

Katariina Lindholm

Kuivatun hapanjuuren käyttäminen vehnäpataleivässä

Toimeksiantajana Helmi Bakery

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

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

Tekijä: Katariina Lindholm

Työn nimi: Kuivatun hapanjuuren käyttäminen vehnäpataleivässä

Ohjaaja: Merja Kyntäjä

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 52

Liitteiden lukumäärä: 3

Työn päätavoitteena oli luoda kuluttajalle helposti toteutettava kuivattua vehnähapanjuurta sisältävä pataleipäseos. Työ jakautui neljään vaiheeseen: ruokitun hapanjuuren tilavuusseurantaan, tuorehapanjuuren mikrobimäärämuutoksien analysointiin, kuivatun hapanjuuren analysointiin sekä selvitystyöhön koskien kuivajuuren toimivuutta leipätaikinassa.

Tuorehapanjuuren mikrobimäärien muutoksia tutkittiin fermentaation edetessä tilavuuden muutoksina sekä pH- ja happolukumittauksin. Tilavuuden muutokset ja happolukutulokset olivat loogisia. Sen sijaan näytteiden pH:ssa tapahtui ennalta odottamaton muutospiikki nopeimman tilavuuskasvun jälkeen, jolloin happamuus vähentyi hetkellisesti.

Aistinvaraisen seurannan ja analyysien pohjalta työssä päädyttiin kuivaamaan tuorehapanjuuri, jonka ruokinnassa käytettiin suhdetta 1:3:3. Suhdeluvussa ensimmäinen luku kertoo tuorehapanjuuren määrän, toinen jauhojen osuuden ja kolmas veden määrän. Kuivatettavia eriä otettiin fermentaation eri vaiheista, jolloin nähtiin kuivaushetken vaikutus kuivajuuren mikrobipitoisuuksiin. Kuivatuille hapanjuurille tehtiin herätysruokinnan jälkeen toinen ruokinta, jonka yhteydessä analysoitiin jälleen mikrobimäärien muutoksia fermentaation edetessä. Aistinvaraisen seurannan ja analyysituloksien pohjalta hapanjuuri päätettiin kuivaa, kun tuorehapanjuuren tilavuus oli kasvanut noin $\frac{3}{4}$ maksimitilavuuteen nähden.

Pataleivän tuotekehitysprosessi koostui pääosin kahdesta reseptimallista. Ensimmäisessä reseptissä kuivajuuri yhdistettiin suoraan leipätaikinaan. Taikinakokeiden pohjalta kuitenkin todettiin, että hapanjuuri ei liuennut täydellisesti, mikä johti alikehittyneeseen leipään. Tulosten perusteella prosessia päädyttiin pidentämään kuivatun hapanjuuren herätysruokinnan verran. Herätysruokinnassa valmistettiin kuivajuurta, vehnäjauhoa, vettä ja sokeria sisältävä esitaikina, jota fermentoitiin 48 tuntia. Tämän jälkeen esitaikinaan lisättiin loput leipätaikinan raaka-aineet ja taikinaa kohotettiin yön yli. Tämän mukaisella menetelmällä paistettiin kuusi koeleipää ja kaikkien leipien rakenteet koettiin onnistuneiksi.

Asiasanat: hapanjuuri, mikrobit, kuivaus, vehnä, leipä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Food Processing and Biotechnology

Specialisation: Food Technology

Author: Katariina Lindholm

Title of thesis: Using dried sour dough starter in no-knead bread

Supervisor: Merja Kyntäjä

Year: 2022

Number of pages: 52

Number of appendices: 3

The main goal of the thesis was to create a flour mix for no-knead bread with wheat flour and dried sour dough starter. The work was divided into four different phases: volume changes of sour dough starter, changes in microbe amounts at different fermentation stages, analysis of the dried sour dough starter and examination of how the dried starter functions in bread dough.

Microbial changes were studied by volume changes, pH values and acid number measurements. According to the results, volume changes and acid numbers were logical whereas the pH results showed that after the fastest volume growth the acidity decreased. After spontaneous pH changes, the samples continued to acidify.

Based on the sensory observations and analysis, the sour dough starter was dried by feeding it in the ratio of 1:3:3. The first ratio tells amount of sour dough, the second number tells amount of flours and the last number tells amount of water. During the volume growth, dried samples were taken at different fermentation stages to show the effects of drying on the microbe content of the starter. After the first feeding the dried starter was fed once more and the microbe amounts were analysed again. Based on the results, the starter was decided to be dried when the volume had grown to about $\frac{3}{4}$ of the maximum volume.

The product development process of the no-knead bread consisted of two recipe models. In the first recipe, the dried sour dough starter was combined straight with the bread dough. Based on the dough tests, it was found out that the dried starter did not dissolve perfectly and the dough did not rise enough. The process was lengthened by one extra feeding, where the dried starter, wheat flour, water and sugar were mixed together, and fermented for 48 hours. After that, the rest of the bread dough ingredients were added and the dough was let to rise in room temperature overnight. By using this method, six test breads were baked. The textures of the breads were successful.

Keywords: sour dough, microbe, drying, wheat, bread

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	5
1 JOHDANTO JA TYÖN TAVOITTEET	7
2 LEIPÄÄ VEHNÄHAPANJUURELLA	8
2.1 Vehnätaikinan raaka-aineet	8
2.1.1 Vesi	8
2.1.2 Vehnäjauhot	10
2.1.3 Hapanjuuri	12
2.1.4 Suola	14
2.2 Fermentaatio	16
2.3 Sitko	18
2.4 Taikinan leivontaprosessi tuorehapanjuurella	20
3 VEHNÄHAPANJUUREN MIKROFLOORA JA ENTSYYMIT	23
3.1 Mikrobit	23
3.2 Villihiivat	25
3.3 Entsyymit	26
4 HAPANJUUREN AKTIIVISUUDEN TUTKIMUSMENETELMÄT	28
4.1 Tilavuuden muutosseuranta mittalasin menetelmällä	28
4.2 pH	30
4.3 Happoluku	32
5 HAPANJUUREN KUIVAUS	34
5.1 Kuivauksen ajanhetki fermentaatiossa	34
5.2 Hapanjuuren kuivausmenetelmä	35
5.3 Kuivajuuren herättäminen ja ruokinta	36
5.4 Säilytyksen vaikutus tasalaatuisuuteen	38
6 VEHNÄPATALEIVÄN TUOTEKEHITYS	39
6.1 Tuotekehityksen tutkimussuunnitelma	39
6.2 Koeleivonnat	40

6.2.1 Kuivajuuren käyttö taikinassa ilman herätysruokintoja	41
6.2.2 Leipätaikin valmistus kolmessa osassa.....	42
6.3 Pataleivän reseptiikka	44
7 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	46
LÄHTEET	49
LIITTEET	52

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Jyvän rakenne	11
Kuva 2 Kuivatettava hapanjuuri.	36
Kuva 3. Kuivunut hapanjuuri.	36
Kuva 4. Koepataleivän rakenne.	42
Kuva 5. Valmiin pataleivän rakenne.....	43
Kuvio 1. Gluteeniproteiinit	10
Kuvio 2 Suolan vaikutus sitkoproteiineihin.	15
Kuvio 3 Sitkoproteiinien assosioituminen.....	19
Kuvio 4 Sitkoverkoston voipuminen ja jännittyminen	21
Kuvio 5 Mikrobiflooraan vaikuttavat tekijät	24
Kuvio 6 Hapanjuurien tilavuuksien maksimikasvut eri mittauspäivinä.....	29
Kuvio 7 pH:n muutokset eri ruokintasuhteilla.	31
Kuvio 8 Titrauksen ekvivalenttipiste	32
Kuvio 9 Kuivaushetket hapanjuuren kasvukäyrällä.....	35
Kuvio 10 Kuivajuurierien toisen ruokinnan tilavuuden seuranta.....	37
Kuvio 11 Kuivaushetki hapanjuuren tilavuuden kasvukäyrällä (2).	40

Taulukko 1. Eri jauhojen ravintoarvoja	11
Taulukko 2. Fermentaation eksogeeniset tekijät eri mittauspäivinä.	29
Taulukko 3. Hapanjuurien pH:t ja kokonaishappopitoisuudet (TTA).	32
Taulukko 4. Eri ruokintasuhteiden pistetaulukko.	34
Taulukko 5. Hapanjuurien pH:t ja kokonaishappopitoisuudet (TTA) kahdesti ruokitusta kuivajuuresta.....	38
Taulukko 6. Pataleivän lopullinen resepti.....	44
Taulukko 7. Pataleivän raaka-ainemäärät.....	45

1 JOHDANTO JA TYÖN TAVOITTEET

Työn toimeksiantajana on Vihdissä toimiva pieni paikallinen hapanjuurileipomo Helmi Bakery. Yrityksen tuotevalikoima koostuu hapanjuurella leivotuista vehnä- ja ruispohjaisista leivonnaisista. Hapanjuuri on ruuanlaitossa nouseva trendi, mikä ilmenee kuluttajien nousevana kysyntänä hapanjuurituotteita kohtaan. Toimeksiantajan mukaan leivän kuiva-aineseokselle on ollut kysyntää. Helmi Bakeryllä ei ole tällä hetkellä tuotevalikoimassaan tuotteita, joihin olisi hyödynnetty kuivajuurta. Kuivajuuri antaa toimintaan paljon joustavuutta ja mahdollisuuksia sen stabiilina pysymisen vuoksi.

Tämän työn tavoitteena oli kehittää kuluttajalle valmis kuiva-aineseos pataleivän valmistamiseen. Kuiva-aineseos pitää sisällään jauhot ja kuivatun hapanjuuren. Työssä tuli selvittää kuivatun hapanjuuren soveltuvuutta, toimivuutta, tasalaatuisuutta ja aktiivisuutta leipätaikinnassa.

Ennen hapanjuuren kuivausta selvitettiin kuivaukselle optimaalisin ajankohta hapanjuuren kasvun vaiheesta. Selvityksissä havainnoitiin tilavuuden muutoksia kasvun aikana. Tilavuus-seurannan lisäksi analysoitiin mikrobimäärien muutoksia pH:n ja happoluvun avulla. Yhdistämällä tulokset mikrobimäärien muutoksista ja aistinvaraisesti tehdyistä tilavuusseurannoista, saatiin selville kuivaukselle optimaalisin ajanhetki. Hapanjuuri kuivattiin, herätettiin ja sitä ruokittiin.

Myös ruokitun kuivajuuren mikrobiaktiivisuutta selvitettiin tilavuuden, pH:n ja happoluvun avulla. Kun kuivajuuri koettiin aktiiviseksi ja toimivaksi, alettiin suunnitella pataleivän reseptiikkaa. Kuivajuuren toimivuutta ja aktiivisuutta kehitettiin, kunnes lopputuloksena oli tekstuuriltaan halutunlainen pataleipä.

2 LEIPÄÄ VEHNÄHAPANJUURELLA

2.1 Vehnätaikinan raaka-aineet

Leipätaikina koostuu jauhoista, vedestä, suolasta ja aktiivisesta vehnähapanjuuresta. Raaka-aineiden määriä voidaan käsitellä leipurin prosentein tai raaka-aineen määrää suhteessa taikinan kokonaispainoon. Jauhojen ja nesteen määrä vaihtelevat käytettävän jauholaadun mukaan. Täysjyväjauhot tarvitsevat korkeamman nestepitoisuuden verraten hienojakoisiin ydinvehnäjauhoihin. Keskimäärin jauhojen osuus koko taikinan painosta on noin 50–55 %. Vastaavasti nesteen osuus on 35–38 %, suolan 1 % ja aktiivisen vehnähapanjuuren osuus noin 10 %. (Kuusela, [viitattu 30.6.2021].)

Perusraaka-aineiden ohella voidaan käyttää lisänä myös muita raaka-aineita, kuten mausteita, siemeniä tai erilaisia myllytuotteita. Erityisesti siemenien tai karkeampien myllytuotteiden kanssa tulee ottaa huomioon, että ne vaikuttavat leivän rakenteen ilmapuuteen ja tilavuuteen heikentävästi. (Hui ym. 2012, 484.)

2.1.1 Vesi

Neste on monen taikinan perusta, jonka määrää muuttamalla voidaan vaikuttaa muun muassa taikinan käsiteltävyyteen ja lopputuotteen rakenteeseen. Hapanjuuressa veden määrällä ja sen lämpötilalla on vaikutusta moniin asioihin, kuten käymisnopeuteen, happamuuteen, makuun sekä hapanjuuren muihin ominaisuuksiin. (Mustonen ym. 2015, 87.)

Veden määrän ja lämpötilan lisäksi myös sen laatuominaisuuksilla, kuten pH:lla ja klooripitoisuudella, on vaikutusta hapanjuuren ominaisuuksiin. Lähtökohtaisesti Suomen vesijohtovesi sisältää pieniä pitoisuuksia fluoria ja klooria. Kloorilla pyritään ehkäisemään vesiputkistojen mikrobikasvua, jolloin se vaikuttaa myös hapanjuuren mikrobikantaan heikentävästi. Hapanjuurta ajatellen haitallisia halogeeneja on mahdollista haihduttaa nesteestä esimerkiksi keittämällä tai seisottamalla vettä vuorokauden ajan. (Kuusela 2018, 25.)

Veden laadussa ja halogeenien pitoisuuksissa on alueellisia eroja. Vertailtaessa Seinäjoen ja Vihdin veden laatua huomattiin, että klooripitoisuudessa on eroja. Seinäjoen energian (2022) mukaan veden kokonaiskloorin määrä Seinäjoen alueella on <0,13 mg/l kun vastaava arvo Vihdin vesijohtovedessä on 19–31 mg/l (LUVYLab 2021). Tässä työssä käytettiin Seinäjoen hanavettä, jota ei keitetty tai seisotettu.

Vedellä on keskeinen rooli taikinassa myös liuottimena ja kemiallisten reaktioiden käynnistäjänä. Veden ja jauhojen yhdistyessä viljan entsyymit ja mikrobit aktivoituvat käynnistäen fermentaation ja hydraation. Hydratoitumisessa jauhojen molekyylit imevät vettä, jolloin proteiinien vettyessä vesi muodostaa oman rakenteen gliadiinien ja gluteniinien ympärille. Tällöin proteiinit liittyvät toisiinsa sidoksilla muodostaen sitkoverkoston. (Salovaara ym. 2017, 84.)

Hydratoitumisessa jauhojen proteiinit hyödyntävät vettä jopa neljäsosan vesimäärästä ja pentosaanit eli ravintokuidut oman osuutensa. Myös jauhojen rikkoutuneet tärkkelyspartikkelit ovat erittäin imukykyisiä ja saattavat käyttää vedestä neljäsosan. Jäljelle jäänyt imeytymätön nesteosuus sitoutuu makromolekyyleihin tai jää vapaaksi vedeksi. (Salovaara ym. 2017, 84.) Proteiinien vettyminen ja turpoaminen on tärkeää, sillä paiston aikana niihin sitoutunut vesi vapautuu tärkkelyksen käyttöön, joka liisteröityessään luo leivälle rakenteen. (Meira 2020.)

Vesi toimii taikinassa vesiliukoisten ainesosien liuottimena (Meira 2020). Veden toimivuus liuottimena johtuu osittain sen poolisuudesta. Veden elektronitiheyden jakautumisen vuoksi sillä on negatiivisesti ja positiivisesti varautuneet päät. Pooliset nesteet ovat lähtökohtaisesti erinomaisia liuottimia muille poolisille aineille, kuten esimerkiksi suoloille. (Salovaara ym. 2017, 20.)

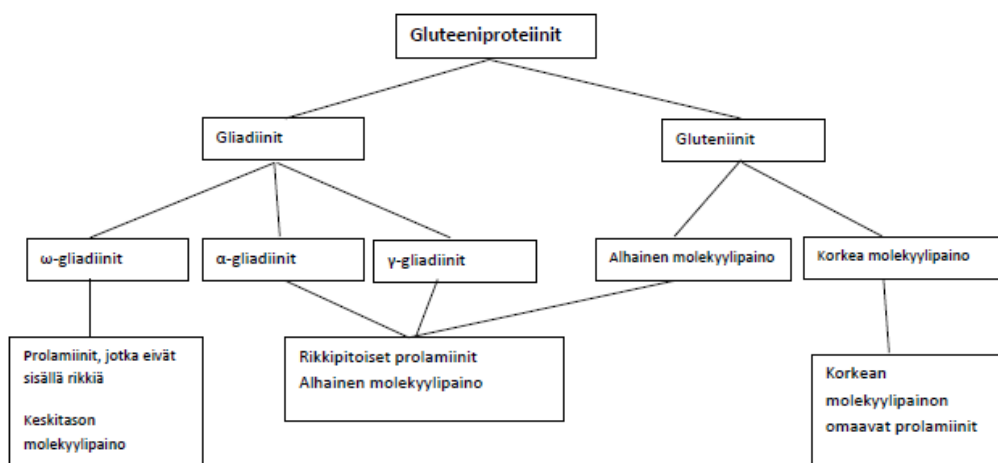
2.1.2 Vehnäjauhot

Vehnän proteiini on leipojalle yksi tärkeimpiä ominaisuuksia. Vehnäjyvän ydin koostuu suurimmalta osin tärkkelyksestä ja proteiinista, minkä vuoksi vehnällä on parhain ja ainutlaatuisin sitkonmuodostumiskyky (Salovaara ym. 2017, 50.)

