden kilogramman voimakennon sijaan työssä käytettiin 50 kilogramman voimakennoa. Koska sylinterin mallista halkaisijaltaan 36 millimetrin mitta-anturia ei ollut saatavilla, päädyttiin käyttämään 25 millimetrin (P/25) anturia kuorelle ja 35 millimetrin (P/35) anturia leipien sisukselle. Kuorien mittauksissa päädyttiin käyttämään pienempää mitta-anturia, sillä sen todettiin soveltuvan paremmin epätasaisten kuoripinta-alojen mittaamiseen. Korkeuden kalibrointi suoritettiin jokaisen mittauksen alussa säätämällä mitta-anturi noin viiden millimetrin päähän pohjalevystä ohjausyksikön nuolinäppäinten avulla. Mitta-anturialustana käytettiin Heavy Duty Platform (HDP) -perusalustaa ja kenno tarkistuskalibrointiin viiden kilogramman punnuksella.

Kotijuurileivän ja kaupallisen juurileivän kuoresta ja leipäviipaleiden sisuksista suoritettiin rakennemittaukset kolmesta eri kohdasta, joista laskettiin keskiarvo (kuva 8). Mittauksessa käytettiin sylinterin muotoista 25 millimetrin (P/25) mittapäätä, testinopeuden ollessa kymmenen millimetriä sekunnissa ja aloitusvoiman ollessa viisi grammaa. Mittauksen alkaessa mitta-anturi alkoi liikkumaan alaspäin kohti näytteen pintaa. Kuvaaja alkoi piirtymään, kun anturi kohosi näytteen pinnan ja vastustavan voiman, joka oli suurempi kuin asetettu viisi grammaa. Mitta-anturi painui näytteessä määritettyyn viiden millimetrin syvyyteen, jonka jälkeen mittaus

päätyi ja anturi palasi takaisin lähtökorkeuteen. Hapanjuurileipien kuorten mittaukset suoritettiin hieman puolivälin yläpuolelta, jossa mittarin pää osui kuoreen suhteellisen tasaisesti.



Kuva 8. Hapanjuurileivän kuoren rakennemittaus.

Leivän sisuksen rakennetta mitattiin kahdesta päällekkäin asetetusta leipäviipaleesta (kuva 9). Mittauksessa käytettiin sylinterin muotoista 35 millimetrin (P/35) mittapäätä, testinopeuden ollessa kymmenen millimetriä sekunnissa ja aloitusvoiman ollessa viisi grammaa. Kuten kuorienkin mittauksissa, mitta-anturi painui näytteessä viiden millimetrin syvyyteen, alkaen piirtämään kuvaajaa anturin pään saavuttaessa leipäviipaleen pinnan ja vastustavan voiman. Mittauksen päätyttyä anturi palasi takaisin lähtökorkeuteen.

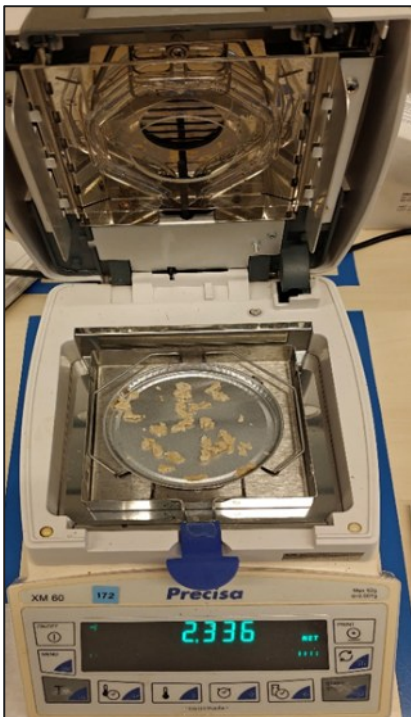


Kuva 9. Hapanjuurileivän sisuksen rakennemittaus leipäviipaleista.

Yhden leipäviipaleen paksuus oli noin 12,5 millimetriä, jolloin mittauksessa käytettyjen leipäviipaleiden yhteenlaskettu paksuus oli noin 25 millimetriä. Koska ensimmäisen mittauspäivän leipäviipaleet olivat kauttaaltaan pehmeitä, seuraavina päivinä näytteiden leikkuupinnoilta poistettiin kuivunut pintakerros ennen näyteviipaleiden leikkaamista. Pintakerrosta poistettiin mahdollisimman vähän juuri ennen mittausten aloittamista.

6.3 Leivän kosteus ja a_w -arvo

Kosteusanalyysi suoritettiin kolmena peräkkäisenä päivänä analysoiden näytteitä leipien kuo-rista ja sisuksista. Mittauksissa käytettiin Precisa XM60 -kosteusanalysaattoria (kuva 10). Si-susten mittauksia varten leivän pintakuivunut osa poistettiin ja mittaukset suoritettiin leivän pehmeästä osasta. Näyte murusteltiin pienemmiksi partikkeleiksi ja levitettiin mahdollisimman tasaisesti punnitusalueelle.



Kuva 10. Näytteiden analysointi Precisa XM60 -kosteusanalysaattorilla.

a_w -mittaukset suoritettiin leipien pehmeästä osasta Novasina LabMASTER -mittalaitteella (kuva 11). Laite koostui mittauskammioista (vasen) sekä esikäsittelykammioista (oikea). Laitetta esilämmitettiin noin 45 minuutin ajan ennen mittausten aloitusta. Näytteeseen sekä rinnakkaisnäytteeseen käytettiin vain leivän sisuksen pehmeää osaa, jotta tuloksista saatiin mahdollisimman vertailukelpoiset.



Kuva 11. Aktiivisen vesipitoisuuden määrittäminen Novasina LabMASTER -mittalaitteella.

Näytekuppien täytössä tuli huomioida sallittu täyttöaste sekä näytteen ilmavuus, jotta mittanturi kykeni analysoimaan näytteitä. Varsinainen näyte asetettiin mittauskammioon ilman kanta ja rinnakkaisnäyte esikäsittelykammioon kannella peitettynä. Laitteen kansi suljettiin ja ohjelman käynnistyessä laite aloitti mittausprosessin sekä näytteen lämmityksen +25-asteeseen.

Elintarvikkeen sisältämän veden aktiivisuus vaikuttaa tuotteen säilyvyyteen (Arendt & Dal Bello, 2008, s. 247). Korkea vesiaktiivisuus edesauttaa homeen, bakteerien ja hiivan kasvua. Gluteenittomat leivät hyötyvät vesiaktiivisuudesta, sillä aktiivisuuden ollessa optimaalisella tasolla ainesosat sekoittuvat taikinaan helpommin parantaen myös taikinan tasaisuutta. Tuotteen sisältämän veden määrä voidaan laskea tuotteen märkäpainon tai kuivapainon perusteella (Fellows, 2016, s. 43). Kuivapainoa hyödynnetään yleensä prosessointilaskelmissa, märkäpainon ollessa yleisemmin käytössä elintarvikkeiden koostumustaulukoissa (mts. 44). Tyypillisesti leivän veden aktiivisuus eli a_w -arvo sijoittuu välille 0,95–0,96 (Salovaara ym., 2017, s. 21).

