



## **Haputainaleib üheteranisujahust ja selle omadused**

Bakalaureusetöö

Üliõpilane: Airi Männamaa

Üliõpilaskood: 214353LAAB

Juhendaja: Kaarel Adamberg, Tallinna Tehnikaülikool, vanemteadur

Kaasjuhendaja: Signe Adamberg, Tallinna Tehnikaülikool, vanemteadur

Õppekava: Rakenduskeemia ja geenitehnoloogia, toidutehnoloogia spetsialiseerumine

Tallinn 2025

## **Autorideklaratsioon**

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Airi Männamaa  
[allkiri ja kuupäev]

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

Juhendajad: Kaarel Adamberg ja Signe Adamberg  
[allkiri ja kuupäev]

Töö on lubatud kaitsmisele.

Kaitsekomisjoni esimees: [nimi]  
[allkiri ja kuupäev]

## Sisukord

Lühendid.....	5
Sissejuhatus.....	6
1. Kirjanduse ülevaade.....	7
1.1. Haputainas.....	7
1.1.1. Haputaina fermentatsioon.....	7
1.2. Haputaina eksogeensed ja endogeensed tegurid.....	7
1.2.1 Haputaina eksogeensed tegurid.....	8
a) Juuretis ja tainas.....	8
b) Temperatuur.....	9
c) Sool.....	9
d) Suhkur.....	9
1.1.2. Haputaina endogeensed tegurid.....	10
a) Teravilja tärkliis.....	10
b) Teravilja valgud.....	10
c) Teravilja tuhained.....	11
d) Piimhappebakterid.....	11
e) Pärmid.....	12
1.2. Haputainaleib täisteraviljadest – biokättesaadavuse parandamine.....	13
1.3. Üheteranisus.....	13
2. Töö eesmärk.....	15
3. Katseline osa.....	15
3.1. Materjalid.....	15
3.2. Metoodika.....	15
4. Tulemused ja arutelu.....	19
4.1. Järeldused.....	25

Kokkuvõte.....	26
Tänuavaldused.....	27
Kasutatud kirjanduse loetelu--.....	28
Annotatsioon.....	31
Abstract.....	32
Lisa 1. Mõõdetud taina väljatulek, kaal ja erimaht.....	33
Lisa 2. Arvutatud jahu orienteeruvad koostisosade sisaldused leivapätsis.....	33
Lisa 3. Mõõdetud pH väärtuse.....	33
Lisa 4. Arvutatud FQ väärtused.....	33
Lisa 5. Mõõdetud glükoosi, etanooli, atsetaadi ja laktaadi kontsentratsioonid.....	34
Lisa 6. Organoleptiliste omaduste kirjeldavad võrdluskatsed.....	35
Lisa 7. Dallmann Porentabelle tabel poorsuse hindamiseks.....	36
Lisa 8. Tekstuuri profiilianalüüs.....	37
Lisa 9. Kõvaduse ja taastuvuse ajaline muutus.....	37
Lisa 10. Kõvaduse ja elastsuse väärtused korreleeruvad.....	38
Lisa 11. Poster „Baking properties of einkorn wheat grown in Estonia“ .....	39

## Lühendid

METK – Maaelu Teadmuskeskus

LAB – piimhappebakterid (*Lactic Acid Bacteria*)

FQ – fermentatsioonisuhe (*Fermentation Quotient*)

LA – piimhape (*Lactic Acid*)

AA – äädikhape (*Acetic Acid*)

HPLC – kõrgsurve-vedelikkromatograaf (*High Pressure Liquid Chromatograph*)

TPA – tekstuuriprofiili analüüs (*Texture Profile Analysis*)

NJ – nisujahu

RJ – rukkijahu

SJ – speltajahu

ÜJ – üheteranisujahu

## Sissejuhatus

Kuni 20-nda sajandi alguseni valmistati toit talu enda majapidamissaadustest, kusjuures kõige tähtsamaks toiduks peeti leiba. Traditsiooniliselt on küpsetatud eesti kodudes hapendatud rukkileiba.