Proteiineista muodostuu gluteeniverkosto eli sitko. Sitko on taikinalle tukiranka, joka luo massaan venyvyyttä, elastisuutta ja notkeutta. (Wood, Hammes & Gänzle 1998, 176.) Vehnäproteiinien muodostama sitko pidättää hapanjuuren mikrobien ja villihiivojen muodostamaa hiili-dioksidia gluteeniverkostoon mahdollistaen taikinan kohoamisen (Proteiinit, [viitattu 10.7.2021]).

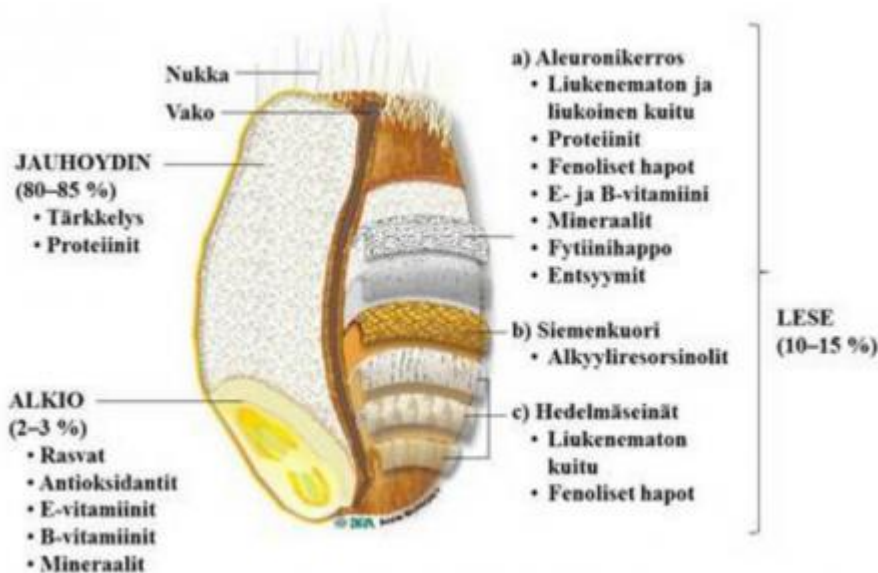
Viljan proteiineja voidaan luokitella niiden liukoisuuden mukaan. Vehnän sitkoproteiinit ovat veteen liukenemattomia prolamiineja eli gliadiineja ja gluteniineja. (Proteiinit, [viitattu 10.7.2021].) Tyypillisessä vehnälajikkeessa saattaa olla jopa 40 erityyppistä gliadiinia (Kuusela, [viitattu 30.6.2021]).

Gluteniinit sen sijaan jakautuvat kahteen tyyppiin molekyylipainon perusteella. Korkean molekyylipainon omaavat gluteniinit lisäävät taikinan vahvuutta ja luovat elastisuutta, kun taas matalan molekyylipainon omaavat gluteniinit lisäävät viskositeettia eli massan virtausvastusta. (Hui ym. 2012, 841.) Kuvioon 1 on selkiytetty gluteeniproteiinien jaottelu. Gluteeniproteiinien lisäksi vehnässä on noin 15 % myös muita proteiineja, kuten albumiineja, globuliineja, peptidejä ja aminohappoja (Cargill, [viitattu 22.2.2022]).



Kuvio 1. Gluteeniproteiinit (mukaillen Airaksista 2009, 23).

Ydinvehnäjauhoilla on paras sitkonmuodostamiskyky niiden korkean proteiinipitoisuuden vuoksi. Ydinvehnäjauhojen lisäksi myllytyksessä syntyy kuitenkin useita erilaisia myllytystuotteita, kuten leseitä ja alkiota. Leseet ja alkiot sisältävät paljon kivennäisaineita, vitamiineja ja kuitua (kuva 1). Niiden leipoutumisominaisuudet ovat kuitenkin huonot, sillä kuitu heikentää sitkon muodostumista. (Salovaara ym. 2017, 50.)



Kuva 1. Jyvän rakenne (Remadnia ym. 2015).

Jyvän monipuolinen käyttöaste tuo kuitenkin runsaasti leivän ravitsemuksellisuuteen, sillä kuorikerrosten määrä on suoraan verrannollinen esimerkiksi kuidun, kivennäisaineiden ja vitamiinien määrään. Taulukkoon 1 on koottu vehnän eri jauhotyyppien ravintoarvoja.

Taulukko 1. Eri jauhojen ravintoarvoja (mukailten Salovaaraa ym. 2017, 41, 51).

	Ydinvehnä- jauho	Täysjyvävehnä- jauho	Erikoisvehnä- jauho	Hiivaleipävehnä- jauho
Proteiini	13 %	12–14 %	13 %	14 %
Rasva	1 %	3 %	2 %	2,5 %
Tärkkelys	84 %	67–70 %	73 %	67 %
Kivennäisaineet	0,6 %	2 %	0,5 %	1 %
Ravintokuitu	3 %	10–13 %	3 %	6 %

Tässä työssä käytettiin Mörby Gårdin Quarna -lajikkeellista luomuvehnäjauhoa. Quarna on kevätvehnä, jonka jyvä omaa yleensä keskimääräistä korkeamman proteiinipitoisuuden verraten muihin vehnälajeihin. Ruokaviraston viljan laatuseurannan mukaan Quarnan proteiinipitoisuus on ollut vuonna 2021 15,1 %. (Ruokavirasto 2021, 24.)

Tutkimuksessa käytettävän jauhoerän laatuominaisuuksia analysoitiin NIR analysaattorilla. Analysoinnissa mitattiin jauhojen tuhkapitoisuutta, proteiinipitoisuutta sekä kuiva- ja märkägluteenin määrää. Mittauksia tehtiin yhteensä kahdeksan. Mittaustulokset sekä tuloksien keskiarvot ja keskihajonnat on koottu liitteeseen 1. Käytettyjen vehnäjauhojen keskiarvolliseksi proteiinipitoisuudeksi saatiin NIR -analyysillä 11,51 %, joka on Quarnavehnälle tyypillistä alhaisempi pitoisuus.

Jauhotyypin vaikuttaa lopputuotteen ravintoarvojen lisäksi myös hapanjuuren mikrobistoon, sillä jyvän kuori sisältää endospermia korkeammat pitoisuudet kivennäisaineita, ravintoaineita ja mineraaleja. Korkea kivennäispitoisuus edistää osaltaan hapanjuuren mikrobien lisääntymistä ja aktiivisuutta, jolloin myös aineenvaihdunnan tuotteita syntyy enemmän. (Kuusela, [viitattu 30.6.2021].) Hapanjuuren mikrobiston aktivoitumiseen ja runsauteen voidaan vaikuttaa jauhotyyppin lisäksi myös jauhojen luonnonmukaisuudella. Mitä vähemmän jauhoja on käsitelty, sitä runsaampi niiden luontainen mikrobi- ja hiivakanta on. (Kuusela 2018, 23.) Jauhojen merkitystä fermentaatioissa on käsitelty tarkemmin luvussa 2.2.

2.1.3 Hapanjuuri

Hapanjuuri on veden ja jauhojen seos, jossa viljan mikrobit ja villihiivat käynnistävät fermentaation. Fermentoitumista tapahtuu hapanjuureissa enimmäkseen maitohappobakteerien ja villihiivojen toimesta vähähappisissa olosuhteissa. (Hui ym. 2012, 841–843).

Woodin ym. (1998, 204) mukaan hapanjuuret voidaan jaotella kolmeen luokkaan. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat perinteiset hapanjuuret, joiden mikrobifloora kehittyy ja kasvaa ruokintojen avulla. Toisen luokan juuret sisältävät usein leiviniivaa, jonka avulla prosessi nopeutuu ja lopputulos saadaan tasalaatuisemmaksi. Tämän tyyppisten juurten nimityksessä on tärkeä huomata, että kyse ei ole hapanjuurista. Mikäli veden ja jauhojen seokseen lisätään teollista hiivaa, käytetään termiä juuri (Hui ym. 2012, 495–496). Luokitukseen kolme sijoitetaan kaikki kuivatut juuret ja hapanjuuret (Wood ym. 1998, 204).

Kun hapanjuuri halutaan luoda ensimmäisen kerran, hyödynnetään spontaania fermentaatiota. Spontaanissa fermentaatiossa vesi ja jauhot jätetään huoneenlämpöön muutamaksi päiväksi, jolloin viljan mikrobit käynnistävät fermentaation. (Hui ym. 2012, 496.) Viljan entsyymien sijaan alkavat hajottaa polysakkarideja käymiskykyisiksi hiilihydraateiksi ja mikrobien käyttöön proteiineja aminohapoiksi (Hui ym. 2012, 841–843). Spontaaniin käynnistämiseen käytetään usein korkean itämisasteen omaavaa jauhoa, kuten ruisjauhoa, jolloin jauhojen korkea entsyymipitoisuus luo fermentaatiolle hyvät lähtökohdat. Spontaanisti käynnistetyssä hapanjuuressa vallitsevat usein homofermentatiiviset maitohappobakteerit, *Lactobacillus* ja *Pediococcus*. Mikäli fermentoitunutta hapanjuurta ei ruoki toistamiseen, sen toimintavarmuus leivonnassa on epävarma ja se tuottaa makuprofiililtaan köyhiä lopputuotteita. (Hui ym. 2012, 496.)

Toinen tapa käynnistää hapanjuuri on käyttää emojuurta, joka pohjautuu spontaaniin fermentaatioon. Emojuuri voidaan ottaa fermentoituneesta veden ja jauhojen seoksesta tai leipätaikinasta. Emojuurta käyttämällä hapanjuuren aineenvaihdunta pidetään aktiivisena ruokkimalla emojuurta päivittäin jauhoilla ja vedellä. Säännöllinen ruokinta ja vakaat olosuhteet pitävät myös mikrobikannan vakaampana vuosikymmenien ajan. (Hui ym. 2012, 496.)

Kolmas tapa käynnistää juuri on käyttää määriteltyjä maitohappokantoja tai hapatteita. Tällöin puhutaan luokan kaksi juurista, sillä aloituksessa voidaan käyttää esimerkiksi pakastekuivattua maitohappokantaa tai maitohapon ja villihiivojen sekoitusta. Käytetyimpiä maitohappokantoja ovat *Lactobacillus plantarum*, *L. sanfranciscensis* ja *L. pontis*. Hiivana käytetään usein *Saccharomyces cerevisiae* – kantaa, joka on yleisin leivän kohotuksessa käytetty yksisoluisen sienilajike. (Hui ym. 2012, 497.) Käyttämällä määriteltyä ja tunnettua aloituskantaa, voidaan juurta kontrolloida ja säädellä helpommin. (Hui ym. 2012, 496.)

Hapanjuuren ominaisuuksiin vaikuttavat kaiken kaikkiaan hapatuksessa kehittyvä mikrobi-floora, jauhojen laatuominaisuudet, nesteen määrä sekä erinäiset parametrit, kuten lämpötila ja fermentoitumisaika (Chavan & Chavan 2011). Jauhojen laatuominaisuuksilla voidaan vaikuttaa suurelta osin hapanjuuren aktiivisuuteen sekä sen mikrobikasvustoon. Kuten luvussa 2.1.2. mainittiin, hapanjuuren aktiivisuuteen vaikuttaa muun muassa jauhatustyyppi. Ydinvehnäjauhot ovat entsyymiköyhempiä verraten esimerkiksi täysjyväjauhoihin (Kuusela, [viitattu 30.6.2021]). Myös viljan sakkaroosipitoisuudella on vaikutusta hapanjuuren aktiivisuuteen, sillä glukoosi ja fruktoosi ovat mikrobien sekä hiivojen ravintoa (Chavan & Chavan 2011). Vehnäjauhojen sakkaroosipitoisuus vaihtelee normaalisti 0,8–1,6 % välillä (Wood ym. 1998, 176). Myös satokaudella on vaikutusta jauhojen laatuominaisuuksiin.

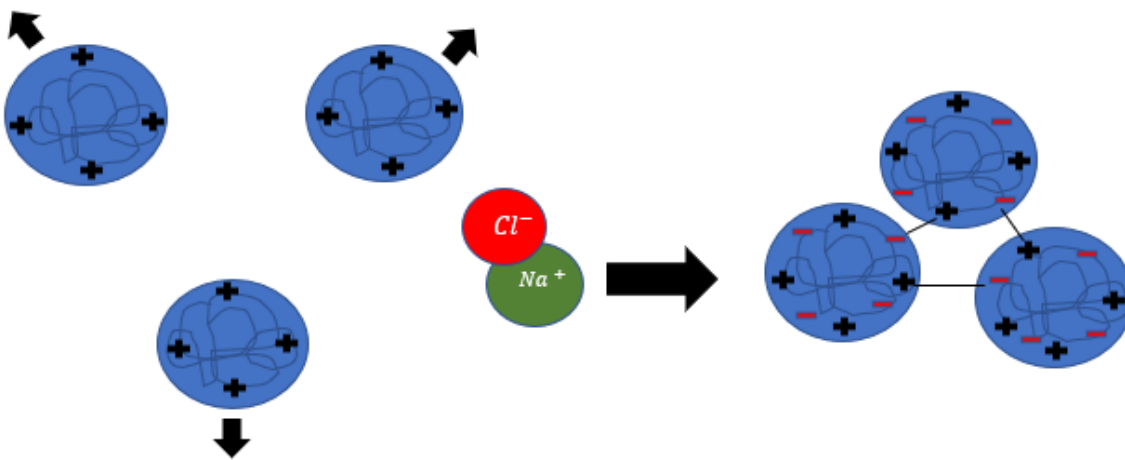
Hapanjuuren nestepitoisuus määrittää massan kiinteyttä, fermentoitumisaikaa sekä happojen muodostumissuhdetta. Korkean nestepitoisuuden omaava lievä hapanjuuri fermentoituu nopeammin ja siinä muodostuu enemmän maitohappoja. Paksussa hapanjuuressa sen sijaan fermentointi ottaa enemmän aikaa ja se on suotuisampi etikkahappojen muodostumiselle. (Chavan & Chavan 2011.)

Hapanjuuren ominaisuuksia fermentaation eri vaiheissa voidaan tarkastella muun muassa pH:n, happoluvun ja aistinvaraisten arvioiden avulla. pH:n avulla voidaan seurata happamoitumista ja sen nopeutta. Happoluku kertoo hapanjuuren kokonaishappojen määrän. Fermentaation edetessä pH laskee ja happoluku nousee, muutokset johtuvat kasvavasta mikrobimäärästä sekä mikrobien metaboliassa muodostuvista hapoista. Fermentoituneelle vehnähapanjuurelle tyypillinen pH on 3,4–4,5. (Chavan & Chavan 2011.) Vehnäraskin happoluku vaihtelee välillä 8–13. Käyttämällä matalamman sakoluvun omaavia jauhoja, happoluku voi olla jopa 22. (Piispanen 2012, 10.)

2.1.4 Suola

Natriumkloridilla eli suolalla on tärkeä merkitys leivän makuprofiilissa, mutta sillä on vaikutusta myös leivonnan teknologisiin ominaisuuksiin ja säilyvyyteen. Ruokaleivän keskimääräinen suolapitoisuus on 0,9–1,3 % (Salovaara ym. 2017, 66, 70.)

Suola liukenee veteen positiivisena natriumionina sekä negatiivisena kloridi-ionina. Ionit neutraloivat valkuuaisaineiden sähkövarauksia. Sähkövarauksen neutraloitua proteiini-irihmat lähentyvät toisiaan sekä proteiini-irihmapujen ja molekyylien rakenne tiivistyvät lujittaen sitkoa (kuvio 2) (Hopia 2014.) Tämä lisää samalla myös taikinan sekoitustarvetta, jotta proteiini-irihmien maksimaalinen vuorovaikutus saavutetaan. (Salovaara ym. 2017, 69.) Tiivistynyt ja lujittunut sitkoverkko kestää paremmin kaasun muodostuksesta aiheutuvan paineen. (Glezer [viitattu 8.6.2021]).



Kuvio 2 Suolan vaikutus sitkoproteiineihin (mukaillen Salovaaraa ym. 2017, 68).

Suola vaikuttaa valkuuaisaineisiin eli proteiineihin myös hidastaen sitkon kehittymistä. Suolan liueteessa nesteeseen, vesimolekyyliä jää vähemmän, jonka vuoksi proteiinien turpoaminen ja liukeneminen hidastuu. (Hopia 2014.) Suola siis sekä lujittaa sitkoa että hidastaa sen muodostumista.

Kuten edellä tuli ilmi, suola sitoo käyttöönsä vettä. Tällöin esimerkiksi hiivoille jäävän veden osuus vähenee, mikä hidastaa kohoamista. Suolapitoisuuden ollessa 2,5 % jauhojen painosta, nostatusaika saattaa pidentyä jopa 40 % verraten täysin suolattomaan taikinaan. (Salovaara ym. 2017, 69–70.) Tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että mikäli suolan osuus on jauhojen painosta alle 2 %, sen hidastava vaikutus kohoamiseen on vain 9 % (Glezer, [viitattu 8.6.2021]). Vaikka suola hidastaa kohoamista ja sitkon muodostumista, kaasun tuoton määrän on kuitenkin todettu olevan lähes sama riippumatta siitä, käytetäänkö taikinassa suolaa vähän vai ei lainkaan. (Glezer, [viitattu 8.6.2021].)

Suolan sitoessa vesimolekyylä itseensä se muuttaa vettä mikrobeille soveltumattomaan muotoon. Tällöin veden aktiivisuus pienenee ja haitallisten mikrobien kasvu rajoittuu parantamisen leivän säilyvyyttä. (Ruokatieto, [viitattu 8.6.2021].) Salovaaran (2017, 70) mukaan suolaton leipä homehtui neljäntenä päivänä, kun runsassuolainen leipä säilyi homevapaana seitsemän vuorokautta.