6.4 Leivän tilavuusmittaus ja paistohäviö

Kypsien leipien tilavuusmittaus suoritettiin yhdestä leivästä kerrallaan kuivien herneiden avulla. Herneitä mahtui mittauksessa käytettyyn astiaan yhteensä 1,5 kilogrammaa. Tilavuusmittaukset suoritettiin kokonaisista, täysin jäähtyneistä leivistä ennen muiden mittausten aloittamista. Tilavuusmittauksessa käytettävän astian sisäpinnalle kiinnitettiin mitta-asteikko, jonka avulla määritettiin herneiden määrä mittauksen alussa sekä lopussa. Herneiden

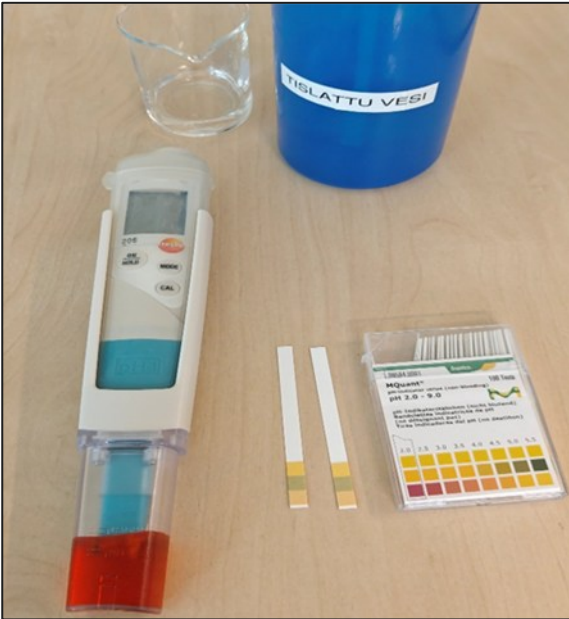
määrittämä pinnankorkeus merkittiin mitta-asteikkoon, jonka jälkeen herneet siirrettiin toiseen astiaan. Leipä asetettiin mitta-astian pohjalle ja peitettiin herneillä mittaviivaan saakka. Syrjäytetyt herneet punnittiin ja vähennettiin herneiden kokonaismäärästä. Hapanjuurileipien tilavuus määritettiin syrjäytettyjen herneiden massan perusteella.

Leipätyypistä riippuen, leivän paino laskee paistamisen aikana 8–20 % (Salovaara ym., 2017, s. 173). Tätä pääosin veden haihtumisesta johtuvaa painon menetystä kutsutaan paistohäviöksi. Paistohäviö voidaan laskea punnitsemalla tuotteen raaka- ja kypsäpaino, joiden avulla suoritetaan laskutoimitus. Kypsäpaino tulee punnita täysin jäähtyneistä leivistä, sillä haihtumisprosessi jatkuu vielä paiston jälkeen.

6.5 Juurien pH-arvot

Hapanjuurien pH-mittaukseen suositellaan indikaattoriliuskoja, jotka ovat tarkoitettu pH-välille 3–7 (Salovaara ym., 2017, s. 124). Raskin pH-arvo vaikuttaa merkittävästi entsyymien toimintaan ja mikrobien kasvuun. Hapanjuurien mittauksissa käytetyt liuskat sopivat pH-arvoltaan 2.0–9.0 näytteille (kuva 12). Pakkaukseen liitettyä pH-asteikkoa käytettiin apuna mittaustulosten analysoinnissa.

Juurien pH-mittaus suoritettiin laimentamattomista näytteistä, jotka oli kerätty emojuurien ruokinnan yhteydessä 15.7.–22.7.2025 ja 17.9.–21.9.2025 aikana. Heinäkuussa kerätyt näytteet olivat juurien ensimmäiseltä ruokintajaksolta ja syyskuussa kerätyt näytteet kuudennelta ruokintajaksolta.



Kuva 12. pH-mittari ja pH-liuskat hapanjuurien happamuuden analysointiin.

Juurinäytteet säilytettiin pakastimessa tunnistetiedoilla varustetuissa annospusseissa, ohueksi paineltuina levyinä. Pakastettuja näytteitä sulatettiin huoneenlämmössä noin tunnin ajan ennen mittausten aloittamista. Puhdas pH-mittari upotettiin suoraan näytepussiin ja mittarin näytöllä näkyvät tulokset kirjattiin ylös. Jokaisen suoritettavan mittauksen välissä elektроди huuhdeltiin huolellisesti tislattulla vedellä. pH-mittarilla suoritettiin mittaukset yhteensä 22 näytteestä, joista 12 oli kotijuuresta ja 10 kaupallisesta juuresta. pH-mittari ilmoitti happamuuden lisäksi näytteiden lämpötilan.

Lisäksi mittauksia suoritettiin pH-liuskojen avulla, jotta pystyttiin arvioimaan pH-mittarin luotettavuutta sekä vertailemaan mahdollisia mittausmenetelmistä johtuvia tuloseroja. pH-liuskojen avulla mitattiin arvot ensimmäisen ruokintajakson lopetuspäivältä (22.7.) sekä kuudennen ruokintajakson aloitus- ja lopetuspäivältä (17.9. ja 21.9.). Heinä-syyskuun välisen ajan juuria oli säilytetty jääkaapissa (+4 °C) jokaisen ruokintajakson päätyttyä. Ruokintajaksojen 1 ja 6 välissä juurilla leivottiin yhteensä neljä kertaa, joista jokaisella leivontakerralla lopputulokset vastasivat gluteenittomalle hapanjuurileivälle asetettuja tavoitteita.

6.6 Aistinvarainen arviointi

Aistinvarainen arviointi suoritetaan yleensä raadin avulla, joka koostuu työhön valituista henkilöistä (Bourne, 2002, s. 259). Raadin koko vaihtelee viidestä seitsemään henkilöön. Tuotteiden arviointi tapahtuu tilassa, joka on hyvin valaistu, hajusteeton ja hiljainen. Tilasta on

poistettava kaikki häiriötekijät, jotka voisivat heikentää raadin keskittymistä arvioinnin aikana. Aistinvarainen arviointitilaisuus on mahdollista toteuttaa myös kuluttajista koostuvan paneelin avulla (mts. 280). Kuluttajat arvioivat tuotteita yleensä valmista arviointilomaketta käyttäen.