Teknologisten ominaisuuksien ja säilyvyyden lisäksi suola vaikuttaa kypsän leivän rakenteeseen myönteisesti. Salovaaran leivän suolakokeessa on selvinnyt, että suolapitoisuus ei vaikuta leivän pehmeuteen, mutta sen sijaan murenevaisuuteen suolalla on vaikutusta. Suolaton leipä on rakenteeltaan haperoisempi ja murenevaisempi. (Salovaara ym. 2017, 70.) Suola auttaa siis huokoisen ja ilmavan leivän muodostumisessa (Leivän raaka-aineet, [viitattu 8.6.2021]). Suolattoman leivän murenevaisuus johtunee osittain myös suolattoman taikinan heikommasta sitkonmuodostumiskyvystä ja sen aiheuttamasta lopputekstuurista.

2.2 Fermentaatio

Fermentaatio eli hapatus on prosessi, jossa mikrobit ja villihiivat tuottavat metabolian eli aineenvaihdunnan tuotteita (Kimbell 2017, 18). Metaboliassa muodostuu muun muassa happoja, jotka happamoittavat fermentoitavaa tuotetta. Hapanjuurileivän käyminen on heterofermentatiivista, sillä siinä muodostuu useampia lopputuotteita, kuten alkoholia, maitohappoa ja hiilidioksidia (Kimbell 2017, 18.)

Fermentaatio alkaa, kun vilja ja vesi yhdistetään. Vesi käynnistää viljan entsyymeissä reaktioita, jolloin esimerkiksi tärkkelys ja sokerit alkavat pilkkoutumaan. Viljan amylaasi- ja maltaasientsyymit pilkkovat sokereita, monimutkaisia tärkkelyksiä sekä maltoosia yksinkertaisimmiksi sokereiksi siten, että mikrobit pystyvät hyödyntämään niitä ravinnokseen. Hiiva tuottaa invertaasin, joka on sakkaroosia pilkkova entsyymi. Sakkaroosin pilkkoutumisen myötä vapautuu glukoosia, fruktoosia ja zymaasia. Zymaasi alkaa fermentoimaan sokeria tuottaen hiilidioksidia ja etanolia. (Stuyf ym. 2017.)

Fermentoitumisen nopeuteen ja mikrobikantaan vaikuttaa merkittävästi lämpötila. Yleisesti hapanjuuren fermentointilämpötila on +25–30 °C. Fermentaatio nostaa juuren lämpötilaa 6–8 °C mikäli lämpötilaa ei ole termostaatin avulla säädetty muuttuvaksi. Lämpötilan luonnollinen nousu johtuu mikrobien kasvusta ja aineenvaihdunnassa syntyneiden happojen muodostumisesta. Korkeampi lämpötila (+30–35 °C) nopeuttaa fermentaatiota ja lopullinen pH saavutetaan aiemmin. (Stuyf ym. 2017.)

Fermentaatio on merkittävässä roolissa leivän makuprofiilin kehittymiseen. Maussa merkittävimmät yhdisteet ovat happoja, alkoholia sekä karbonyylejä, kuten estereitä eli hapon ja alkoholin kondensaatiotuotteita. Maun kehittymiseen vaikuttavat ulkoiset olosuhteet ja -tekijät sekä erilaiset mikro-organismit. On tutkittu, että homofermentatiivinen maitohappobakteeri tuottaa maitohappoa glykolyysin kautta, kun taas heterofermentatiivisessa käymisessä kehittyy maitohapon lisäksi hiilidioksidia, etikkahappoa sekä alkoholia. (Hui 2012, 483.)

Hapanjuurileivonnassa hyödynnetään usein taikinan kylmäkohotusta, jolloin fermentaatio hidastuu. Kylmäkohotukseen optimoidun taikinan laadun tulisi pysyä hyvänä jopa kolmen vuorokauden ajan edellyttäen, että säilytyslämpötila on riittävän alhainen. Kylmäkohotus antaa taikinan käyttäjälle joustavuutta ja rikastaa lopputuotteen makuprofiilia. (Struyf 2017, 851.)

Vaikka pitkään kehittyvässä taikinassa entsyymit ehtivät toimimaan enemmän, ongelmaksi saattaa kuitenkin muodostua villihiivojen yliaktiivinen aineenvaihdunta eli liikakohoaminen. Liikakohoamisessa proteaasit pilkkovat proteiineja luoden erinäisiä laatuvirheitä heikentäen taikinan ja leivän rakennetta. (Struyf ym. 2017, 858.) Pitkässä kohotuksessa myös fermentaatiossa syntyneet hapot alkavat tietyssä vaiheessa hajottamaan sitkoverkostoa ja taikinan rakennetta (Kuusela 2018, 197). Happopitoisuuden kasvaessa liian suureksi, se alkaa vaikuttamaan myös amylaasiaktiivisuuden laskevuuteen, mikä on ei-toivottu reaktio vehnätaikinoille. (Wood ym. 1998, 206).

Hidas fermentaatio kylmäkohotuksessa edesauttaa kuitenkin erinäisten terveyshyötyjen lisääntymistä. Viljan suoja-aineena toimiva fytiinihappo pitää jyvän kivennäisaineet, kuten kuparin, raudan, kalsiumin ja sinkin imeytymättömässä muodossa. Maitohappobakteerien tuottama fytaasientsyymi hajottaa fermentaation aikana viljan fytiinihappoa, jolloin kivennäisaineet muuttuvat imeytyvään muotoon. (Kuuseja, [viitattu 30.6.2021].)

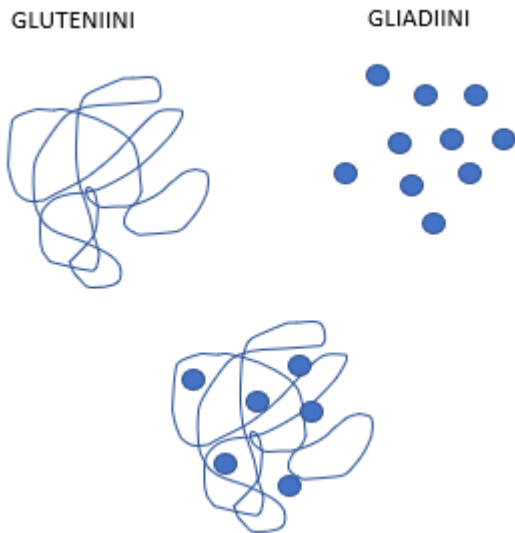
Täysjyvävilja ja ruis sisältävät runsaasti fruktaaneja, jotka ovat ruoansulatusentsyymeille resistenttejä oligosakkarideja eli hiilihydraatteja. Hapanjuuri kykenee hajottaa myös fruktaaneja vatsalle hellävaraisempaan muotoon. (Kuuseja, [viitattu 30.6.2021].)

2.3 Sitko

Sitko koostuu vehnän sitkoproteiineista, gliadiineista ja gluteeniineista. Veden avulla jauhojen proteiinit liukenevat veteen ja alkavat hydratoitumaan. Hydratoituessa proteiinit muuttuvat tahmeiksi ja muodostavat tärkkelystä sisältävän elastisen verkoston. Verkoston venyessä liittymäkohtiin muodostuu kalvoja. (Salovaara ym. 2017, 84–87.)

Proteiinit ovat valkuaisaineita, jotka koostuvat aminohapoista ja niiden välisistä peptidisidoksista muodostaen aminohappoketjuja. Aminohapoissa taasen on aminoryhmä sekä karboksyyliiryhmä liittyneenä samaan hiiliatomiin. Viljat sisältävät ihmiselle välttämättömien aminohappojen lisäksi myös useampia muita aminohappoja. Täysjyvävehnässä on aminohapoista eniten glutamiinihappoa (33 %) sekä proliinia (14 %). (Salovaara ym. 2017, 33, 89.)

Kuvioon 3 on yksinkertaistettu pallomaisten gliadiinien ja nauhamaisten gluteeniinien assosioitumista keskenään gluteeniksi. Gluteeni on moniproteiinillinen makropolymeeri, jota hallitsevat hydrofobiset aminohapot, kuten esimerkiksi glutamiini. Hydrofobisilla aminohapoilla, kuten edellä mainitulla glutamiinilla on kyky muodostaa vetysidoksia proteiinisäikeiden välille. (Kuuseja, [viitattu 30.6.2021].) Hydrofobisten aminohappojen ja vetysidoksien lisäksi proteiinien yhdistyessä muodostuu paljon myös muita sidoksia, kuten disulfididoksia. Muodostuvien sidoksien vaihtoreaktiot luovat sitkoverkostoa. (Salovaara ym. 2017, 87–89.)



Kuvio 3 Sitkoproteiinien assosioituminen (mukaillen Salovaaraa ym. 2017, 87).

Taikinan vaivaaminen ja sen yhteydessä sitkoverkoston sitoutuva ilma lisää ja vahvistaa kemiallisia proteiinien välisiä sidoksia. Sidoksien lisääntyessä myös sitkoverkosto vahvistuu. (Crosby [viitattu 9.6.2021].) Hiiva ei muodosta taikinaan itsessään kaasurakkuloita vaan ilma-kehästä sitkoverkoston sitoutuva tyyppi muodostaa kohoamisessa tarvittavien kaasurakkuloiden aihioita, jotka myöhemmin toimivat myös nukleaatiokohtina. Hiivan muodostama hiili-dioksidi sitoutuu sitkoon typen muodostamiin rakkuloihin kasvattaen niiden tilavuutta ja kohottaen täten taikinaa. (Salovaara ym. 2017, 12.)

Vahva sitko aikaansaa tilavan ja pienihuokoisen leivän. Sitkon aikaansaamalla rakenteella on todettu olevan vaikutusta myös säilyvyyteen. Salovaaran (2017, 12) mukaan pienihuokoisten leipien on todettu olevan pehmeämpiä pidempään verraten tiiviisiin tai suurien huokosten omaaviin leipiin.

Tutkimuksien mukaan myös pH vaikuttaa sitkon lujuuteen ja kestävyteen. Alhainen pH ja gluteenirakenteen positiivinen varaus korreloivat keskenään. Varausten hylkiessä toisiaan myös proteiinit alkavat erkaantumaan toisistaan. Proteiinien erkaantuminen johtaa heikkosidoksiseen sitkoverkoston. Rakenteen varauksen on tutkittu olevan riittävän positiivinen, kun leipätaikinan pH on 5 tai happamampi. (Glezer, [viitattu 8.6.2021].)

Vaikka hyvä sitko vaatii riittävän sekoitusintensiteetin, voi liiallinen käsittely hajottaa syntyneitä proteiinien välisiä sidoksia ja kalvoja. Tällöin muodostuu irrallisia proteiinisäikeitä, jolloin sitkoverkoston kaasunpidätyskyky on heikko ja taikinan kohoaminen rajoittuu. (Salovaara ym. 2017, 86.) Kuten edellisessä luvussa 2.2. mainittiin, myös hapanjuuren fermentaatiossa muodostuvat hapot alkavat liian pitkässä kohotuksessa hajottamaan sitkoverkostoa. Optimaalinen sitko vaatii siis sekoitusta, mutta liiallinen käsittely tai kohotus alkaa hajottamaan sitä.

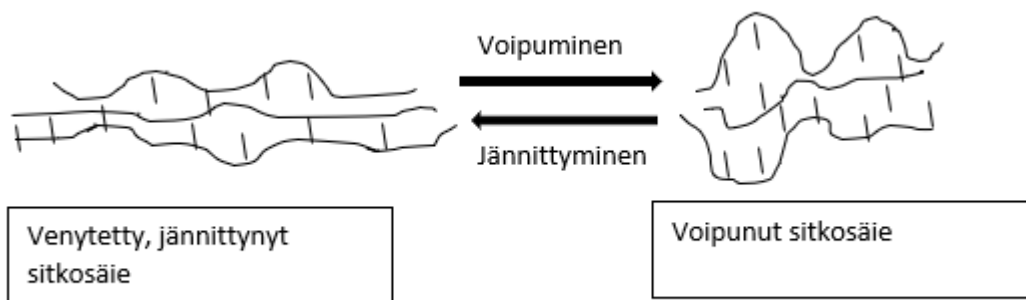
2.4 Taikinan leivontaprosessi tuorehapanjuurella

Hapanjuuritaikinan valmistus alkaa aina riittävän aktiivisesta hapanjuuresta. Taikinan muodostuksen alussa sekoitetaan vesi, jauhot ja aktiivinen hapanjuuri. Vesi-jauho-hapanjuuriseoksen annetaan tekeytyä jauhojen laadusta riippuen 20–120 minuuttia. Kyseistä prosessivaihetta voidaan kutsua nimellä autolyysi. On käyty keskustelua, saako niin sanottuun puhtaaseen autolyysiin laittaa hapanjuurta, mutta alkuperäisen termin mukaan neste-mäisen hapanjuuren voi yhdistää veden ja jauhojen kanssa. (Kuusela, [viitattu 15.7.2021].)

Autolyysin ollessa riittävä, voi taikinaan lisätä suolan. Suola hidastaa vehnän proteiinien turpoamista ja liukenemista, jonka vuoksi on ihanteellista lisätä suola vasta autolyysin jälkeen. Riippuen jauhoista ja tulevasta taikinan lepoajan pituudesta voi harkita, käyttääkö taikinaan hitaammin sulavaa karkeakiteisempää suolaa vai hienojakoista, lähes heti liukenevaa suolaa.

Hapanjuurileivonta perustuu hitaisiin prosesseihin, jolloin perinteistä vaivaamista ei tarvita. Taikinan esikohotuksen alussa sitkoa voidaan lujittaa taitteluin, joka sekoittaa taikinaan ilmaa ja vahvistaa proteiinien välisiä sidoksia. Venytyskertojen välillä taikinalle tulee kuitenkin antaa lepoaika, jolloin gluteniini rentouttaa taikinaa ja sitkosäikeitä. Liian raju taittelu repii gluteeni-verkostoa (Kuusela [viitattu 30.6.2021].) Salovaaran (2017, 104) mukaan välilepojen optimilämpötila on taikinan lämpöä noin 1–2 °C lämpöisempi sisäilman suhteellisen kosteuden ollessa 75 %.

Esikohotuksen jälkeen taikina esimuotoillaan, taikinapalat pyöröriivataan ja jätetään niin sanottuun tasolepoon. (Salovaara ym. 2017, 101). Taikinan taittelussa, muotoilussa ja taikinalepojen aikana taikinan sitkoproteiinien ja sidosten järjestys vaihtuu, mikä aiheuttaa osaltaan taikinaan jännittymistä tai voipumista (kuvio 4). Tasolevon jälkeen sidokset hakevat uutta tasapainoa, jolloin taikina voipuu eli rentoutuu mahdollistaen repeilemättömän loppumuotoilun. (Salovaara ym. 2017, 104.)



Kuvio 4 Sitkoverkoston voipuminen ja jännittyminen (mukaillen Salovaaraa ym. 2017, 104).

Taikinalle tehdään lopullinen muotoilu, jonka jälkeen se jälkikohotetaan halutusta lopputuloksesta riippuen huoneenlämmössä tai kylmälevossa. Kohotuksen jälkeen leipä on paistovalmis. (Kuusela 2018, 100.)

Paiston alussa molekyylien liike kasvaa ja lämpöenergiaa siirtyy leipään konvektoitumalla eli kuljettumalla. Kuumien molekyylien liike tapahtuu nesteissä tai kaasuissa, kuten ilmassa ja höyryssä. Lämpöenergia siirtyy leivän sisällä molekyylien kautta kylmemmille alueille johtamalla. (Hopia 2017, 91–93.)

Lämpötilan noustessa yli +60 °C:een, tärkkelysjuväset alkavat paisua ja sitomaan vettä. Liisteröitymisessä tärkkelysjuväsestä vapautuu amyloosia ja amylopektiinin ulompia ketjuja, millä on vaikutusta leivän rakenteeseen sekä leivän sisuksen kovettumisnopeuteen. (Salovaara ym. 2017, 12.)

Paistossa tärkkelyspitoiseen viljatuotteeseen muodostuu akryyliamidia (Ruokavirasto, 2019). Akryyliamidi on todettu karsinogeeniksi, jota muodostuu, kun pelkistävät sokerit reagoivat aminohappojen kanssa (Eurofins, [viitattu 1.10.2021]). Akryyliamidin muodostumista paiston yhteydessä voi vähentää välttämällä liiallista paistoa ja pyrkiä vaaleaan paistopintaan. Akryyliamidin määrä on usein suoraan verrannollinen tummempaan paahtopintaan. (Ruokavirasto, 2019.)

3 VEHNÄHAPANJUUREN MIKROFLOORA JA ENTSYYMIT

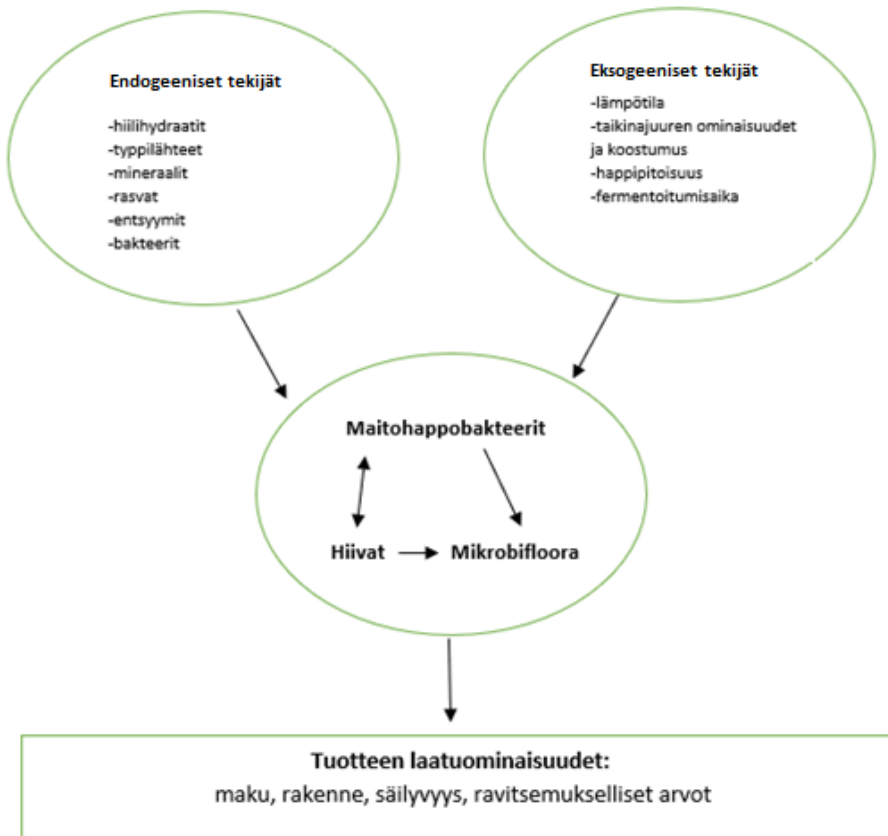
3.1 Mikrobit

Hapanjuuren mikrobisto on vaihtelevaa. Tuorehapanjuuren mikrobistoa harvoin pystyy pitämään stabiilina, sillä maitohappobakteerit pystyvät muokkaamaan aineenvaihduntaansa valitseviin olosuhteisiin sopiviksi. Mikrobit voivat olla peräisin suoraan viljasta, prosessin epäpuhtauksista tai leipomosta. (Wood ym. 1998, 202.)

Vehnähapanjuuren maitohappobakteerit ovat enimmäkseen gram -positiivisia bakteereja, joita voidaan luokitella muun muassa pesäkkeiden, solumuodon, kasvulämpötilan, happotoleranssin, soluseinäanalyysien sekä suolapitoisuustoleranssin mukaan. Pääsääntöisesti hapanjuuren mikrobeilla on hyvä haponsietokyky ja ne ovat mesofiilisiä eli lämmössä viihtyviä. (Hui ym. 2012, 480, 500). Maitohappobakteerien optimilämpötila on +30–35 °C. Viileämpi lämpötila (+25–30 °C) suosii etikkahappobakteerien kasvua. (Piispanen 2012, 10.)

Aktiivisessa tuorevehnähapanjuuressa on tutkittu olevan maitohappobakteereista muun muassa kantaa dominoivinta *L. sanfranciscensis*, *Lactobacillus fermentum*, *Pediococcus pentosaceus*, sekä *L. plantarum*. (Hui ym. 2012, 479.) Kuivahapanjuuressa on tunnistettu olevan *Lactobacillus plantarum* sekä *L. sanfranciscensis* (Wood ym. 1998, 205). Bakteerit ovat kuitenkin vaihtelevia ja kaikki hapanjuuret ovat toisistaan poikkeavia.

Hapanjuuren mikrobiflooraan vaikuttavat useat asiat ja parametrit. Kuvioon 5 on koottu mikrobikantaan ja mikrobien metaboliaan vaikuttavia endogeenisiä ja eksogeenisiä tekijöitä. Endogeenisiä tekijöitä ovat muun muassa viljan hiilihydraatit, mineraalit, edellä mainittujen pitoisuudet sekä jyvän entsyymiaktiivisuus. Eksogeenisiä tekijöitä ovat sen sijaan lämpötilat, käymisaika ja juuren vesipitoisuus. Edellä mainitut asiat vaikuttavat mikrobiflooraan ja tätä kautta myös lopputuotteen ominaisuuksiin.



Kuvio 5 Mikrobiflooraan vaikuttavat tekijät (mukaillen Woodia ym. 1998, 200).

Endogeenisten ja eksogeenisten tekijöiden summana muodostuvat leivän laatuominaisuudet, kuten makuprofiili. Orgaaniset hapot, esimerkiksi etikka- ja maitohapot luovuttavat vesimolekyylille vetyionin, joka muuttuu oksoniumioniksi. Oksoniumioni eli positiivisesti varautunut hapen ioni, luo tuotteen makuprofiiliin happamia ominaisuuksia (Salovaara ym. 2017, 20.)

Mikrobien kasvu voidaan jakaa kuuteen vaiheeseen: viivevaihe, kiihtymisvaihe, eksponentiaalinen kasvu, siirtymävaihe, staattinen vaihe ja mikrobien kuolemisvaihe. Viivevaiheessa mikrobit sopeutuvat ympäristöön ja olosuhteisiin. Kuivajuuren osalta viivevaihe on pidempi tarvittavan nesteytyksen vuoksi. Kun mikrobit ovat sopeutuneet olosuhteisiin, alkaa kiihtymisvaihe, jolloin mikro-organismit lisääntyvät, kunnes kasvu on huipussaan. Eksponentiaalisessa vaiheessa mikrobit ovat lisääntyneet jakautumalla, jolloin niiden määrä on moninkertainen. Mikrobien jakautumisaika kestää ajallisesti juuresta riippuen noin tunnin, jonka jälkeen mikrobien ravinteet vähenevät. Mikrobien määrä alkaa vähentyä siirtymävaiheessa. Staattisessa vaiheessa mikrobien määrä on stabiili, koska kuolleiden ja uusiutuvien mikrobien määrät ovat yhtä suuria. Viimeisessä vaiheessa uusiutuvien mikrobien määrä on nollassa ja olemassa olevat mikrobit jatkavat kuolemistaan. (Hui ym. 2012, 480.)

Korkean happamoitumisen ja maun kehittymisen kannalta hapanjuuri kannattaisi käyttää siirtymävaiheen tai stabiilin vaiheen aikana. Sen sijaan leiviniivan korvaamista ajatellen hapanjuuri on edukasta käyttää eksponentiaalisessa vaiheessa, jolloin mikrobien tuottama kaasuntuotanto on runsasta. (Hui ym. 2012, 480.)

3.2 Villihiivat

Hiivat ovat kotelosieniin kuuluvia yksisoluisia sieniä, joilla on kyky muodostaa rihmastoja. Hiivan saatua ravinteita, vettä ja happea, se alkaa lisääntyä jakautumalla. Hiivasolujen pilkkouksessa taikinan sokereita, se muodostaa aineenvaihdunnan tuotteina hiilidioksidia ja etanolia. (Suomen Hiiva, [viitattu 1.10.2021].) Vehnähapanjuuren fermentaatiossa tunnetuimmat hiivalajikkeet ovat *Saccharomyces cerevisiae*, *Kazachstania exigua* ja *Candida humilis*. Hapanjuuren fermentaation stabiilisuus on riippuvainen muun muassa juuren hiivojen ja maitohappojen välisestä vuorovaikutuksesta. (Hui ym. 2018, 479.)

Saccharomyces cerevisiae eli tutummin leiviniiva, on hallitseva hiivalajike hapanjuuresa. *S. cerevisiae* on eukaryoottisolujen malliorganismi. (Hui ym. 2018, 479.) *S. cerevisiae* kasvaa luonnossa monessa paikassa sienille tyypillisillä kasvualustoilla, kuten kosteilla pinnoilla. (Peter ym. 2018). Tällä hiivalajikkeella on erinomainen haponsietokyky ja se pystyy hyödyntämään etkkahappoa ainoana energian lähteenään (Juvonen ym. 2001, 80).

*S. cerevisiae*en jälkeen yleisimmät hiivalajikkeet hapanjuurissa ovat useimmiten *Candida humilis* ja *Kazachstania exigua*. Edellä mainitut lajikkeet on erittäin haponkestävä ja toimivat usein hyvin maltopositiivisten maitohappobakteerien kanssa. (Hui ym. 2018, 479, 502.) *C. humilis* ja *K. exigua* eivät kykene itsessään hajottamaan ja hyödyntämään maltoosia, jonka vuoksi ne assosioituvat maltoosia hajottavien mikrobien, kuten *L. sanfranciscensis*:in kanssa (Landis 2018.)

Kolmen tunnetuimman hiivalajikkeen lisäksi hapanjuudessa vallitsee myös lukuisia muita hiivalajikkeita, kuten *Saccharomyces servazzii* ja *Pichia anomala*. (Landis 2018.) *Saccharomyces servazzii* kykenee tuottamaan merkittävän määrän hiilidioksidia. Sen on myös havaittu tuottavan useita haihtuvia yhdisteitä, jotka vaikuttavat leivän makuprofiiliin. *Pichia anomala* tiedetään olevan yleinen hiiva leipomoissa ja fermentoiduissa tuotteissa, kuten hapanjuurissa. Lajike poikkeaa tavanomaisista hiivoista kyvyllään tuottaa niin sanottua hiivamyrkkyä sekä paljon haihtuvia yhdisteitä, kuten isomyyliasettaattia. Hiivamyrkkytuoton vuoksi *Pichia anomala* voi estää homeiden ja muiden hiivojen kasvua. (Landis 2018.)

3.3 Entsyymit

Entsyymit ovat useiden reaktioiden katalysaattoreita muuttamalla itse reaktiossa. Viljan jyvässä on luonnostaan entsyymejä, kuten endogeeniset alfa- ja beeta-amylaasientsyymit. Vaikka entsyymit eivät kulu reaktioissa, ovat ne silti herkkiä olosuhdemuutoksille, kuten happamuudelle, lämpötilalle ja veden määrälle. Useimmat entsyymit denaturoituvat ja inaktivoituvat herkästi lämpötilan ollessa yli +50 °C. Viljan alfa-amylaasi on poikkeuksellisen lämmönkestävä, sillä se on toimintakykyinen lämpötilan ollessa jopa +85 °C (Salovaara ym. 2017, 72.)

Paras pH entsyymien toiminnalle on 4–9 välillä. Äärirajoilla, kuten hapanjuudessa pH:n ollessa matala, entsyymejä inhiboi entisestään vähäinen veden määrä ja suolapitoisuus. Entsyymien aktiivisuuden tulee olla sopiva, jotta reaktiot tapahtuvat, mutta haitallisia vaikutuksia, kuten laatuvirheitä tai leivottavuuden heikentymistä ei pääse syntymään. (Salovaara ym. 2017, 74.)

Vehnän amylaasientsyymit pilkkovat viljan tärkkelyksen sisältämää energiaa mikrobeille soveltuvaan muotoon. Amylaasientsyymit, kuten alfa-amylaasientsyymit pilkkovat glukoosimolekyylien välisiä sidoksia. Alfa-amylaasi on aktiivisimmillaan pH:n ollessa neutraali. Monet mikrobit ja hiivalajit tuottavat beta-amylaasia, joka hajottaa tärkkelystä vapauttaen jyvistä maltoosia. Beta-amylaasia on luontaisesti myös viljan jyvässä. (Lankinen, Savin & Timonen, [viitattu 22.2.2022].) Hajonneiden tärkkelysjyvästen johdosta tuotteeseen vapautuu maltoosia. Maltoosin pitoisuus jauhoissa on 1,7–3 %. (Wood ym. 1998, 176.)

Viljan amylaasientsyymin aktiivisuutta voidaan mitata sakoluvulla. Sakoluku kertoo viljan itämisvaurion eli amylaasientsyymin kohonneen aktiivisuuden. Alhainen sakoluku kertoo viljan korkeasta itävyydestä. Ruisjauhoilla tyypillinen sakoluku on 110–130 toisin kuin vehnäjauhoilla toivottu sakoluku on vähintään 250. (Viljan laatukriteerit, [viitattu 23.2.2022].) Korkea entsyymiaktiivisuus on usein eduksi hapanjuuren mikrobistolle ja sen aktiivisuudelle.

4 HAPANJUUREN AKTIIVISUUDEN TUTKIMUSMENETELMÄT

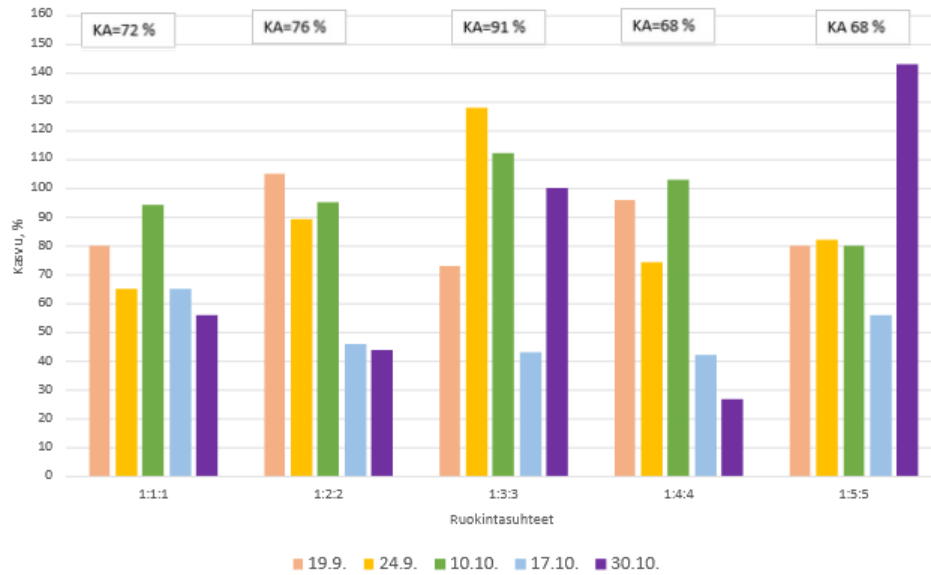
Vehnähapanjuuren aktiivisuuden tutkimisessa tavoitteena oli selvittää mikrobimäärän muutoksia mikrobien kasvun eri vaiheissa. Tutkimus aloitettiin seuraamalla hapanjuuren tilavuutta mittalasisissa. Tilavuuden muutoksista ja muutosnopeudesta voitiin päätellä mikrobien kasvun eri vaiheita. Tuntemalla eri kasvuvaiheiden kestoja, pysyttiin mikrobimäärien muutoksia todentamaan pH:n ja happoluvun avulla.

Ruokintasuhteina käytettiin tutkimuksissa seuraavia: 1:1:1, 1:2:2, 1:3:3, 1:4:4 sekä 1:5:5. Suhteen ensimmäinen luku kertoo aktiivisen tuorehapanjuuren määrän. Toinen luku kertoo jauhojen osuuden ja kolmas veden osuuden suhteessa hapanjuuren määrään. Hapanjuuren aktiivisuutta ylläpidettiin ruokkimalla se kahdesti päivässä toimeksiantajan käyttämällä ruokintasuhteella 1:4:4.

4.1 Tilavuuden muutosseuranta mittalasisimenetelmällä

Mikrobit tuottavat aineenvaihdunnan tuotteina muun muassa hiilidioksidia. Fermentaation aikana mikrobit jakautuvat, jolloin niiden määrä monistuu. Suurempi mikrobimäärä on siis suoraan verrannollinen hapanjuuren tai taikinän tilavuuden suurempaan kasvuun. Lähtöoletuksena oli, että näyte, jonka aktiivisen hapanjuuren pitoisuus on suurempi, saavuttaa maksimitilavuuden nopeammin kuin verrokkinäyte, jossa juurimäärä kokonaisuudessaan nähden on pienempi.

Hapanjuuren tilavuuden muutoksia ja tilavuuden muutosnopeutta seurattiin mittalasin avulla, jolloin tulokset saatiin millilitran tarkkuudella. Seuranta tehtiin, jotta saatiin viitteitä mikrobien kasvun eri vaiheista ja vaiheiden nopeudesta. Hapanjuuren eri ruokintasuhteiden maksimitilavuudet kirjattiin ja tuloksien yhtäläisyyksiä verrattiin viiden eri mittauskerran välillä. Maksimitilavuutta verrattiin lähtötilavuuteen, jolloin saatiin kunkin hapanjuurierän prosentuaalinen kasvu. Prosentuaaliset kasvut on koottu kuvioon 6. Kuten yhteenvedosta huomaa, tulokset eivät ole mittauspäivien välillä täysin yhdenmukaisia, eikä maksimitilavuus ole ollut vakio. Kuvion yläosaan on laskettu eri mittauspäivien maksimitilavuuksien keskiarvo. Hajonta on nähtävillä kuvion palkeista.



Kuvio 6 Hapanjuuren tilavuuksien maksimikasvut eri mittauspäivinä.

Tutkimuksissa huomattiin, että ilman lämpötilalla on merkittävä vaikutus tilavuuden kasvun nopeuteen. Tämä vaikutti osaltaan myös vaihteleviin tuloksiin, sillä huoneilman olosuhteita ei pysytty täysin vakioimaan. Mittauspäivien eksogeeniset tekijät on esitetty taulukossa 2. Huoneen lämpötilat ja kosteuspitoisuudet korreloivat ulkoilman kanssa. Veto oli mahdollista ko-keessa yksi, jolloin mittalasisit olivat ulkoseinän puoleisella pöydällä ikkunan läheisyydessä. Muilla mittauskerroilla mittalasisit sijoitettiin sisäseinän puoleiselle tasolle ja lasiastiat olivat suljetussa tai lähes suljetussa muovilaatikossa. Näillä kerroilla myös fermentointilämpötila oli korkeampi.

Taulukko 2. Fermentaation eksogeeniset tekijät eri mittauspäivinä.