Kotijuurileivän ja kaupallisen juurileivän aistinvarainen arviointi suoritettiin useaan eri otteeseen kokonaisista, neljäsosasektoreihin jaetuista sekä viipaloiduista leivistä. Ensimmäinen arviointi suoritettiin kokonaisista, uunituoreista leivistä ja toinen arviointi 8 tunnin kuluttua, kun leivät olivat jäähtyneet. Seuraavat arvoinnit suoritettiin neljäsosasektoreista, joita oli yksi jokaiselle mittauspäivälle. Muiden mittausten mukaisesti, myös aistinvarainen arviointi pyrittiin suorittamaan kuluttajanäkökulmasta tarkastellen.

Gluteenittomien leipien aistinvaraisessa arvioinnissa tarkasteltiin

- ulkonäköä: kuori, väri, leikkauspinta, murukoko, leivän koko ja muoto
- tuoksua: voimakkuus, happamuus, tuoreus
- rakennetta ja suutuntumaa: rapeus, murenevuus, kimmoisuus, kosteus, pehmeys
- makua: happamuus, suolaisuus, jälkimaku, miellyttävyys.

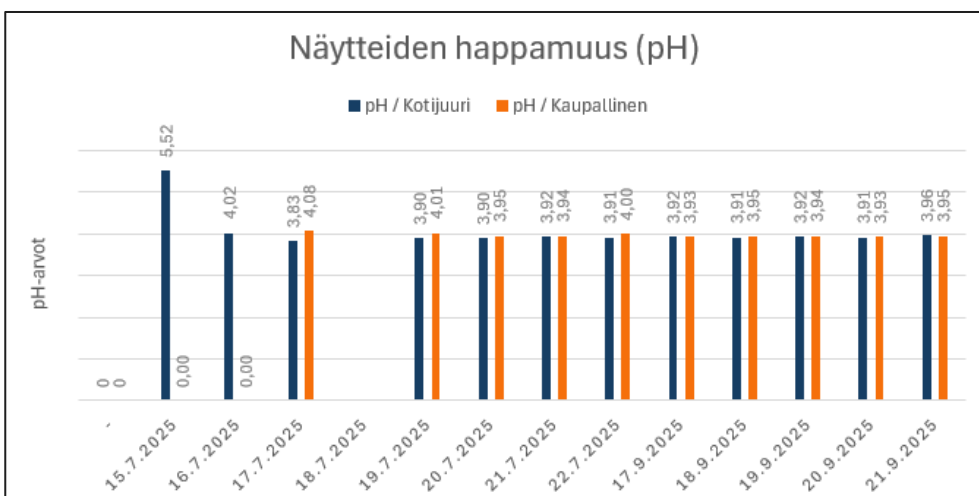
Arvioinnin eri vaiheissa käytettiin apuna arviointitaulukkoa (liite 1). Leivontapäivänä suoritettujen mittauksien yhteydessä leivät jaettiin neljäsosasektoreihin, jonka yhteydessä tarkasteltiin ja arvioitiin leivän leikkauspintaa sekä rakennetta.

7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Hapanjuuriprosessi aloitettiin valmistamalla kaksi vertailtavaa gluteenitonta hapanjuurta. Kotijuuren valmistukseen käytettiin ainoastaan täysjyväriisijauhoja ja vettä. Kaupallisen juuren valmistukseen käytettiin edellä mainittujen raaka-aineiden lisäksi kuivattua riisihapanjuurta. Hapanjuuret valmistettiin työn aikana rinnakkain, jotta elinvoimaisuuden ja pinnankorkeuden kehitystä sekä juurien toimivuutta leivontaprosessissa pystyttiin vertailemaan keskenään.

Hapanjuuret. Juurien kehittyminen alkoi odotettua nopeammin, sillä mikrobitoimintaa oli havaittavissa jo ensimmäisten päivien aikana. Vaikka kaupallisen kuivajuuren herättely toteutettiin valmistajan ohjeesta poiketen, tulosten perusteella muutokset eivät vaikuttaneet juuren kehittymiseen. Juurien pinnalle muodostui ensimmäisen ruokintajakson aikana useasti neste-kerros, joka viittasi juurten ravinnonpuutteeseen tai mikrobiepätasapainoon. Koska mikrobi-toiminta kehittyi nestekerroksista huolimatta, juurien ruokintaan tai olosuhteisiin ei tehty muutoksia. Jauhojen laatu, styroksilaatikon luoma lämmin ja vedoton kasvuympäristö sekä tasainen ruokintaväli auttoi pitämään juurien kehitysolosuhteet optimaalisina.

pH. Juurien happamuuden eli pH-arvojen kehitystä tarkasteltiin pH-mittausten avulla (kuvio 3). Vertailtavat näytteet poimittiin ensimmäisen sekä kuudennen ruokintajakson aikana ennen juurien ruokintaa. Kyseisten ruokintajaksojen avulla pyrittiin hahmottamaan, kuinka juurien ikä, olosuhteet ja muut ruokintajaksot olivat vaikuttaneet happamuuden kehittymiseen.



Kuvio 3. Hapanjuurinäytteiden pH-arvojen kehitys ruokintajaksolla 1 ja 6.

Ensimmäisen ruokintajakson alussa näytteet kerättiin vain kotijuuresta, sillä kaupallista juurta ei ollut riittävästi. Kaupallisen juuren vähäinen määrä johtui muokatusta kuivajuuren

herättelytekniikasta. Jos kuivajuuren herättely olisi suoritettu ohjeiden mukaisesti, näytteitä olisi voitu kerätä heti ensimmäisestä valmistuspäivästä alkaen. Hapanjuurien ruokintaa ja näytteenottoa ei suoritettu 18.7.2025, minkä ei havaittu vaikuttaneen juurien kehitykseen.

Tuloksia tarkastellessa havaittiin muutoksia ruokintajaksojen pituuksissa. Kuudennen ruokintajakson pituus oli kolme päivää lyhyempi ensimmäiseen ruokintajaksoon verrattuna. pH-mittausten tuloksia tarkastellessa huomattiin, että hapanjuuret olivat happamoituneet tasaisesti ensimmäisen ruokintajakson aikana ja kotijuuren pH-arvo oli lähtenyt selkeään laskuun heti jakson alussa. Kaupallisen juuren happamuus vaihteli heinäkuun aikana hieman kotijuurta enemmän. Syyskuussa kummankin juuren pH-arvot pysyivät lähes muuttumattomina. 17.7.2025–21.9.2025 analysoitujen näytteiden tulokset osoittivat, että kotijuuren ja kaupallisen juuren pH-arvot erosivat suurimmillaan 0,25 yksikköä ja pienimmillään 0,01 yksikköä. Suurimmat vaihtelut sijoituivat ensimmäisen ruokintajakson alkuun.