	19.9.	24.9.	10.10.	17.10.	30.10.
Vesi, °C	27	28,3	29,2	28,9	29,1
Ilma, °C	20–20,7	21,4–22	21–23	21–23	22–24
Veto	mahdollinen	ei	ei	ei	ei

Tutkimuksissa huomattiin, että korkeampi lämpötila nopeutti hapanjuuren maksimitilavuuden saavuttamista. Sen sijaan lopulliseen tilavuuteen lämpötilalla ei kuitenkaan tämän tutkimuksen pohjalta havaittu olevan selkeää vaikutusta. Liitteessä 2 on tarkat tulokset eri mittauspäivien ruokintasuhteiden tilavuuksista ja maksimitilavuuksien ajallisesta saavuttamisesta. Liitteen taulukosta on helposti todennettavissa aiemmin mainittu lämpötilan vaikutus tilavuuden kasvunopeuteen.

4.2 pH

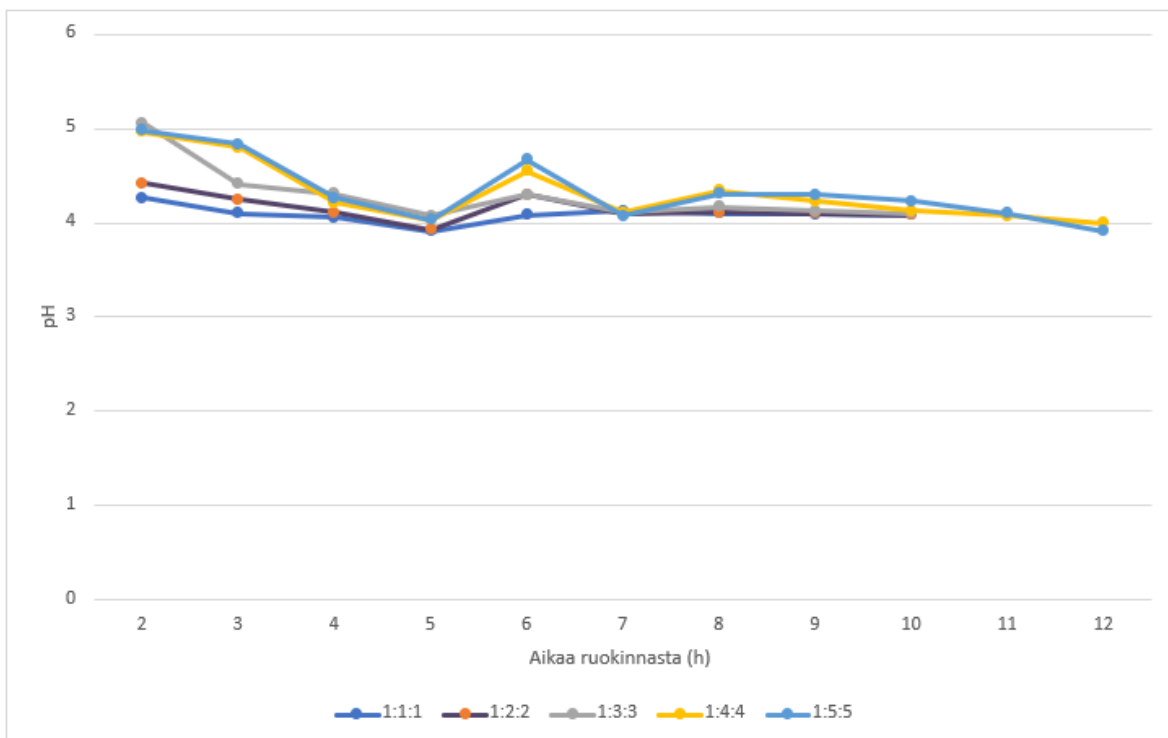
Happamuutta mitataan vetyionien aktiivisuutena eli pH:n avulla. pH:n ollessa 7, puhutaan neutraalista arvosta. Tätä pienemmät arvot luokitellaan happamiksi. Logaritmisessa asteikossa pH:n laskiessa esimerkiksi yhdellä, vetyionien aktiivisuus kasvaa suhteessa 10-kertaiseksi. (Salovaara ym. 2017, 22.) Tässä työssä pH mittarina käytettiin pH -indikaattoria, jossa tuote on suorassa kosketuksessa indikaattorin elektrodiin.

Fermentoituneen vehnähapanjuuren tyypillinen pH on 3,4–4,5. (Chavan & Chavan 2011.) Huin ym. (2012, 488) mukaan jauhojen korkea tuhkapitoisuus edistää fermentaatiota ja tätä kautta lisää myös happamoitumista. Salovaaran ym. (2017, 51, 53) mukaan puolikarkeiden vehnäjauhojen tyypillinen tuhkapitoisuus vaihtelee välillä 0,6–0,75 %. Tutkimuksessa käytettyjen vehnäjauhojen tuhkapitoisuus oli mittaustulosten keskiarvon mukaan 0,65 %. Tämän tiedon pohjalta voitiin olettaa, että jauhojen tuhkapitoisuuden ollessa keskimääräisen vaihteluvälillä alarajoilla, fermentoituneen vehnähapanjuuren pH ei välttämättä olisi niin hapan, mitä Chavan & Chavan on teoriassaan osoittanut.

pH-mittaukset otettiin aktiivisesta tuorehapanjuuresta tilavuuden kasvun eri vaiheissa. Ensimmäinen mittaus otettiin, kun hapanjuuren ruokinnasta oli kulunut kaksi tuntia. Ensimmäisen mittauksen kohdalla ruokintasuhteiden 1:1:1, 1:2:2 sekä 1:3:3 fermentaatio oli selvästi käynnistynyt ja tilavuus oli lähtenyt kasvuun. Muiden ruokintasuhteiden osalta aistivaraisia muutoksia ei ollut vielä tapahtunut. Ensimmäisen tuloksen jälkeen mittauksia toistettiin tunnin välein. Ruokintasuhteiden 1:1:1, 1:2:2 sekä 1:3:3 tilavuuden kasvun selkeä hidastuminen oli havaittavissa, kun ruokinnasta oli kulunut 10 tuntia. Tämän jälkeen kyseisten ruokintasuhteiden analyysimittauksia ei enää toistettu. Sen sijaan ruokintasuhteiden 1:4:4 ja 1:5:5 tilavuudet kasvoivat pitkään tasaisesti. Vaikka näiden kahden ruokintasuhteiden maksimitilavuuksia ei mittauspäivänä havaittu, analyysit päätettiin keskeyttää, kun ruokinnasta oli kulunut 12 tuntia.

Kuviossa 7 on eri ruokintasuhteiden pH-tulokset suhteessa fermentoitumisaikaan (h). Arvoissa on huomioitava, että juureen on lisätty tislattua vettä, jonka pH oli 6,89. Lisätty vesi laimentaa hapanjuuren todellista pH:ta. Tarkoituksena tässä työssä oli kuitenkin selvittää pH:n muutoksia.

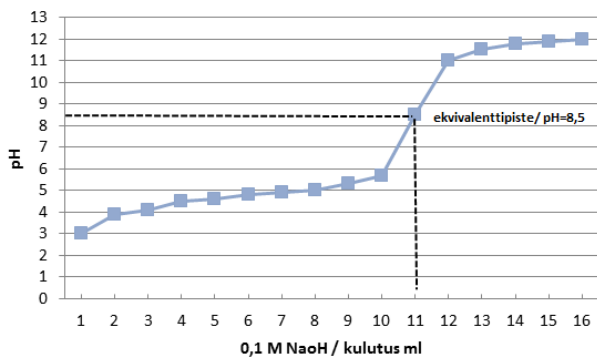
Kuten kuviosta 7 huomaa, käyrillä näkyy pH:n muutospiikkejä ajanhetkellä 5–7. Käyrällä nähtävän piikin aikana hapanjuurinäyte on muuttunut happamasta neutraalimmaksi. Piikin jälkeen näyte on jatkanut happamoitumista. Voisiko mikrobien aineenvaihdunnassa tai entsyymien aiheuttamissa reaktioissa muodostua happoa puskuroivaa ainesosaa, joka näkyisi hetkellisenä pH:n nousuna? pH:n äkillisiä muutoksia tai niiden toistuvuutta ei kuitenkaan tässä työssä lähdetty selvittämään uusintamittauksilla. Ruokintasuhteiden tilavuuden muutoksia havainnoimalla voitiin kuitenkin todeta, että muutospiikit tapahtuivat pääosin nopeimman tilavuuskasvun jälkeen. Tarkat pH-arvot eri fermentaation vaiheissa on nähtävillä seuraavan luvun 4.3. taulukossa 3.



Kuvio 7 pH:n muutokset eri ruokintasuhteilla.

4.3 Happoluku

Hapon kokonaismäärä selvitettiin happoluvun avulla. Happoluvun määrittämisessä näytettä titrataan natriumhydroksidilla, kunnes pH on 8,5. Kyseisessä kohdassa on ekvivalenttipiste, jolloin näytteessä on happoa ja emästä yhtä paljon. Kuvioon 8 on selkiytetty pH:n muutos lisättäessä happopitoiseen näytteeseen emästä. Kun pH lähestyy ekvivalenttipistettä, pH:n kasvu on jyrkkää. (Salovaara ym. 2017, 22.)



Kuvio 8 Titrauksen ekvivalenttipiste (mukailien opetushallitusta, [viitattu 30.9.2021]).

Fermentoituneen vehnähapanjuuren happoluku on keskimäärin 8–13 riippuen käytetyistä jauhoista (Piispanen 2012, 10). Happolukuun vaikuttaa merkittävästi käytettyjen jauhojen lisäksi hapanjuurinäytteen fermentointilämpötila, vesipitoisuus ja mikrobien kasvun vaihe. (Hui ym. 2012, 498.)

Fermentaation aikana lämpötila pyrittiin pitämään vakiona, noin +21–23 celsiusasteen välillä. Juurierien kokonaishappomäärät (ml) ja pH-arvot on koottu taulukkoon 3. Mittaukset on tehty vaiheista, jolloin kasvun muutokset ovat olleet merkittäviä ja oleellisia. Tämän vuoksi esimerkiksi hapanjuurien 1–3 pitoisuuksia ei ole mitattu enää, kun ruokinnasta on kulunut 10 tuntia. Tätä edeltävät tyhjät mittaustulokset ovat virhemittauksia ja ne on jätetty pois yhteenvedosta.

Taulukko 3. Hapanjuurien pH:t ja kokonaishappopitoisuudet (TTA).

Hapanjuuri	Fermentointiaika (h)															
	2		3		4		5		7		10		12		17	
	pH	TTA	pH	TTA	pH	TTA	pH	TTA	pH	TTA	pH	TTA	pH	TTA	pH	TTA
1	4,26	-	4,13	7,2	4,06	7,8	3,91	9,6	4,13	11,3	-	-	-	-	-	-
2	4,42	5,4	4,22	7,1	4,11	7,1	3,93	9,3	4,09	9,8	-	-	-	-	-	-
3	5,06	-	4,48	5,1	4,31	5,1	4,07	9,1	4,11	10	-	-	-	-	-	-
4	4,96	4	4,48	5,1	4,21	7,6	4,03	9,1	4,11	9,6	-	-	4	9,7	3,8	12
5	4,98	4	4,45	6	4,26	6,9	4,03	8,4	4,07	9,6	-	-	3,91	9,8	3,8	12

Sekä kuvion 7 pH:n muutoskäyrästä että taulukosta 3 on havaittavissa, että pH:ssa tapahtuu alkuoletuksien vastainen muutos ajanhetkellä 5–7. Happoluvun osalta muutokset ovat loogisia ja ennakko-odotusten mukaisia.

5 HAPANJUUREN KUIVAUS

Edeltävien seurantojen ja hapanjuuren analyysien pohjalta päätettiin kuivattavan hapanjuuren ruokintasuhde ja optimaalinen kuivaushetki fermentaation aikana. Valinnassa käytettiin taulukon 4 mukaista pistetaulukkoa, jonka ajatuksena oli, että paras tulos saa arvon 5 ja huonoin vastaavasti arvon 1. Tällä menetelmällä käytiin pistelaskennan aiheet läpi ruokintasuhdekohtaisesti, jolloin saatiin koostettua maksimipisteet. Kuten taulukosta ilmenee, eniten pisteitä sai ruokintasuhde 1:3:3, jota käytettiin tämän tutkimuksen jatkomittauksissa, -seurannoissa ja -analyysissä.

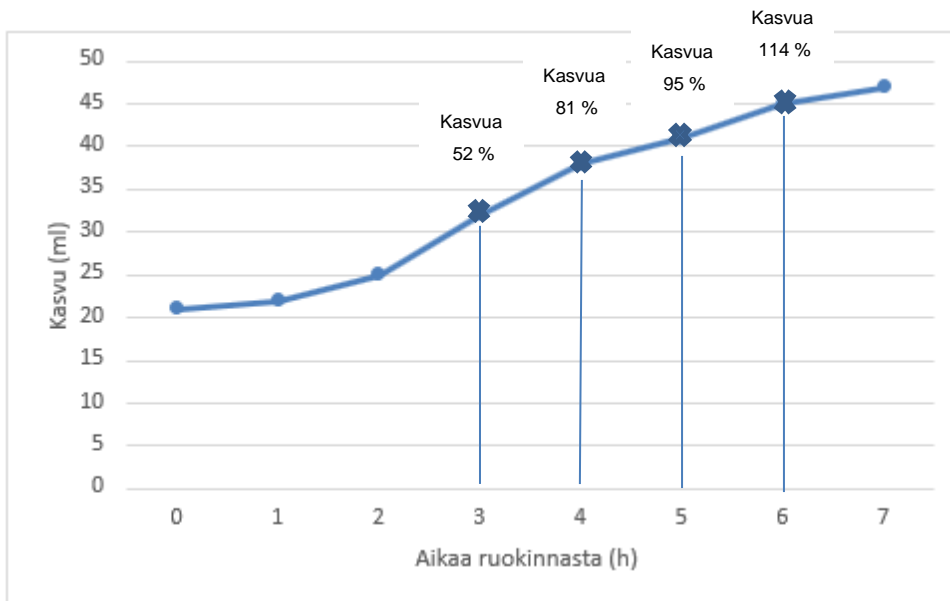
Taulukko 4. Eri ruokintasuhteiden pistetaulukko.

Pistelaskennan aiheet	1:1:1	1:2:2	1:3:3	1:4:4	1:5:5
korkein happoluku mikrobikasvun kiihtymisvaiheessa	5	4	3	2	1
suurin happoluku mikrobikasvun eksponentiaalisessa vaiheessa	5	2	3	4	1
suurin maksimitilavuus prosentuaalisesti (mittauksien KA)	2	4	5	3	1
suurin tilavuuden %-kasvu mikrobikasvun kiihtymisvaiheessa	5	2	3	4	4
suurin happoluvun %-kasvu kiihtymisvaiheen aikana	1	2	5	3	4
korkein happoluku kiihtymisvaiheen jälkeen	5	2	3	4	3
aistinvaraiset ominaisuudet (tuoksu, käsiteltävyys, hapanjuuren rakenne)	3	4	5	3	3
PISTEET YHT	26	20	27	23	17

5.1 Kuivauksen ajanhetki fermentaatiossa

Kuivatussa juuressa vesi haihtuu ja mikrobit jäävät olemassa oleviksi, mutta niiden toiminta pysähtyy. Kun kuivattuun hapanjuureen lisätään myöhemmin vettä, oletuksena on, että kuivumisvaiheessa ollut mikrobimäärä herää ja jatkaa ravinnon saatuaan kasvua. Tämän vuoksi hapanjuuren kuivaaminen tulisi tehdä fermentaation vaiheessa, jossa mikrobiaktiivisuus on suurimmillaan. Mikrobiaktiivisuudesta ja mikrobien kasvun vaiheista saatiin viitteitä ja pohjatietoa aiempien seurantojen ja analyysien kautta. Kuivauseriin käytettiin tuorehapanjuurta, jonka ruokintasuhde oli 1:3:3. Kyseinen ruokintasuhde koettiin parhaimmaksi taulukon 4 pisteiden mukaan.

Tuorehapanjuuri ruokittiin suhteella 1:3:3 ja sen tilavuuden kasvukäyrä havainnollistettiin kuvioon 9. Kyseistä tuorejuurierää käytettiin hapanjuuren kuivaamiseen. Kuivatettavat erät otettiin fermentaation ajanhetkillä (h) 3, 4, 5 ja 6. Koska fermentoinninvaiheita ei voida täysin aikatauluttaa tuntikohtaisiksi, kuviolla haluttiin havainnollistaa tarkemmin hapanjuuren kasvun vaihetta, jolloin kuivaus toteutettiin. Kasvun vaiheita seurattiin tilavuuden (ml) muutoksina. Kuivauskohtiin on merkitty myös sen hetkinen prosentuaalinen tilavuuden kasvu verraten alkuperäiseen tilavuuteen, jolloin ajanhetki oli 0.



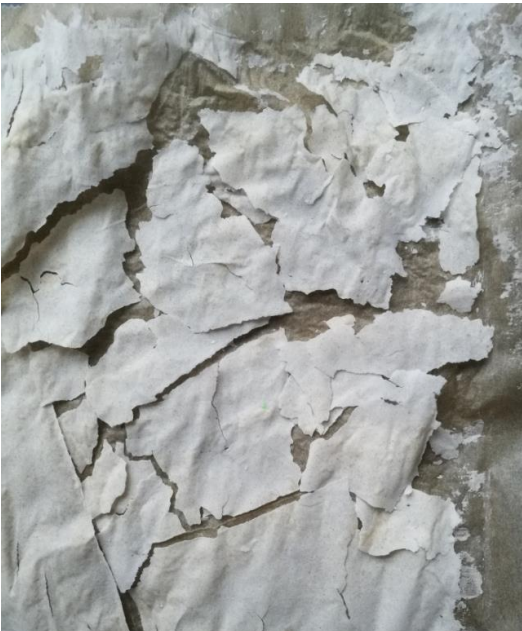
Kuvio 9 Kuivaushetket hapanjuuren kasvukäyrällä.

5.2 Hapanjuuren kuivausmenetelmä

Kuivatettavat erät otettiin, kun ruokinnasta oli kulunut 3, 4, 5 ja 6 tuntia (kuvio 10). Edellä mainitut erät kuivattiin erillään toisistaan. Hapanjuuren mikrobit jatkavat vielä kuivausalustalla jakautumistaan, mutta lämpötilan laskiessa niiden toiminta hidastuu merkittävästi. Hapanjuurta levitettiin leivinpaperille ohueksi kerrokseksi (kuva 2), jotta kuivuminen alkaisi mahdollisimman nopeasti. Aistinvaraisesti arvioituna kuivumista alkoi tapahtua noin kahden tunnin kuluttua leivinpaperille levittämisestä. Hapanjuurierää kuivattiin 12 tunnin ajan, jolloin kuiva-juuri oli murenevaa ja lohkeilevaa (kuva 3). Kuivajuuren säilytyksessä tulee olla varma, että juuri on täysin kuiva, sillä kosteus aiheuttaa homeen muodostumista, jonka jälkeen erä on käyttökelvoton. Kuivunut hapanjuuri murennettiin ilmatiiviiseen astiaan.



Kuva 2 Kuivatettava hapanjuuri.



Kuva 3. Kuivunut hapanjuuri.

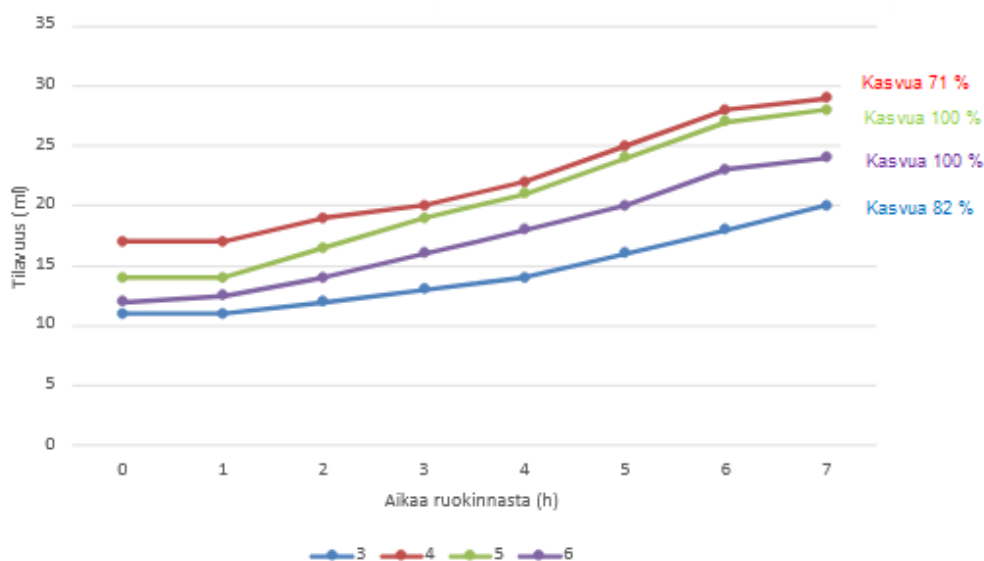
5.3 Kuivajuuren herättäminen ja ruokinta

Juuren kuivaaminen saattaa olla riski maitohappobakteerien säilymiselle (Hui ym. 2012, 500). Tämän vuoksi kuivajuuren herätyksessä vaalittiin olosuhteita, jotka ovat maitohappobakteereille otollisia niiden elonvoimaisuuden lisäämiseksi.

Kuivajuuren ensimmäistä ruokintakertaa, jolloin kuivajuureen lisätään vettä ja jauhoa, kutsutaan herätysruokinnaksi. Herätysruokinnan raaka-ainesuhteita veden, kuivajuuren ja jauhojen osalta tuli testata. Teoriatiedon pohjalta tiedettiin, että korkeamman nestepitoisuuden omaava raski fermentoituu paksua raskia nopeammin (Chavan & Chavan 2011). Tämän tiedon valossa ruokitun hapanjuuren rakenne pyrittiin pitämään notkeana.

Tutkimuksessa käytettiin edellisessä luvussa 5.1. kuivattuja hapanjuurieriä. Herätysruokinnoina käytettiin seuraavia suhteita: 3 g kuivajuurta, 21 g vettä ja 19 g jauhoa. Käytetyn veden lämpötila oli +32 astetta. Herätysruokinnan tutkimuksissa havainnoitiin kuivajuuren liukenemista ja fermentaation käynnistymistä. Aistinvaraiset kokeet toimivat pohjatietoina jatkotutkimuksia varten. Kokeissa todettiin, että herätysruokinnassa fermentaation käynnistymisaika vaihteli, jonka vuoksi hapanjuuren heräämiselle tulisi antaa vähintään vuorokauden fermentoitumisaika ennen seuraavaa ruokintaa.

Kun kuivahapanjuuren liukenemista ja fermentaation käynnistymisestä oli saatu pohjatietoa, edettiin tutkimaan herätysruokinnan jälkeistä ruokintakertaa. Kuivajuuren herätysruokinnan jälkeen toinen ruokinta tehtiin vuorokauden kuluttua suhteella 1:3:3. Tilavuuksien muutoksia seurattiin ja tulokset koottiin kuvioon 10. Eränumerot kuvaavat kuvion 9 mukaisia kuivausajanhetkiä (h). Kuvion 10 käyristä ilmenee, että erien viisi ja kuusi kasvut olivat tasaisimpia ja kasvut alkoivat nopeasti. Prosentuaalisista kasvuista huomattiin, että seitsemän tunnin mitausjaksolla mikrobit olivat tuottaneet eniten kaasua erissä viisi ja kuusi.



Kuvio 10 Kuivajuurierien toisen ruokinnan tilavuuden seuranta.

Toisen ruokinnan tilavuuden seurannan ohella analysoitiin myös mikrobimäärämuutoksia pH:n ja happoluvun avulla (taulukko 5). Analyysit otettiin kasvukäyrän vaiheista, jolloin tilavuuden muutoksia havaittiin tai niitä pidettiin merkittävänä. Hapanjuurierien kolme ja neljä tilavuudessa alkoi tapahtua muutosta vasta, kun ruokinnasta oli kulunut kuusi tuntia. Sen sijaan erän viisi tilavuus alkoi kasvaa ajanhetkellä viisi. Hapanjuurierän kuusi tilavuuden kasvu alkoi nopeasti, jonka vuoksi kyseisestä erästä otettiin ensimmäinen mittaus, kun ruokinnasta oli kulunut kolme tuntia.

Taulukko 5. Hapanjuurien pH:t ja kokonaishappopitoisuudet (TTA) kahdesti ruokitusta kuivajuuresta.

Hapanjuuri	Fermentointiaika (h)							
	3		4		5		6	
	pH	TTA	pH	TTA	pH	TTA	pH	TTA
3	-	-	-	-	-	-	4,09	8,5
4	-	-	-	-	-	-	4,02	8
5	-	-	-	-	4,02	7,3	3,99	8,5
6	4,34	6	-	-	4,03	7,5	3,98	8,5

Taulukon 5 tulokset erien viisi ja kuusi osalta tukevat aistinvaraisia havaintoja siitä, että fermentaatio oli näissä pidemmällä kuin näytteissä kolme ja neljä. Koeleivonnoissa päädyttiin käyttämään erää kuusi.

5.4 Säilytyksen vaikutus tasalaatuisuuteen

Tutkimuksella haluttiin selvittää, vaikuttaako kuivajuuren säilytys ilmatiiviissä pakkauksessa sen toimintaan ja laatuun. Lopputuotteelle tulee antaa parasta ennen -päiväys, johon asti tuotteen tulee pysyä tasalaatuisena. Mikrobiologista säilyvyysaikaa ei tutkittu.

Tutkimuksessa hapanjuurierä kuivattiin 2.1.2022 ja kuivajuurella leivottiin noin kahden viikon välein kolmen kuukauden ajan. Tehdyissä leipätaikinoissa ei havaittu hapanjuuren tasalaatuisuudessa tai sen toimintavarmuudessa eroja. Tämän selvityksen pohjalta voitiin todeta, että kuivattu hapanjuuri säilyy toimintavarmana ilmatiiviissä pakkauksessa vähintään kolmen kuukauden ajan.

6 VEHNÄPATALEIVÄN TUOTEKEHITYS

Vehnäpataleivässä käytettiin toimeksiantajalta saadun hapanjuuren lisäksi Mårby Gårdin luomuvehnäjauhoja, hanavettä ja Meiran hienoa merisuolaa. Pataleivän tuotekehityksen kaikissa vaiheissa tavoitteena oli pitää prosessi toimintavarmana ja sellaisena, että se tuottaisi tasalaatuisia lopputuotteita. Koska hapanjuuri on herkkä muuttumaan olosuhteiden muuttuessa, tuotekehityksen yhtenä päätavoitteena oli luoda tuote, jossa eksogeenisten tekijöiden muutosten vaikutukset taikinaan olisivat mahdollisimman pieniä.

6.1 Tuotekehityksen tutkimussuunnitelma

Ennen leivän tuotekehitystä otettiin huomioon tuotteen sopivuus yrityksen imagoon sekä toimeksiantajan toivomat leipäraaka-aineet. Toimeksiantajan mukaan kuiva-aineista koostuvalle valmiille leipäseokselle olisi kysyntää.

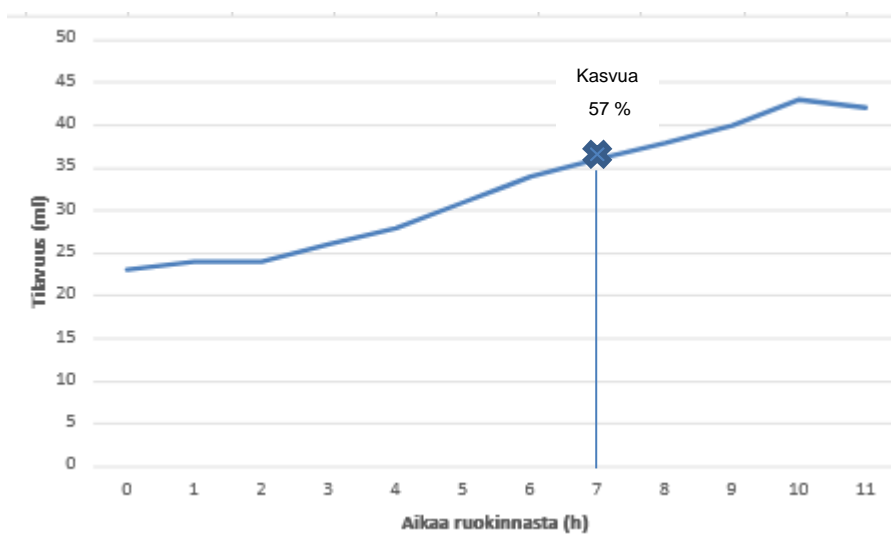
Tuotekehityksen tavoitteena oli saada kuluttajalle helposti toteutettava pataleipäseosresepti, jossa käytettiin kuivatettua hapanjuurta. Tämä edellytti reseptiä ja toimintaohjetta, jolla kuiva-hapanjuuri toimi halutulla tavalla kohottaen taikinaa. Rakenteen osalta koettiin riittäväksi, että leipä ei ollut taikinavaiheessa ali- tai ylikehittynyt ja se kohosi paistovaiheessa.

Hapanjuurta käyttämällä on riski, että juuren toimivuus ja leivän laatu vaihtelevat eri kotitalouksissa. Koska tavoitteena oli kuluttajalle helppo ja toimintavarma tuote, tulisi hapanjuuren ruokintojen määrä minimoida. Mitä vähemmän kotitalouksissa tehtäviä leivontavaiheita on, sitä enemmän pystytään vähentämään eksogeenisten tekijöiden vaikutusta juuren mikrobiin, aktiivisuuteen ja aistinvaraisiin ominaisuuksiin.

Toimeksiantaja toimitti reseptipohjan vehnäpataleivälle, jossa raaka-aineina olivat Mörby Gårdin vehnäjauho, vesi, tuorejuuri ja suola. Koska reseptipohjassa käytettiin tuorejuurta, ohjetta ei voitu suoraan soveltaa taikinaan, jossa haluttiin käyttää kuivajuurta. Toimeksiantajan reseptistä voitiin kuitenkin poimia haluttu suolapitoisuus ja taikinan kokonaispaino.

6.2 Koeleivonnat

Koeleivontoja varten kuivatettiin aktiivisesta tuorehapanjuuresta uusi kuivajuurierä, jota käytettiin kaikkien koeleivontojen aikana. Kuviossa 11 on nähtävillä hapanjuuren kasvukäyrä ja hetki, jolloin kuivaus aloitettiin. Fermentaatioissa tilavuuden kasvua oli kuivaukseen mennessä tapahtunut 57 %, kokonaiskasvua kyseisen hapanjuuren fermentaatioissa tapahtui 93 % verraten alkuperäiseen tilavuuteen. Kuivauksessa tulee tiedostaa, että mikrobien jakaantumista tapahtuu vielä kuivatusalustalla, vaikkakin huomattavasti hitaammin.



Kuvio 11 Kuivaushetki hapanjuuren tilavuuden kasvukäyrällä (2).

Leivän tuotekehityksessä edettiin siten, että aluksi luotiin helpoin toimintamalli, jossa kuluttajan täytyisi lisätä kuiva-aineseokseen vain vesi. Tällöin kuivajuurta käytettiin suoraan leipätaikinaan ilman erillisiä herätysruokintoja. Tämän tyyppisiä koeasetteluja tehtiin useampia siten, että muuttuvina tekijöinä olivat kuivajuuren määrä ja sen käyttö kuivarouheena tai liotettuna. Fermentoitumisen nopeuttamiseksi tutkimuksissa kokeiltiin käyttää sakkaroosia. Edellä mainitusta reseptimallista päädyttiin etenemään kuitenkin toimintamalliin, jossa kuivajuri ruokitaan kertaalleen ennen taikinan valmistusta.

6.2.1 Kuivajuuren käyttö taikinassa ilman herätysruokintoja

Reseptiikan kehitys aloitettiin kuluttajalle helpoimmasta toimintamallista, jolloin valmiiseen kuiva-aineseokseen tulisi lisätä vain vesi. Kokeissa tehtiin useita koetaikinoita, joissa kuivajuuren määrä vaihteli 9,3 ja 15 %:n välillä verraten taikinamassan painoon. Tuloksissa seurattiin taikinan aistinvaraisia ominaisuuksia ja sen tilavuuden kasvua mittalasissa. Fermentoituminen tapahtui huoneenlämmössä.

Tulokset koetaikinoissa eivät olleet toivotunlaisia, sillä kohoamista ei tapahtunut lainkaan ensimmäisen 12 tunnin aikana. Taikinan käsittelyssä havaittiin, että kuivajuuren palat eivät olleet täysin liuenneita taikinaan vielä vuorokaudenkaan kuluttua. Tällöin mikrobit ovat viivevaiheessa ja osa mikrobeista on vielä täysin stabiilissa tilassa, mikä hidastaa hiilidioksidin muodostumista taikinaan.

Leipätaikinaa koetettiin kohottaa yli vuorokauden ajan, jolloin kuivajuuri ehtisi liukenemaan paremmin. Huomattiin kuitenkin, että mikäli taikinaa kohotettiin yli vuorokauden ajan huoneenlämmössä, tuoksu muuttui epämiellyttävän happamaksi. Tässä vaiheessa happoja on luultavasti syntynyt jo niin paljon, että ne alkavat heikentää aistinvaraisten ominaisuuksien lisäksi myös sitkoverkostoa. Pitkässä fermentaatiossa myös taikinan rakenne muuttui löysemmäksi ja tämän myötä se oli myös haastavampaa käsitellä.

Tutkimuksilla haluttiin vielä selvittää, toimiiko kuivajuuri suoraan leipätaikinassa, mikäli sen liuottaa etukäteen. Tulokset olivat hyvin samankaltaisia mitä edeltävässä kokeessa. Kohoaminen oli vähäistä, tuoksu happamoitui merkittävästi ja taikinan käsiteltävyys heikentyi.

Koetaikinoissa kokeiltiin myös sakkaroosin vaikutusta mikrobiston heräämiseen ja aktiivisuuteen. Koska makuun ei haluttu tuoda merkitsevässä määrin makeutta, sokeripitoisuus oli 1 % suhteutettuna koko taikinan painoon. Koetaikinan kuivajuuri (10 %) liotettiin, jonka jälkeen juurineesteeseen lisättiin sokeri, jauhot ja suola. Koetaikina kohosi 18 tunnin aikana 28 % verraten alkuperäiseen taikinatilavuuteen.

Taikina paistettiin esikuumennetussa padassa, uunin lämpötilan ollessa tasalämmöllä 270 °C. Paistojasta ensimmäisten 20 minuutin ajan padassa oli kansi, jonka jälkeen se poistettiin ja paistoa jatkettiin vielä 10 minuuttia. Kypsennyksen jälkeen leivän annettiin vetäytyä 60 minuuttia, jonka jälkeen se halkaistiin. Rakenne oli osittain tiivis ja paikoittain leivässä oli kokoon nähden isoja huokosia (kuva 4). Maku oli hapan. Rakenne antoi viitteitä alikehittyneestä taikinasta. Tutkimuksien ja koeleivontojen tulosten perusteella todettiin, että kuivahapanjuuren käyttö ilman erillisiä ruokintoja on haastavaa.