Vaikka pH-mittarin tulokset vaikuttivat luotettavilta, näytteiden pH-arvoja analysoitiin lisäksi pH-liuskojen avulla (kuva 13). Liuskoilla analysoitiin kotijuuren sekä kaupallisen juuren näytteet ensimmäisen ruokintajakson lopusta (22.7.2025) sekä kuudennen ruokintajakson aloitus- ja lopetuspäivältä (17.9.2025 ja 21.9.2025).



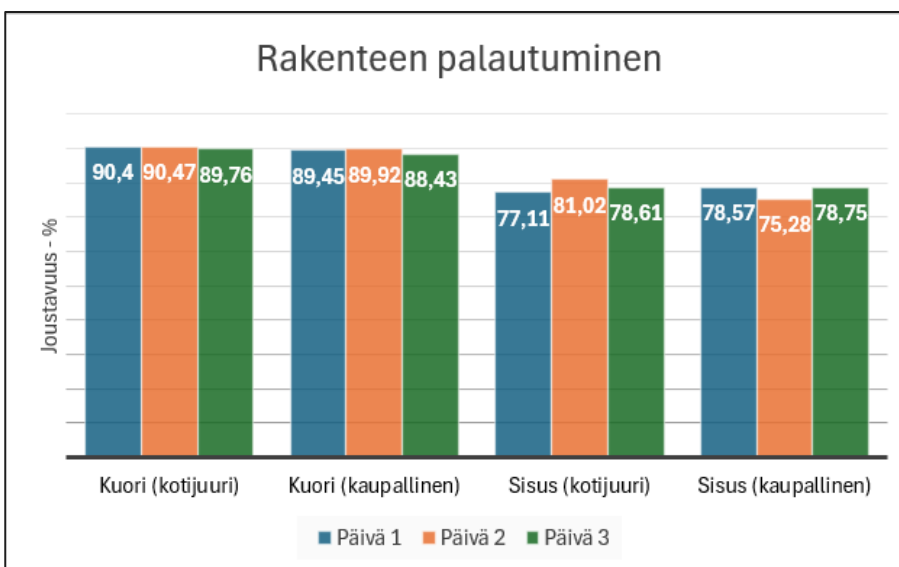
Kuva 13. Hapanjuurinäytteiden tulokset pH-liuskoilla.

pH-liuskojen värillinen osa upotettiin näytteeseen ja liuskaan tarttunut hapanjuuri poistettiin varovasti käsipaperilla painellen. Liuskat reagoivat välittömästi näytteiden happamuuteen. Tuloksia verrattiin pakkauksen värikarttaan todeten jokaisen näytteen pH-arvoksi 4,0. pH-mittarilla ja pH-liuskoilla saatuja tuloksia vertaillen todettiin, että liuskoilla saadut tulokset olivat

suurpiirteisiä. Tarkkojen lukemien perusteella osan liuskoista olisi pitänyt värjäytyä pH-arvon 3,0 mukaisesti. pH-liuskojen käyttö vahvisti pH-mittarin luotettavuuden tilanteissa, joissa näytteistä tarvittiin täsmällisiä tuloksia.

Rakenneanalyysimittaukset suoritettiin kotijuureen (kotijuurileipä) sekä kaupalliseen juureen (kaupallinen juurileipä) valmistetuista leivistä kolmena peräkkäisenä päivänä. Ensimmäiset mittaukset suoritettiin leivontapäivänä täysin jäähtyneistä leivistä. Mittaukset haluttiin toteuttaa kuluttajakäyttötymistä mukaillen, jotta tulokset jäljittelisivät kuluttajan säilyttämän leivän vanhenemisprosessia. Kuluttajanäkökulmasta tarkastellessa rakennemittaukset suoritettiin neljäsosasektoreihin leikatuista leivistä, joista yksi sektori vastasi yhden päivän analysoitavaa näytettä. Tyypillisesti rakenneanalyysit suoritetaan kokonaisista leivistä tai sämpylöistä.

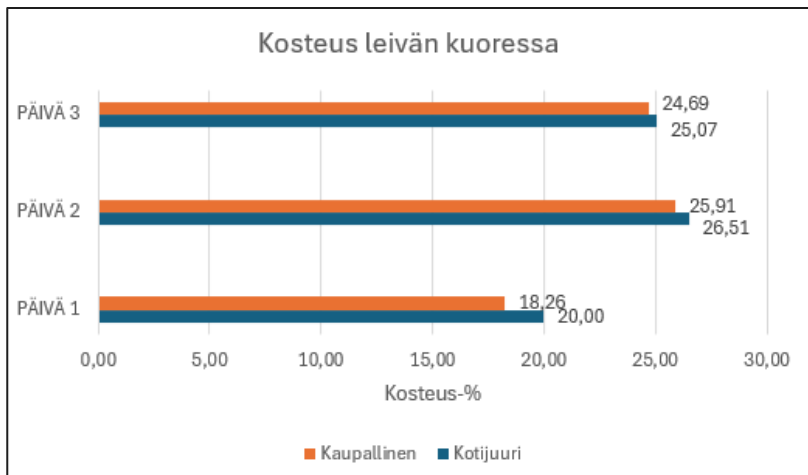
Rakennemittausten avulla mitattiin gluteenittomien hapanjuurileipien kuorten ja sisusten rakenteen joustavuutta. Tulosten avulla arvioitiin lisäksi hapanjuurileipien laadullisia ominaisuuksia eli tuoreutta, rakennetta ja laatua. Mittauksilla ilmaistiin, kuinka paljon leivän alkupe räinäinen rakenne palautui puristustestistä (kuvio 4). Mittaustuloksia vertaillaan todettiin sekä kotijuurileivän että kaupallisen juurileivän kuoren joustavan huomattavasti leipien sisusta enemmän. Hapanjuurileipien kuorten joustavuus pysyi lähes muuttumattomana koko mittausjakson ajan. Kotijuurileivän kuori palautui jokaisesta mittauksesta noin 90 % ja kaupallisen juurileivän kuori noin 89 %. Hapanjuurileipien sisukset palautuivat huomattavasti heikommin kuoriin verrattuna.



Kuvio 4. Hapanjuurileipien kuorten ja sisusten rakenteen palautuminen puristustestistä (n=3).

Päivien 1 ja 2 rakennemittausten tuloksia verratessa toisiinsa, havaittiin molempien hapanjuurileipien kuorten sekä kotijuuren sisuksen joustavuuden kasvaneen. Kaupallisen juurileivän sisuksen joustavuus oli muista poiketen laskenut. Päivien 1 ja 3 tulosten vertailu osoitti, että kuorien joustavuus oli laskenut. Hapanjuurileipien sisusten joustavuus oli puolestaan korkeampi kuin ensimmäisenä mittauspäivänä.