Kuva 4. Koepataleivän rakenne.

6.2.2 Leipätaikinan valmistus kolmessa osassa

Edeltävien taikinakokeiden jälkeen taikina päätettiin tehdä kolmessa osassa. Ensimmäisessä vaiheessa kuivajuuri liuotettiin. Toisessa vaiheessa liuotetusta kuivahapanjuuresta tehtiin löysä raski ja kolmannessa vaiheessa siitä valmistettiin leipätaikina. Taikinakokeita tehtiin yhteensä kuusi, joissa muuttuvina tekijöinä olivat kuivajuuren ja nesteen pitoisuudet sekä vehnäraskille annettu heräämisaika. Kokeiden tarkat reseptit on koottu liitteeseen 3.

Koeresepteissä raaka-aineiden suhteita muutettiin taikinan käsiteltävyyden ja aistinvaraisten ominaisuuksien perusteella. Kuten luvun 6.2.1. havainnoissa tuli ilmi, yli vuorokauden pituinen fermentaatio heikensi aistinvaraisia ominaisuuksia ja taikinan rakennetta. Mikäli koettiin, että taikinan kohoamisaika alkoi vaikuttamaan sen ominaisuuksiin negatiivisesti, taikinan nestepitoisuutta nostettiin, jotta fermentoituminen nopeutuisi.

Liuetetusta kuivahapanjuuresta, sokerista, jauhoista ja vedestä valmistettiin raski, jota fermentoitiin huoneenlämmössä kahden vuorokauden ajan. Herätysruokinnan aikana mikrobien aktivoituminen näkyi kuplintana, mutta tilavuuden kasvua ei tässä vaiheessa tapahtunut merkittävästi. Tämän arvioitiin johtuvan raskin korkeasta nestepitoisuudesta, jolloin sitkoverkosto ei ole kyllin vahva pidättäen metaboliassa muodostuvia kaasuja.

48 tunnin fermentoinnin jälkeen valmistettiin leipätaikina, jolloin raskiin sekoitettiin reseptin loput vehnäjauhot ja vesi. Taikinaa kohotettiin huoneenlämmössä 9–12 tuntia. Yhdeksän tunnin aikana taikinan tilavuus kasvoi 75 %. Taikina paistettiin esikuumennetussa padassa uunin lämpötilan ollessa 270 °C. Koetaikinoiden paistoaika vaihteli 35–45 minuutin välillä. Paistoaikasta ensimmäisen 20 minuutin ajan padassa oli kansi. Paiston jälkeen leivän annettiin vetäytyä 60 minuuttia, jonka jälkeen se halkaistiin.

Kolmen vaiheen taikinakokeita tehtiin yhteensä kuusi. Taikinankokeet ja kypsät leivät koettiin onnistuneiksi. Kuvassa 5 nähtävillä kypsän pataleivän rakenne. Kuvan leivän paistoaika oli yhteensä 43 minuuttia, josta ensimmäisten 20 minuutin ajan padassa oli kansi. Paistoaika koettiin liian pitkäksi tummuneen pinnan ja paksun kuoren vuoksi. Ruokaviraston mukaan tumma pinta on lähes poikkeuksetta suoraan verrannollinen korkeampaan akryyliamidin määrään. Aistinvaraisten ominaisuuksien ja akryyliamidin muodostumisen vuoksi paistoaikaa lyhennettiin. Lyhyemmillä paistoajoilla saatiin vaaleampia ja ohutkuorisempia, mutta rapeita leipiä. Kuoren alla leivän rakenne oli tasalaatuinen ja pehmeä.



Kuva 5. Valmiin pataleivän rakenne.

6.3 Pataleivän reseptiikka

Koeleivontojen pohjalta huomattiin, että kuivahapanjuuri tulee liuottaa täysin. Liukenemista pystyi nopeuttamaan voimakkaalla sekoituksella. Mikäli kuivajuurikiteitä jäi, se hidasti kasvu-prosessia ja kohoamista merkittävästi.

Leipätaikinan kokonaismassa oli 876 g, joka on 33 % enemmän kuin toimeksiantajan toimit-taman reseptin taikinapaino. Taikinan kokonaispainoa kokeiltiin laskea 33 %:ia Paiston jäl-keen kuitenkin todettiin, että alkuperäisen reseptinkoon mukainen pataleipä oli ulkonäöllisesti parempi ja houkuttelevampi. Reseptin kokoa on mahdollista kuitenkin helposti muuttaa suh-deprosenttein huomioiden, että pienempi taikinamassa saattaa vaatia ulkoisilta olosuhteilta kohoamiseen korkeamman lämpötilan.

Lopulliselle taikinaversiolle kokeiltiin kohotuksen osalta kahta eri menetelmää, joista toinen tapahtui taikinakulhossa ja toinen jauhotetulla, pyyheliinalla vuoratussa kulhossa. Todettiin, että kuluttajan on helpompi käyttää jälkimmäistä menetelmää. Tällöin taikinan pinta ei jää irrottaessa kulhon reunaan kiinni hajottaen taikinan pintaa ja rakennetta. Pataleivän lopullinen reseptiikka työohjeineen on taulukossa 6.

Taulukko 6. Pataleivän lopullinen resepti.

Vaihe 1, liuotus	Vaihe 2, raski	Vaihe 3, taikina	Vaihe 4, paisto
139 g vesi, 30 °C	liotettu juuri	raski	PAISTO, 270 °C
33 g kuivajuuri	190 g vehnä jauho	305 g vehnä jauho	20 min + 15 min
	10 g hienosokeri	86 g vesi, 30 °C	
	106 g vesi, 30 °C	7 g hieno merisuola	
<p>1. laita murennettu kuivahapanjuuri taikinakulhoon ja lisää noin 30 asteinen vesi. Liuota juurihippusia niin kauan, kunnes ne ovat täysin liuenneet. Liukenemista voi nopeuttaa kevyellä käsivispauksella.</p>			
<p>2. Sekoita liuenneeseen juuriveteen vehnä jauhot, sokeri ja vesi. Peitä astia kelmulla ja jätä huoneenlämpöön (+21-25 °C) noin 48 tunnin ajaksi. Älä sekoita raskia fermentoitumisen aikana.</p>			
<p>3. Kahden vuorokauden kuluttua, lisää raskiin taikinan vehnä jauhot, vesi ja suola. Voit käyttää joko hienoa tai karkearakenteista suolaa</p>			
<p>Muotoile taikinasta pallo, jauhota taikinapallon ulkopinta. Laita keittiöpöpyhe kohotusastiaan ja jauhota sisäpuoli kauttaaltaan. Laita jauhotettu taikinapallo keittiöpöpyhkeellä vuorattuun kohotusastiaan ja kelmuta astia.</p>			
<p>Kohota taikinaa 12 tunnin ajan huoneenlämmössä (+21-25 °C)</p>			
<p>4. Kuumenna seuraavana päivänä uuni 270 asteeseen ja laita uunipata esikuumenemaan.</p>			
<p>Pyöräytä kohonnut taikina kuumennettuun uunipataan ja laita kansi päälle.</p>			
<p>Paista leipää kannellisessa uunipadassa ensin 25 min, jonka jälkeen ota kansi pois ja kypsennä vielä 10 min.</p>			
<p>Anna kypsän leivän vetäytyä noin tunnin ajan, jonka jälkeen voit leikata siitä siivuja.</p>			

Prosessissa kuivajuuri liuotettiin, jonka jälkeen seokseen sekoitettiin vehnä jauhoa, sokeria ja vettä. Vehnäraskia fermentoitiin huoneenlämmössä ilmatiiviissä astiassa 48 tuntia, jonka jälkeen siihen sekoitettiin suola sekä taikinan loput jauhot ja vesi. Taikinaa ei kuitenkaan vaivattu. Leipätaikina nostettiin kulhoon, jossa oli reilusti jauhotettu keittiöpyyheliina. Kulho peitettiin muovilla, jotta taikinaan lisätty vesi ei pääsisi haihtumaan kohotuksen aikana. Taikinaa kohotettiin yön yli.

Paistoa varten esikuumennettiin sisähalkaisijaltaan 18 cm oleva kannellinen valurautainen uunipata. Leipä siirrettiin kuumaan pataan, kansi laitettiin päälle ja paisto aloitettiin uunin lämpötilan ollessa 270 °C. Leipää paistettiin kannellisessa padassa ensin 25 minuuttia, jonka jälkeen kansi poistettiin ja paistoa jatkettiin vielä 10 minuuttia. Kansi edesauttoi kosteuden pysymistä leivän pinnalla, jolloin kohoaminen mahdollistui paremmin. Kannen poistamisen jälkeen leivän pinta kuivaa, rapeutuu ja se saa väriä. Leipien paistohävikki vaihteli kyseisen reseptin eri kokeissa 12–18 % välillä.

Koko prosessin raaka-ainemäärät grammoina, osuutena kokonaismassasta sekä leipurin prosentein on taulukossa 7. Taulukon perusteella on helppo lähteä muokkaamaan esimerkiksi taikinan kokoa tai raaka-ainesuhteita. Taulukossa on myös nähtävillä kuiva-aineet ja niiden määrät, mitä kuluttajan pataleipäseokseen tarvitaan.

Taulukko 7. Pataleivän raaka-ainemäärät.

Raaka-aineet / koko taikina	Leipurin prosentein, %	Reseptissä, g	Koko taikinan painosta, %
Vehnäjauho	100,0	495	56,5
Vesi	66,8	331	37,8
Kuivajuuri	6,7	33	3,8
Suola	1,4	7	0,8
Sokeri	2,0	10	1,1
Yhteensä	-	876	100

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön päätavoitteena oli luoda kuluttajalle helposti toteutettava pataleipäseos, joka sisältää kuivatettua hapanjuurta. Jotta lopputuotteeseen saatiin toimiva, tasalaatuinen ja aktiivinen hapanjuuri, tuli tuorehapanjuuren aktiivisuutta tutkia fermentaation eri vaiheissa. Selvitystä tehtiin aistinvaraisesti mittalasin avulla, jossa tilavuuden muutoksia pystyttiin havainnoimaan millilitran tarkkuudella. Tilavuuden seurannan avulla saatiin myös ajallista viitettä mikrobien kasvuvaiheiden kestosta. Aistinvaraisen seurannan tuloksia dokumentoitiin yhteensä viideltä eri mittauspäivältä.

Tilavuusseurantojen perusteella todettiin, että maksimitilavuudet eivät olleet eri mittauspäivien välillä yhdenmukaisia. Myös maksimitilavuuden ajallisessa saavuttamisessa oli hajontaa vaihtelevien olosuhdelämpötilojen vuoksi. Lämpötilojen vaihtelussa kuitenkin huomattiin, että ilman lämpötilalla on merkittävä vaikutus nopeuteen, jolla hapanjuuri saavuttaa maksimitilavuuden. Sen sijaan maksimitilavuuden määrään lämpötilalla ei havaittu olevan suoraa vaikutusta.

Aistinvaraisen tilavuusseurannan jälkeen mikrobien kasvuvaiheita todennettiin pH:n ja happoluvun avulla. Alkuoletuksena oli, että fermentaation kehittyessä mikrobimäärä kasvaa, jolloin näyte happamoituu ja happoluku nousee. Mittauspäivän pH- ja happolukumittauksia tehtiin eri ruokintasuhteen omaaville näytteille tunnin välein, kunnes tilavuuden kasvu oli aistinvaraisesti arvioituna joko pysähtynyt tai ensimmäisestä ruokinnasta oli kulunut 12 tuntia.

Tulokset happoluvun osalta olivat loogisia ja odotusten mukaisia. Sen sijaan pH:ssa tapahtui jokaisen ruokintasuhteen kohdalla muutospiikki, jossa näyte muuttui happamasta hieman neutraalimmaksi. Muutospiikit tapahtuivat, kun hapanjuurien ruokinnasta oli kulunut kuusi tuntia. Tämän jälkeen näytteet jatkoivat happamoitumista.

Edeltävien seurantojen ja mittaustulosten pohjalta valittiin mikrobipitoisuuksiltaan aktiivisin ruokintasuhte, josta kuivatettiin kuivahapanjuurierä. Erään päädyttiin käyttämään tuorehapanjuurta, jonka ruokintasuhte oli 1:3:3 eli yksi osa tuorehapanjuurta, kolme osaa vehnä jauhoa ja kolme osaa vettä. Kuivatettavia eriä otettiin aktiivisen tuorehapanjuuren fermentaation eri ajanhetkiltä, jotta saatiin selville hapanjuuren fermentointivaiheiden vaikutus kuivajuuren mikrobipitoisuuksiin.

Eri fermentaation ajanhetkiltä otetuille kuivajuurierille tehtiin herätysruokinnat, jossa olosuhteet pyrittiin pitämään maitohappobakteereille suotuisina. Myös hapanjuuren nestepitoisuuden kiinnitettiin huomiota fermentoitumisnopeuden vuoksi. Herätysruokinnassa fermentaation käynnistymistä seurattiin aistinvaraisesti ja tilavuuden muutoksia havainnoitiin mittalasin avulla. Tilavuuksia ja tilavuuksien muutosnopeutta havainnoimalla huomattiin, että fermentaation loppuvaiheella kuivattu hapanjuuri oli herätysruokinnassa aktiivinen ja sen tilavuuden kasvu alkoi nopeasti.

Herätysruokinnan jälkeen hapanjuurille tehtiin toinen ruokinta, jossa analysoitiin mikrobimuutoksia pH:n ja happoluvun avulla. Analyysitulokset tukivat aistinvaraista havaintoa siitä, että fermentaatiossa myöhemmin kuivattu erä fermentoitui nyt nopeammin verraten näytteisiin, jotka kuivattiin tuorehapanjuuren fermentaation alkuvaiheissa.

Tutkimuksessa selvitettiin myös säilytysajan vaikutusta kuivatun hapanjuuren tasalaatuisuuteen ja toimivuuteen. Kuivajuurella leivottiin kahden viikon välein kolmen kuukauden ajan. Tutkimuksissa ei havaittu muutoksia hapanjuuren toimivuudessa tai leivän tasalaatuisuudessa. Voitiin siis todeta, että kyseinen kuivatettu hapanjuuri säilyy leivonnassa toimintavarmana ja tasalaatuisena vähintään kolmen kuukauden ajan.

Opinnäytetyön päätavoitteena oli luoda kuluttajalle kuivajuurta sisältävä kuiva-aineseos pataleivän valmistamiseen. Leivän tuotekehityksessä edettiin siten, että aluksi luotiin helpoin toimintamalli, jossa kuluttajan tulisi sekoittaa vain vesi valmiiseen kuiva-aineseokseen. Kuivajuurirouheen käyttö sellaisenaan suoraan leipätaikinaan koettiin kuitenkin haastavaksi, sillä hapanjuuri ei liennut täysin ja tämän vuoksi kohoaminen jäi hyvin vähäiseksi tai sitä ei tapahtunut lainkaan. Mikäli kohotusaikaa lisäsi, se vaikutti taikinan käsiteltävyyteen ja aistinvaraisiin ominaisuuksiin heikentävästi.

Pitkää fermentointia pyrittiin lyhentämään liuottamalla hapanjuuri etukäteen ja lisäämällä sakkaroosi leipätaikinan raaka-aineisiin. Taikinaa kohotettiin 12 tunnin ajan. Toimenpiteet lisäsivät fermentoitumisnopeutta, mutta kohoaminen jäi silti vähäiseksi ja paistetun leivän rakenne koettiin alikehittyneeksi.

Koetaikinoiden osalta todettiin, että toimintavarmin lopputulos saadaan ruokkimalla kuivajuuri kertaalleen ennen leipätaikinan sekoitusta. Tällöin kuivajuuri liotettiin ja se ruokittiin kertaalleen sokeri-vehnäjauhoseoksella. Vehnäraskin annettiin fermentoitua 48 tunnin ajan, jonka jälkeen tehtiin leipätaikina. Taikinaa kohotettiin 12 tuntia. Tämän tyyppisiä koetaikinoita tehtiin kuusi. Taikinakokeet ja kypsät leivät koettiin onnistuneiksi.

Tässä työssä raaka-ainemäärät muodostuivat grammoista. Kuluttajaohjeen osalta tulee kuitenkin pohtia, olisiko reseptissä parempi ilmaista raaka-ainesuhteet tilavuusmittoina kuin grammoina. Jatkokehitystä ajatellen myös taikinän prosessia ja aikataulusta voisi hioa yhä lyhyemmäksi siten, että se olisi toteutettavissa viikonlopun aikana. Tämä saattaa edellyttää kuivajuuren määrän lisäämistä, joka tuo luultavasti makuprofiiliin enemmän happamuutta.

Mikäli pataleipäseosta lähtee kehittämään isompaan mittakaavaan, voisi kuivajuuren säilyvyyttä tutkia myös mikrobiologisessa mielessä ja analysoida, tapahtuuko mikrobikannoissa muutoksia säilytysajan pidentyessä. Jatkotutkimuksissa myös selvittää eri eksogeenisten tekijöiden vaikutusta mikrobi- ja hiivakantoihin. Tunnistamalla eri tekijöiden vaikutukset kantojen muuttumiseen, voitaisiin hapanjuurta ylläpitää siten, että se pysyisi mahdollisimman samankaltaisena ja tasalaatuisena vuodenajasta toiseen.

Hapanjuureen kohdistuvia tutkimuksia ja selvityksiä haastavat mikrobiston jatkuvat muutokset. Olosuhteet tulisi pystyä vakioimaan niin hyvin, että ulkoisten muuttujien vaikutukset hapanjuuren käyttäytymiseen voisi sulkea pois. Isot leipomot käyttävät usein esimerkiksi tiettyjä maitohappobakteerikantoja tai lisättyjä entsyymejä, hapatteita tai muita vastaavia ainesosia tukemaan hapanjuuren toimintaa luoden tasalaatuisia tuotteita kauppojen hyllyille. Mikäli toimija haluaa käyttää luonnonmukaisesti valmistettua hapanjuurta ja siihen pohjautuvaa lopputuotetta, vaatii prosessi ajallista sitoutuneisuutta ja kykyä pitää eksogeenisten olosuhteiden lisäksi myös endogeeniset muuttajat mahdollisimman pieninä. Tässä työssä tehdyt tutkimukset, vaihtelevat tulokset ja havainnot toivat siis ymmärrystä esimerkiksi lisähapatteiden käyttöön.

LÄHTEET

- Airaksinen, L. 2009. Kaura ja keliakia – kauraperäisten molekyylien hyödyt ja haitat in vitro. [Verkkojulkaisu]. Tampere: Tampereen yliopisto. Lääketieteellisen teknologian instituutti. Pro gradu -tutkielma. [Viitattu 30.6.2021]. Saatavana: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/80928/gradu03802.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cargill. Ei päiväystä. Wheat. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.2.2022]. Saatavana: <https://www.cargill.com/food-beverage/emea/wheat-protein>
- Chavan, R. & Chavan, S. 6.4.2011. Sourdough Technology—A Traditional Wayfor Whole-some Foods: A Review. Comprehensive reviews in food science and food safety. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 26.9.2021]. Saatavana EBSCOhost Ebooks -tietokannasta Vaatii käyttöoikeuden.
- Crosby, G. Ei päiväystä. Explaining Gluten. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 9.6.2021]. Saatavana: <http://www.cookingscienceguy.com/pages/wp-content/uploads/2012/07/Explaining-Gluten.pdf>
- Eurofins. Ei päiväystä. Akryyliamidi. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.10.2021]. Saatavana: <https://www.eurofins.fi/elintarvikkeet-ja-rehut/elintarvikeanalyysit/organiset-vierasaineet/akryyliamidi/>
- Glezer, M. Ei päiväystä. Salt In Bread Dough. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.6.2021]. Saatavana: <https://www.cargill.com/salt-in-perspective/salt-in-bread-dough>
- Hansen, Å, Josephs, J. & Stanfield, P.S. 2004. Handbook of food and beverage fermentation technology. Marcel Dekker AG.
- Hopia, A & Fooladi, E. 2017. Hyppysellinen tiedettä. Helsinki: Gaudeamus Oy.
- Hopia, A. 21.4.2014. Leipä eli jauhon metamorfoosi. [Blogikirjoitus]. [Viitattu 8.6.2021]. Saatavana: <https://molekyyli gastronomia.fi/leipa-eli-jauhon-metamorfoosi/>
- Hui, Y. H., Evranuz, E. Özgül, Arroyo-Lopez, F.N., Fan, L., Hansen, Å.S., Jaramillo-Flores, M.E., Rakin, M., Schwan, R.F. & Zhou W. 2012. Handbook of plant-based fermented food and beverage technology. 2. painos. Taylor & Francis Park.
- Juvonen, R. Nohynek, L, Storgårds, E, Wirtanen, G, Honkapää, K, Lyijynen, T, Morkkila, M & Haikara, A. 2001. Hiivakontaminaatioiden hallinta elintarviketeollisuudessa. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.2.2022]. Saatavana: https://www.researchgate.net/publication/274698413_Hiivakontaminaatioiden_hallinta_elintarviketeollisuudessa_Kirjallisuusselvitys

- Kimbell, V. 2017. *The sourdough school*. Lontoo: Kyle Books.
- Kuusela, E. 2018. *Leipävallankumous: Hapanjuuren paluu*. Hyvinkää: Readme.
- Kuusela, E. Ei päiväystä. Selkeä opas hapanjuurileivontaan. Leipäpaja. Verkkokurssi. [Viitattu 30.6.2021]. Saatavana Leipäpajan sivuilta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Landis, E. 11.1.2018. Get to know your sourdough yeast. [Verkkoartikkeli]. *Bread & Grains*. [Viitattu 22.2.2022]. Saatavana: <https://microbialfoods.org/yeast-profiles/>
- Lankinen, P, Savin, A & Timonen, S. Ei päiväystä. Amylaasi ja tärkkelyksen hydrolyysi. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.2.2022]. Saatavana: <https://blogs.helsinki.fi/biopop-keskus/files/2015/11/Amylaasi.pdf>
- Leivän raaka-aineet. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Leipätiedotus. [Viitattu 8.6.2021]. Saatavana: <https://www.leipatiedotus.fi/tietoa-leivasta/leipa-elintarvikkeena/leivan-valmistus/leivan-raaka-aineet.html>
- LUVYLab. 30.11.2021. Testausseloste. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.1.2022]. Saatavana: https://www.vihti.fi/wp-content/uploads/2021/12/2021-4101-1-9535_6_ALIH.pdf
- Meira. 3.6.2020. Raaka-aineet ja niiden merkitys. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.3.2022]. Saatavana: <https://meira.fi/raaka-aineet-ja-niiden-merkitys/>
- Remadnia, M., Kachi, M., Messal, S., Oprean, A., Rouau, X. & Dascalescu, L. 11.5.2015. Electrostatic Separation of Peeling and Gluten from Finely Ground Wheat Grains. [Verkkolehtiartikkeli]. *Particulate Science and Technology* 32 (2015), 608-615. [Viitattu 22.4.2022]. Saatavana: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02726351.2014.943379>
- Mustonen, R, Manner, H, Katina, K. Väisänen, P. 2015. *Ruisvoimaa*. Helsinki: Maahenki Oy.
- Opetushallitus. Ei päiväystä. Mitta-analyysi eli volumetria. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.9.2021]. Saatavana: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_4_mitta-analyysi_eli_volumetria.html
- Peter, J., Chiara, M., Friedrich, A., Yue, J-X., Pflieger, D., Bergström, A., Sigwalt, A., Barre, B., Freel, K., Llored, A., Cruaud, C., LAbadie, K., Aury, J-M., Istace, B., Ledrigand, K., Barby, P., Engelen, S., Lemainque, A., Wincker, P., Liti, G. & Schacherer, J. 11.4.2018. Genome evolution across 1,011 *Saccharomyces cerevisiae* isolates. [Verkkolehtiartikkeli]. *Nature* 556 (2018), 339–433. [Viitattu 12.9.2021]. Saatavana: <https://tekniikanmaailma.fi/tutkimus-paljasti-kaikki-leivinhiiva-on-lahtoisin-kiinasta-hiivayhteisossa-ollaan-tasta-melko-innoissaan/>

- Piispanen, T. 2012. Vehnäraski: ominaisuudet ja vaikutukset vehnäleipään sekä tuotteen säilyvyyteen. [Verkkojulkaisu]. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, biotiede. Pro Gradu. [Viitattu 29.9.2021]. Saatavana: https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/12072/urn_nbn_fi_uef-20130153.pdf
- Proteiinit. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Leipätiedotus. [Viitattu 10.7.2021]. Saatavana: <https://www.leipätiedotus.fi/leipa-ravitsemuksessa/mita-viljatuotteista-saa/proteiinit.html>
- Ruokatieto. Ei päiväystä. Vesi. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.6.2021]. Saatavana: <https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/lupa-kokata-elintarvikehygienian-perusteet/mikrobiologia/vesi>
- Ruokavirasto. 20.11.2019. Akryyliamidi. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.10.2021]. Saatavana: <https://www.ruokavirasto.fi/yriykyset/elintarvikeala/valmistus/yhteiset-koostumusvaatimukset/kontaminantit/akryyliamidi/>
- Ruokavirasto. 2021. Viljaseula: kotimaisen viljasadon laatuseuranta 2020. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.2.2022]. Saatavana: https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/julkaisut/julkaisusarjat/julkaisuja/kasvit/julkaisuja_1_2021.pdf
- Salovaara, H., Ignatius, A, Jussila, A. & Hurri-Martikainen, M. 2017. Leivonnan teknologia. Helsinki: Suomen Leipuriliitto.
- Seinäjoen Energia. 2022. Tietoa vedestä. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.1.2022]. Saatavana: <https://seinajoenenergia.fi/vesi/tietoa-vedesta/>
- Struyf, N., Van der Maelen, E., Hemdane, S., Verspreet, J., Verstrepen, K. & Courtin, C. 28.7.2017. Bread Dough and Baker's Yeast: An Uplifting Syn-ergy. Comprehensive Reviews In Food Science and Food Safety. [Verkkoartikkeli]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 16 (2017), 850-868. [Viitattu 16.5.2021]. Saatavana EBSCOhost Ebooks -tietokannasta Vaatii käyttöoikeuden.
- Suomen hiiva. Ei päiväystä. Hiivalla hyvää. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 1.10.2021]. Saatavana: https://www.suomenhiiva.fi/wp-content/themes/suomenhiiva/images/Hiivalla_Hyvaa_web.pdf
- Viljan laatukriteerit. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Leipätiedotus. [Viitattu 23.2.2022]. Saatavana: <https://www.leipätiedotus.fi/tietoa-leivasta/pelloilta-poytaan/viljan-laatukriteerit.html>
- Wood, B.J, Hammes, W.P.& Gänzle, M.G. 1998. Microbiology of fermented foods. [Verkkokirja]. Blackie Academic and Professional, ans imprinf of Thomson Science. [Viitattu 29.9.2021]. Saatavana EBSCOhost Ebooks -tietokannasta. Vaatii käyttöoikeiden.

LIITTEET

Liite 1. Jauhojen analyysitulokset NIR-laitteella

Liite 2. Hapanjuuren maksimitilavuudet eri tutkimuspäivinä

Liite 3. Pataleivän koereseptit

Liite 1. Jauhojen analyysitulokset NIR-laitteella

	Kosteus, %	Proteiini, %	Tuhka, %	Kuiva gluteeni, %	Märkä gluteeni, %
	12,2	11,6	0,65	9,3	27,91
	12,16	11,62	0,67	9,26	27,87
	12,32	11,58	0,65	9,3	28,1
	11,96	11,43	0,64	9,14	27,36
	12,04	11,52	0,63	9,19	27,66
	12,01	11,4	0,63	9,08	27,32
	12,02	11,42	0,65	9,14	27,32
	12,09	11,47	0,64	9,18	27,35
ka	12,10	11,51	0,65	9,20	27,61
s	0,12	0,09	0,01	0,08	0,32

Liite 2. Hapanjuuren maksimitilavuudet eri tutkimuspäivinä

Ruokintasuhde 1:1:1			
Ilman lämpötila	Tutkimuspäivä	Tilavuuden kasvun huippu ajanhetkellä, h	% -maksimikasvu
20–21 °C	19.9.	15	80 %
21–22 °C	24.9.	10	72 %
21–23 °C	10.10.	8	94 %
21–23 °C	17.10.	9	68 %
22–24 °C	30.10.	8	56 %
Vaihteluväli		7 h	38 % -yksikköä

Ruokintasuhde 1:2:2			
Ilman lämpötila	Tutkimuspäivä	Tilavuuden kasvun huippu ajanhetkellä, h	% -maksimikasvu
20–21 °C	19.9.	17	105 %
21–22 °C	24.9.	9	89 %
21–23 °C	10.10.	12	95 %
21–23 °C	17.10.	12	46 %
22–24 °C	30.10.	8	44 %
Vaihteluväli		9 h	61 % -yksikköä

Ruokintasuhde 1:3:3			
Ilman lämpötila	Tutkimuspäivä	Tilavuuden kasvun huippu ajanhetkellä, h	% -maksimikasvu
20–21 °C	19.9.	18	74 %
21–22 °C	24.9.	9	129 %
21–23 °C	10.10.	11	112 %
21–23 °C	17.10.	12	43 %
22–24 °C	30.10.	9	133 %
Vaihteluväli		9 h	86 % -yksikköä

Ruokintasuhde 1:4:4			
Ilman lämpötila	Tutkimuspäivä	Tilavuuden kasvun huippu ajanhetkellä, h	% -maksimikasvu
20–21 °C	19.9.	18	97 %
21–22 °C	24.9.	15	77 %
21–23 °C	10.10.	12	103 %
21–23 °C	17.10.	13	42 %
22–24 °C	30.10.	9	127 %
Vaihteluväli		9 h	85 % -yksikköä

Ruokintasuhde 1:5:5			
Ilman lämpötila	Tutkimuspäivä	Tilavuuden kasvun huippu ajanhetkellä, h	% -maksimikasvu
20–21 °C	19.9.	19	80 %
21–22 °C	24.9.	19	81 %
21–23 °C	10.10.	13	80 %
21–23 °C	17.10.	12	56 %
22–24 °C	30.10.	9	121 %
Vaihteluväli		10 h	65 % -yksikköä

Liite 3. Pataleivän koereseptit

Resepti 1

8.1. klo 9	8.1. klo 14	9.1. klo 14	9.1. klo 20
35 g vesi, 30 °C	liotettu juuri	edellisen päivän	PAISTO, 270 °C 20 min + 20 min
10 g kuivajuuri	50 g vehnä jauho	raski	
	3 g hienosokeri	50 g vehnä jauho	
	27 g vesi, 30 °C	22 g vesi, 30 °C	
		2 g hieno merisuo	
Havainnot: kypsän leivän rakenne antaa viitteitä alikehittyneestä taikinasta.			
Taikinan kohoaminen ennen paistoa 27 %			
Taikinan kokonaispaino: 199 g. Paistohävikki 32 %			

Resepti 2

15.1. klo 9	15.1. klo 14	16.1. klo 14	
35 g vesi, 30 °C	liotettu juuri	edellisen päivän	
15 g kuivajuuri	50 g vehnä jauho	raski	
	3 g hienosokeri	50 g vehnä jauho	
	30 g vesi, 30 °C	22 g vesi, 30 °C	
		2 g hieno merisuola	
Tavoite: seurata taikinan kohoamista ja kehittymistä. Ei paistoa.			
Taikinan kohoaminen 11 h aikana 38 %			
Enemmän kuivajuurta--> suurempi nesteen tarve			

Resepti 3

31.1. klo 14	31.1. klo 19	2.2. klo 19	3.2. klo 9
35 g vesi, 30 °C	liotettu juuri		PAISTO, 270 °C 20 min + 20 min
10 g kuivajuuri	50 g vehnä jauho	valmistettu raski	
	3 g hienosokeri	60 g vehnä jauho	
	27 g vesi, 30 °C	22 g vesi, 30 °C	
		2 g hieno merisuo	
Tavoite: seurata taikinan kohoamista ja kehittymistä.			
Huom! Raskin pidempi fermentoitumisaika (48 h)			
Taikinan kohoaminen 9,5 h aikana 60 % / kohoaminen 11 h aikana 90 %			
Kypsän leivän rakenne hyvä, maku ei hapan. Pinta tummunut. Paksu kuori.			
Taikinan kokonaispaino 209 g. Paistohävikkiä ei laskettu.			

Resepti 4			
10.2. klo 16	10.2. klo 20	12.2. klo 19	13.2. klo 8:30
139 g vesi, 30 °C	liotettu juuri		PAISTO, 270 °C 20 min + 15 min
33 g kuivajuuri	149 g vehnä jauho	valmistettu raski	
	10 g hienosokeri	235 g vehnä jauho	
	106 g vesi, 30 °C	86 g vesi, 30 °C	
		7 g hieno merisuo	
Havainnot: kypsän leivän rakenne ok. Maku ei hapan.			
Täysikokoisen leivän taikina. Taikinän raakapaino 765 g. Paistohävikki 18 %			
Taikinalla hieman huono käsiteltävyys/muoltoiltavuus			
Resepti 5			
16.2. klo 16	16.2. klo 20	18.2. klo 19	19.2. klo 8:30
139 g vesi, 30 °C	liotettu juuri		PAISTO, 270 °C 20 min + 15 min
33 g kuivajuuri	190 g vehnä jauho	valmistettu raski	
	10 g hienosokeri	305 g vehnä jauho	
	106 g vesi, 30 °C	86 g vesi, 30 °C	
		7 g hieno merisuo	
Havainnot: kypsän leivän rakenne tavoitteiden mukainen. Maku ei hapan.			
Taikinän raakapaino 875 g. Paistohävikki 14 %			
Rakenne erinomainen. Isot, tasalaatuiset ilmahuokokset. Hyvä maku, ei hapan. Rapea kuori, joka voisi olla ohuempi			
Resepti 6			
23.2. klo 16	23.2. klo 20	25.2. klo 19	26.2. klo 8:30
104 g vesi, 30 °C	liotettu juuri	raski	PAISTO, 270 °C 20 min + 15 min
25 g kuivajuuri	141 g vehnä jauho	227 g vehnä jauho	
	8 g hienosokeri	65 g vesi, 30 °C	
	79 g vesi, 30 °C	5 g hieno merisuo	
Havainnot: kypsän leivän rakenne tavoitteiden mukainen. Maku ei hapan.			
Toimeksiantajan reseptin mukainen taikinapaino, 660 g. Paistohävikki 11 %			
Rakenne hyvä. Tasalaatuiset ilmahuokokset. Hyvä maku, ei hapan. Rapea kuori, joka voisi olla ohuempi.			