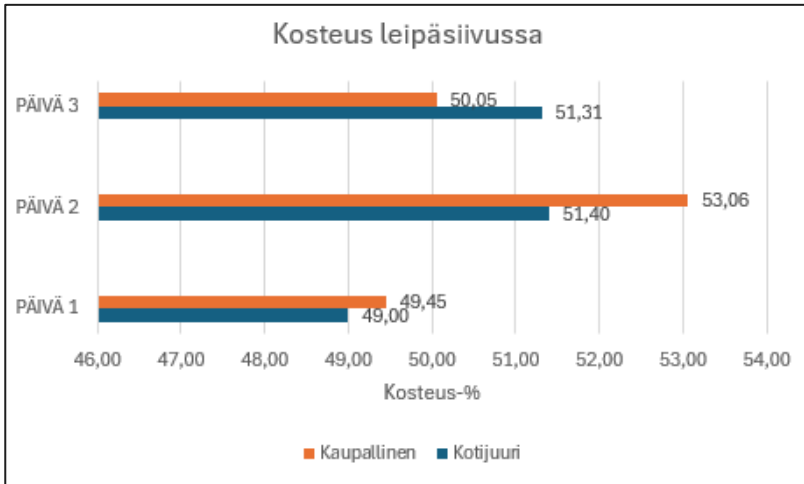
Kosteusanalyysi. Kosteusanalysointilla suoritettujen kosteusanalyysien suoritus tapahtui muiden mittausten tavoin leipien kuorista sekä sisusten pehmeästä osasta. Päiväkohtaisia tuloksia tarkastellessa huomattiin, että kuorten kosteuspitoisuudet olivat alhaisimmat ensimmäisenä mittauspäivänä (kuvio 5). Tulosten mukaan kotijuurileivän kuoren kosteus oli tasan 20 %, mikä oli hieman korkeampi kaupallisen juurileivän kosteuspitoisuuteen verrattuna.



Kuvio 5. Hapanjuurileipien kuorten kosteusanalyysin tulokset.

Toisen ja kolmannen mittauspäivän tulokset erosivat hyvin vähän toisistaan, sillä erot olivat 0,6 % ja 0,38 %. Tyypilliseen leivän kuoren kosteuspitoisuuteen (12–17 %) verrattuna gluteenittomien hapanjuurileipien kuoret olivat tavanomaista kosteampia. Koska leipiä säilytettiin suljetuissa paperipusseissa, pussia läpäisemätön kosteus saattoi vaikuttaa tuloksiin nostamalla kuorien kosteuspitoisuuksia.

Leipien sisuksista mitattu kosteus vaihteli selvästi kuorista mitattuja tuloksia enemmän (kuvio 6). Mittausten aikana kaupallisen juurileivän kosteuspitoisuudessa havaittiin suurempia muutoksia kuin kotijuurileivässä. Kotijuurileivän sisuksen kosteus pysyi lähes muuttumattomana päivän 2 ja 3 mittauksissa.



Kuvio 6. Hapanjuurileipien sisusten kosteusanalyysin tulokset.

Tyypillisesti leivän sisuksen kosteuspitoisuus vaihtelee 35–42 % välillä. Gluteenittomien hapanjuurileipien sisusten arvot poikkesivat jossain määrin tyypillisestä kosteuspitoisuudesta. Kosteuspitoisuuteen saattoi vaikuttaa turvotettu psylliumgeeli, jonka tarkoitus oli pehmentää leivän koostumusta. Leipäsiivuista määritetyt kosteuspitoisuudet poikkesivat enemmän tyypillisistä arvoista kuin kuorista mitatut pitoisuudet.

a_w -mittaus. a_w -mittausten tarkoituksena oli määrittää veden aktiivisuus leipien sisuksessa. Mittauksissa käytettiin vain leivän pehmeää osaa. Päiväkohtaisia tuloksia tarkastellessa todettiin, että veden aktiivisuus kummassakin leivässä oli kohtuullista koko mittausjakson ajan (taulukko 3).

Taulukko 3. Veden aktiivisuus (a_w) hapanjuurileivissä.

	Kotijuuri	Kaupallinen
Päivä 1	0,968 \approx 0,97	0,969 \approx 0,97
Päivä 2	0,972 \approx 0,97	0,971 \approx 0,97
Päivä 3	0,971 \approx 0,97	0,971 \approx 0,97

Muiden mittausten tulokset huomioiden, aktiivisen veden määrä oli pysynyt lähes muuttumattomana koko mittausjakson ajan. Arvot eivät eronneet merkittävästi leivälle tyypillisistä a_w -tuloksista, sillä kotijuurileivän ja kaupallisen juurileivän arvot olivat vain 0,01 yksikköä korkeammat. Tyypillisesti veden aktiivisuus määrittyi arvoihin 0,95–0,96.

Paistohäviö. Paiston aikana leivistä haihtui kosteutta, jonka vuoksi työssä määritettiin myös leipien paistohäviö. Paistohäviöiden määrittämistä varten leivät punnittiin ennen paistoa sekä täysin jäähtyneenä paiston jälkeen. Paistohäviöt lasketaan kaavalla (Aho ym., 2022, s. 2 muokailen).

$$\text{Paistohäviö-}\% = \frac{\text{Raakapaino (g)} - \text{Kypsäpaino (g)}}{\text{Raakapaino (g)}} * 100 \% \quad (1)$$

Missä

Raakapaino (g) on taikinan raakapaino grammoina

Kypsäpaino (g) on leivän kypsäpaino grammoina

Leipien raaka- ja kypsäpainoja tarkastellessa havaittiin, että kaupallinen juurileipä oli raakapainoltaan kotijuurileipää painavampi (taulukko 4). Kypsäpaino punnittiin täysin jäähtyneistä leivistä, kun veden haihtumisprosessi oli hidastunut. Kaupallisen juurileivän paistohäviöprosentti oli 1,25 % korkeampi kuin kotijuurileivällä. Kaupallisen juurileivän paistohäviöprosentti oli 1,25 % korkeampi kuin kotijuurileivällä. Kaupallinen juurileipä oli raakapainoltaan hieman kotijuurileipää painavampi. Juurissa sekä leivonnassa käytettyjä raaka-ainemääriä tarkastellessa pääteltiin kaupallisen juurileivän sisältäneen hieman enemmän nestettä, sillä leipien paisto-olosuhteet sekä paistovälineet olivat identtiset. Paiston aikana kaupallisesta juurileivästä oli näin ollen haihtunut enemmän nestettä, joka vaikutti nostavasti paistohäviöprosenttiin.

Taulukko 4. Hapanjuurileipien paistohäviöt.

	Raakapaino (g)	Kypsäpaino (g)	Paistohäviö (g)	Paistohäviöprosentti (%)
Kotijuuri	906	746	160	17,66
Kaupallinen	920	746	174	18,91

Tilavuusmittaus. Tilavuusmittaukset suoritettiin kokonaisista leivistä ennen muiden mittausten aloittamista. Tilavuuden määrittämiseksi käytettiin syrjäytysmenetelmää, joka suoritettiin herneiden avulla. Käytettyjen herneiden kokonaismassa oli kummassakin mittauksessa 1,5 kilogrammaa. Tilavuuden laskemista varten selvitettiin, että 1 dl kuivattuja herneitä painoi

noin 70 grammaa. Kotijuurileivän syrjäyttämien herneiden massa oli 534 grammaa ja kaupallisen juurileivän 510 grammaa. Hapanjuurileipien tilavuus lasketaan kaavalla (2)

$$V = \frac{m_s}{\rho} \quad (2)$$

missä

V on leivän tilavuus

m_s on syrjäytettyjen herneiden massa

ρ on herneiden massa per tilavuusyksikkö

Kotijuurileivän tilavuudeksi saatiin 7,63 dl eli noin 0,76 litraa. Kaupallisen hapanjuurileivän tilavuudeksi saatiin 7,29 dl eli noin 0,73 litraa. Kotijuurileivän tilavuus oli hieman kaupallista juurileipää suurempi.

Aistinvarainen arviointi. Leipien aistinvarainen arviointi suoritettiin kolmen päivän ajan muiden mittausten yhteydessä. Ensimmäinen arviointi suoritettiin kokonaisista, uunituoreista leivistä. Vastapaistettujen leipien kuori oli erittäin rapea ja leivät olivat hyvin kohonneita. Tuoksun tai ulkoisten ominaisuuksien perusteella leipiä ei voitu luokitella gluteenittomiksi tuotteiksi. Hapanjuurileipien ulkonäköä vertaillen ei havaittu merkittäviä eroavaisuuksia. Tarkemmassa tarkastelussa kuitenkin huomattiin, että kaupallinen juurileipä oli muutamia millimetrejä matalampi sekä leveämpi kotijuurileipään verrattuna.

Seuraava arviointi suoritettiin noin kahdeksan tunnin kuluttua paistosta, kun leivät olivat täysin jäähtyneitä. Kummankin leivän kuori oli jäähtyttyäänkin erittäin rapea ja sisus oli halkaisessa pehmeä. Leivän leikkauspinnat olivat rakenteeltaan tiiviitä, mutta kypsiä. Vahtokuplat olivat jakautuneet tasaisesti koko leivän alueelle ja murukoko vaikutti silmämääräisesti tarkasteltuna tasaiselta. Mittausten aikana leipiä tarkasteltiin ja arvioitiin mittalaitteiden lisäksi veitsellä siivuttaen. Siivutuksen yhteydessä havaittiin, että leipien kuori ja sisus eivät irronneet toisistaan ja rakenne säilyi murenemattomana. Tiiviin rakenteen ansiosta leivistä pystyi leikkaamaan myös erittäin ohuita siivuja. Gluteenittomien hapanjuurileipien suutuntuma oli selkeästi raskaampi ja tiiviimpi kuin vehnästä valmistetuissa hapanjuurileivissä. Gluteenittomien hapanjuurileipien happamuus ja reseptiikassa käytetty suolan määrä olivat

tasapainossa. Aistinvaraisesti arvioituna kotijuurileipä ja kaupallinen juurileipä eivät eronneet tuoreena juuri lainkaan toisistaan.

Päivän 2 aistinvarainen arviointi suoritettiin, kun leipiä oli säilytetty 30 tunnin ajan huoneenlämmössä, suljetuissa paperipusseissa. Leivät oli jaettu edellisenä päivänä neljäsosasektoreihin, jotta säilytystapa jäljittelisi kotikeittiöolosuhteissa käytettävää menetelmää. Kotijuurileivän kuori oli painattaessa hieman jämäkemmän ja kuivemman tuntuinen tuoreeseen leipään verrattuna. Kaupallinen juurileipä oli kuoreltaan sitkeämpi ja kovempi kuin kotijuurileipä. Kuoren muutosten lisäksi leivän sisus oli kotijuurileipää tiiviimpi. Kummankin arvioitavan leipäsektorin leikkuupinnat olivat kuivahtaneet noin 3 millimetrin paksuudelta. Ulkoisten ominaisuuksien muutoksista huolimatta, leipien maku oli edelleen miellyttävän hapan ja lähes tuoreen kaltainen. Säilytysaika ja -tapa ei ollut vaikuttanut leipien rakenteeseen, sillä siivutustulokset olivat edelleen erinomaisia.

Kolmantena arviointipäivänä leipiä oli säilytetty huoneenlämmössä 53 tunnin ajan. Aiempaan tapaan leipiä oli säilytetty suljetuissa paperipusseissa. Kotijuurileivän kuori oli alkanut huomattavasti sitkastumaan ja kuivumaan. Erityisesti muutoksen huomasi leivän reunojen matalista kohdista, joissa sisusta oli vähemmän. Kaupallinen juurileipä oli selkeästi kotijuurileipää kuivempi ja kovempi. Kuorien muutoksista huolimatta, leipien sisukset olivat kuitenkin edelleen kosteita, eikä makuprofiilissa havaittu erityisiä muutoksia. Leipäsektoreiden leikkuupinnat olivat selkeästi aiempaa kuivempia ja poistettavaa pintakerrosta oli kertynyt noin 4 millimetrin verran. Aistinvaraisesti arvioituna leipien murukoko oli edelleen yhtä tasainen kuin leivontapäivänä (kuva 14).



Kuva 14. Murukoko kuivahtaneessa sekä pehmeässä kotijuurileivässä (vasen) ja kaupallisessa juurileivässä (oikea).

Leipäviipaleista tummemmat, selkeästi kuivahtaneemmat viipaleet olivat leikkuupintoja, jotka poistettiin vaaleamman eli pehmeän osan tieltä toisen ja kolmannen mittauspäivän alussa.

Murukokoa tarkastellessa todettiin, että muun muassa riittävä hydrokolloidilisäys oli pitänyt taikinaan muodostuneet kaasukuplat erillään. Reseptiä muokkaamalla leipien murukokoa olisi mahdollista kasvattaa ja saada leivän rakenteesta nykyistä ilmavampi.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli osoittaa, että elinvoimaisen hapanjuuren valmistaminen onnistuu kuluttajan kotikeittiön optimoidussa kasvuympäristössä. Lisäksi tavoitteeksi asetettiin valmistaa yhtä hyvää tai parempaa leipää itse valmistetulla hapanjuurella, kuin kaupallisella hapanjuurella. Sekä juurien että hapanleipien valmistusprosessi oli suunniteltu onnistumaan ilman leipomo-olosuhteita. Tavoitteiden toteutumista seurattiin vertaamalla itse valmistetun ja kaupallisen hapanjuuren pH-arvojen kehitystä sekä toimivuutta hapanjuurileivän valmistusprosessissa. Gluteenittomat hapanjuurileivät valmistettiin itse kehitetyllä reseptiikalla ja mitauksissa tarkasteltiin kolmen peräkkäisen päivän ajan gluteenittomien hapanjuurileipien kuorten ja sisusten joustavuutta, kosteuspitoisuutta sekä aktiivisen veden määrää. Lisäksi arvioitiin leivän ainesosien vaikutusta leivän rakenteeseen ja säilyvyyteen.

Gluteenittomien juurien kehityksessä styroksilaatikon käyttäminen kasvuympäristönä vaikutti juurten kehitystuloksiin positiivisesti. Optimoitu kasvuympäristö auttoi pitämään juurten olosuhteet tasaisina ja kasvua edistävänä. Tulosten perusteella kuluttajat hyötyvät styroksilaatikon käyttämisestä juurien kasvatusympäristönä.

Hapanjuurileipien rakenne riippuu taikinassa käytettävistä raaka-aineista sekä niiden määrästä. Havaittiin, että huolellisesti valikoidut raaka-aineet, korkean amyloosi-amylopektiinisuhteen omaava tärkkelys sekä riittävän suuri hydrokolloidilisa vaikuttaa hapanjuurileipien kohoamistulokseen sekä leivän rakenteeseen. Leipien kohoamistuloksia tarkastellessa todettiin, että juurien sisältämät mikro-organismien voimistuivat jokaisen ruokintajakson aikana.

Teräskattilassa paistettujen hapanjuurileipien paistotulokset muistuttivat tyypillistä rapeakuorista hapanjuurileipää. Paistolämpötilan, höyryn ja riittävän pitkän paistoajan avulla nämä tulokset ovat saavutettavissa. Tulosten tarkastelun yhteydessä kotijuurileivän tilavuus todettiin kaupallista juurileipää suuremmaksi. Havaittiin, että lähes huomaamattomat kokoerot voivat vaikuttaa leipien tilavuuteen. Koska tilavuusmittaukset suoritettiin kuivattujen herneiden avulla, mitta-astiaan saattoi jäädä pieniä ilmataskuja, jotka vaikuttivat tilavuusmittausten tuloksiin. Luotettavampia tuloksia varten tilavuusmittauksessa tulisi käyttää siemeniä, jotka kykenevät täyttämään mitta-astian herneitä tiiviimmin.

Kosteuspitoisuuksien tulokset ylittivät leiville tyypilliset arvot niin hapanjuurileipien kuoresta kuin sisuksesta suoritetuista mittauksista. Pakatun leivän kosteus oli jakautunut tasaisesti

leivän kuorien ja sisusten lisäksi leipää ympäröivään paperipussiin. Pidettiin todennäköisenä, että leivistä haihtunut kosteus ei läpäissyt riittävän nopeasti paperipussia, jonka vuoksi kosteus pysyi tiukasti leipien kuorikerroksissa ja nosti kosteusmittausten tuloksia. Lisäksi pääteltiin, että leipien rakennetta pehmentävä psylliumkuorirouhe vaikutti sisusten kosteuspitoisuuteen nostavasti. Psylliumgeelin sisältämä vesi vaikutti osaltaan myös veden aktiivisuuteen eli leipien a_w -arvoon. Vaikka leivän korkea vesiaktiivisuus vaikutti heikentävästi tuotteen säilyvyyteen, gluteenittoman leivän koostumus hyötyi siitä. Veden aktiivisuuden lisäksi leipien säilyvyyteen vaikutti hapanjuuren happamuus, sillä leipien pinnoilla ei havaittu homekasvustoa.

Aistinvaraiset arvioinnit suoritettiin mittausten yhteydessä. Työn tavoitteena oli kehittää yksinkertaisten raaka-aineiden avulla gluteeniton hapanjuurileipä, jota ei mielletä rakenteen tai maun perusteella gluteenittomaksi. Leivät arvioitiin rapeakuorisiksi, maultaan happamiksi sekä hyvin leikkautuviksi. Kuluttajanäkökulmasta tarkastellessa paperipussissa säilyttäminen ei estä leivän kuivumista, mutta hidastaa leivän vanhenemisprosessin etenemistä. Paperipussin sijasta esimerkiksi leikkuulaudalla säilytettävän pakkaamattoman leivän kuori olisi todennäköisesti kuivempi, sillä leivästä haihtuva kosteus siirtyisi suoraan huoneilmaan.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin onnistuneesti. Työn tulokset osoittavat, että kotijuurta käyttämällä päästään yhtä hyvin leivontatuloksiin kuin kaupallisella juurella. Kuluttajien on mahdollista valmistaa elinvoimainen gluteeniton hapanjuuri kotikeittiöolosuhteissa. On todennäköistä, että tulevaisuudessa gluteenittomien leipätuotteiden säilyvyyttä ja makuprofiilia tullaan parantamaan hapanjuurien avulla. Työssä kerättyjä mittaustuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi uusien hapanjuurituotteiden kehityksessä.

Vaikka työtä voidaan pitää pääosin luotettavana, mittaustuloksiin liittyy epätarkkuutta työssä ilmenneiden mittausrvirheiden vuoksi. Tarkempien tulosten saavuttamiseksi työssä tulisi kiinnittää erityistä huomiota käytettäviin ohjelmiin ja työvälineisiin. Rakennemittausten tuloksista olisi todennäköisesti saatu tarkempia, jos mittauksissa olisi käytetty mittaushjelmaan määritettyä voimakennoa ja oikean kokoisia mitta-antureita. Hapanjuurien valmistuksessa ja analysoinnissa pinnankorkeuden kehittymiseen tulisi kiinnittää enemmän huomioita. Jos tutkimus toistettaisiin tulevaisuudessa, kehityskohteiden huomioinen parantaisi tutkimustulosten tarkkuutta.

LÄHTEET

- Agrawal, R. (2021). Psyllium: a source of dietary fiber. Teoksessa V. Waisundara (toim.), *Dietary fibers*. <https://www.intechopen.com/chapters/78644>
- Aho, J., Koponen, M., Pasto, M-P., & Stalder, S. (2022). Monipuolinen elintarvikeala – Elin-
tarvikkeiden valmistus ja tuotanto (4.p.). Opetushallitus. <https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/havikki.pdf>
- Arendt, E. K., & Zannini, E. (2013). *Cereal grains for the food and beverage industries*. Woodhead Publishing.
- Arendt, E., & Dal Bello, F. (2008). *Gluten-free cereal products and beverages*. Academic Press.
- Bourne, M. (2002). *Food texture and viscosity: concept and measurement* (2.p.). Academic Press.
- Connors, R. (10.2.2021). How to make gluten-free sourdough bread. *Bakerita*. <https://www.bakerita.com/gluten-free-sourdough-bread/>
- Fellows, P.J. (2016). *Food processing technology: principles and practice* (4.p.). Woodhead Publishing.
- Komission asetus (EY) N:o 41/2009. <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/41/oj>
- Komission täytäntöönpanoasetus (EU) N:o 828/2014. http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2014/828/oj
- Kuusela, E. (2019). *Leipävallankumous: Hapanjuuren paluu* (4.laaj.p.). Readme.fi.
- Leipäpaja – Eliisa Kuusela. (7.9.2018). *Miten kauan juuri säilyy? Voiko juuren pakastaa? Pitääkö juurta ruokkia usein?* [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=idcuc0NAgHQ>

Leipätiedotus. (i.a.) *Maissi (Zea mays)*. https://www.leipätiedotus.fi/tietoa-leivasta/vilja/ulko-maiset-viljat/maissi.html?utm_source=chatgpt.com

Lindholm, K. (2022). *Kuivatun hapanjuuren käyttäminen vehnäpataleivässä*. [AMK-opinnäyte-työ, Seinäjoen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022053012983>

Mir, S.A., Shah, M.A., & Hamdani, A.M. (2021). *Gluten-free bread technology*. Springer Nature.

Muhammed, YMR., Minervini, F., & Cavoski, I. (2025). From ancient fermentations to modern biotechnology: Historical evolution, microbial mechanisms, and the role of natural and commercial starter cultures in shaping organic and sustainable food systems. *Foods*, 14(24), 4240. <https://doi.org/10.3390/foods14244240>

Pielichowski, K., & Pielichowska, K. (2022). *Thermal analysis of polymeric materials*. John Wiley & Sons.

Precisa Instruments AG. (2002). *XM60 kosteusanalysaattori – käyttöohjeet*.

Preedy, V.R., & Watson, R.R. (2019). *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention* (2.p.). Elsevier.

Salovaara, H., Ignatius, A., Jussila, A., & Hurri-Martikainen, M. (2017). *Leivonnin teknologia – Ruokaleipä*. Suomen Leipuriliitto.

Santivarangkna, C., Kulozik, U., & Foerst, P. (2008). Inactivation mechanism of lactic acid starter cultures preserved by drying processes. *Journal of applied microbiology*, 105(1), 1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03744.x>

Stable Micro Systems. (2025). *How a texture analyzer works*. <https://www.stablemicrosystems.com/HowATextureAnalyserWorks.html>

Subramaniam, P. (2016). *Stability and self-life of food* (2.p.). Elsevier.

The Sourdough School (i.a.) *What if my starter has a layer of grey water on top of it?*

https://thesourdoughschool.com/gs_faq/what-if-my-starter-has-a-layer-of-grey-water-on-top-of-it/

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). (i.a.). *Fineli – Vertaile elintarvikkeita*. <https://fineli.fi/fineli/fi/elintarvikkeet/vertaile?&c=2168&c=2034&c=2230&c=2212&c=2279&c=2160>

Tierna, S. (7.2.2024). *Gluteeniton kaura – tunnista sopiva tuote*. Keliakialiitto. <https://www.keliakialiitto.fi/ajankohtaista/uutiset/gluteeniton-kaura-tunnista-sopiva-tuote/>

Tucker, G.S. (2007). *Food biodeterioration and preservation*. John Wiley & Sons.

Tunturi, S. (26.4.2024). *Keliakia*. Duodecim Terveyskirjasto. Haettu 15.6.2025.

<https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00026>

Virtasalmen Viljatuote. (i.a.-a). *Gluteeniton Riisihapanjuuri*. Haettu 10.6.2025. <https://www.virtasalmenviljatuote.fi/tuote/gluteeniton-riisihapanjuuri-10-g/>

Virtasalmen Viljatuote. (i.a.-b). *Gluteenittomat riisituotteet*. Haettu 10.6.2025. <https://www.virtasalmenviljatuote.fi/tuote-osasto/gluteenittomat-riisituotteet/>

Wynne-Ellis, M. (14.2.2025). *Kotimainen tattari on kestävä ja monipuolinen vaihtoehto*. Keliakialiitto. <https://www.keliakialiitto.fi/ajankohtaista/uutiset/kotimainen-tattari-on-kestava-ja-monipuolinen-vaihtoehto/>

Wynne-Ellis, M., & Lindberg, E. (2.5.2024). *Durra on mainio vaihtoehto gluteenittomaan ruoanvalmistukseen ja leivontaan*. Keliakialiitto. <https://www.keliakialiitto.fi/ajankohtaista/uutiset/durra-on-mainio-vaihtoehto-kauralle/>

LIITTEET

Liite 1. Aistinvarainen arviointilomake

Liite 1. Aistinvarainen arviointilomake

1. Ulkonäkö (1-5 p)	5	4	3	2	1	
<i>Arvioi leivän ulkonäkö</i>	Erinomainen	Hyvä	Kohtalainen	Heikko	Erittäin heikko	Huomiot
Kuoren väri						
Muoto ja koko						
Kokonaisuus						
Leikkauspinta (tiiveys, huokoisuus)						
2. Tuoksu (1-5 p)						
<i>Arvioi tuoksun voimakkuus ja miellyttävyys</i>	Erinomainen	Hyvä	Kohtalainen	Heikko	Erittäin heikko	Huomiot
Voimakkuus						
Happamuus						
Tuoreus						
3. Rakenne ja suutuntuma (1-5 p)						
<i>Arvioi leivän rakenne</i>	Erinomainen	Hyvä	Kohtalainen	Heikko	Erittäin heikko	Huomiot
Kuoren rapeus						
Murenemattomuus						
Sisuksen kimmoisuus ja kosteus						
Suutuntuma (pehmeys)						
4. Maku (1-5 p)						
<i>Arvioi leivän maku</i>	Erinomainen	Hyvä	Kohtalainen	Heikko	Erittäin heikko	Huomiot
Miellyttävyys						
Happamuus						
Suolaisuus						
Jälkimaku						
5. Yleiset kommentit ja kehitysehdotukset:						