Üheteranis on üks „muistsetest“ nisuliikidest koos speltanisu, emmeri ja Khorasani nisuga. Tegemist on muutumatuna säilinud sordiga, mis jäi pronksiajal tahaplaanile teiste, suuremate viljakusega „moodsate“ nisuliikide kõrval. Üheteranis taasavastamine on johtunud eelkõige tema suuremast toitainelisest sisaldusest ja teistsugusest gluteenisisaldusest hariliku nisuga võrreldes. Üheteranisujahu ei käitu pagaripärmi sisaldavate retseptide kasutamisel nisu- ja speltajahuga sarnaselt, mistõttu pakub traditsiooniline haputainaleiva tehnoloogia kasutamise siinjuures head alternatiivi.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli valmistada üheteranisujahust haputainas ja küpsetada haputainaleib. Määrata taina hapnemise erinevatel etappidel ning leivast pH ja orgaanilised happed. Viia läbi leiva sisu tekstuuri profiilianalüüs ja kirjeldada leiva organoleptilisi omadusi küpsetamise päeval ja säilitamise seitsmendal päeval. Võrrelda saadud tulemusi nisujahust, rukkijahust ja speltajahust haputainaste- ja leibadega.

# 1. Kirjanduse ülevaade

## 1.1. Haputainas

Fermenteeritud toidud on olnud olulise tähtsusega inimeste tervisele juba sajandeid ja neid on ohutu tarvitada. Fermenteerimine parandab toiduaine säilivust ja sensoorseid omadusi. Praeguseks ajahetkeks fermenteeritakse tööstuslikult erinevaid tooraineid nagu liha, sojaoad, puuviljad, köögiviljad, kala ja piima käsikäes biotehnoloogiliste arengutega. (Raj jt, 2021)

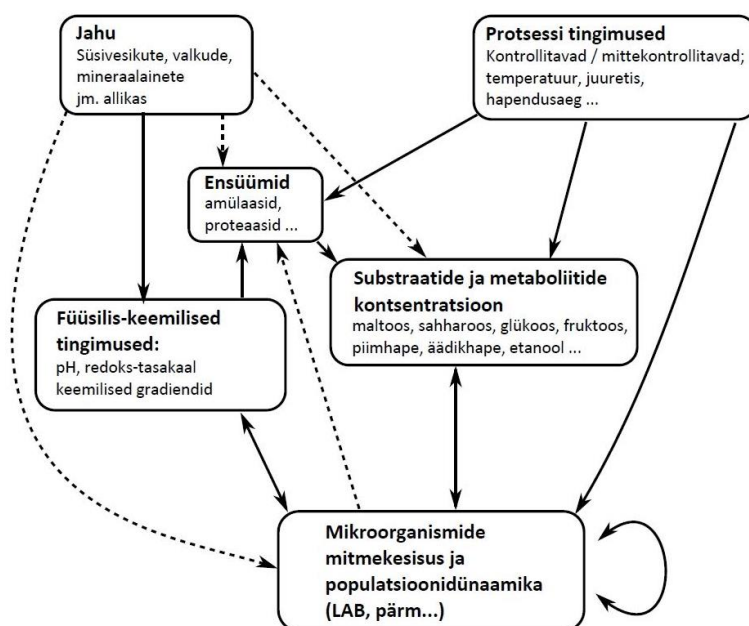
Haputainast kirjeldatakse kui segu jahust ja veest, mis on fermenteerunud piimhappebakterite ja pärmide poolt, omades hapustamis- ja hapendamisvõimet (Arora jt, 2021). Taina, jahu ja vee segu fermenteerimine annab iseloomuliku „hapu“ maitse, seepärast räägitakse „haputainast“. Happesus on haputainale iseloomulik parameeter, mis võib varieeruda olenevalt taina koostisosadest ja fermentatsioonitingimustest. (Arora & Di Cagno, 2024)

### 1.1.1 Haputaina fermentatsioon

Haputaina mikroobide ainevahetus ja teravilja ensüümide aktiivsus on omavahel seotud (Gänzle, M.G., 2014). Haputaina fermentatsioonil vastutavad ensüümid mitmete biokeemiliste reaktsioonide eest. Osad ensüümid on olemas teraviljas, enamus aga toodetakse mikroorganismide poolt. (Akamine jt, 2023) Täisterajahud ja teised haputaina koostisosad ei ole kunagi steriilsed, seetõttu on spontaanse fermentatsiooni mikrobiota üpris kompleksne. Fermenteerimise protsessis osalevad piimhappebakterid (LAB-id) ja pärmid on piirkonnapõhised kuna nad on mõjutatud ökoloogilistest teguritest. (Martin-Garcia jt, 2021) Fermenteerimisel toimub piimhappebakterite ja pärmide vahel: mutualism, kommensalism, neutralism, konkurents ja amensalism (Yan jt, 2024).

## 1.2. Haputaina eksogeensed ja endogeensed tegurid

Kaks peamist faktorit eristavad haputaina protsesse tavatavate protsessidest. Esiteks, LAB-ide olemasolu ja teiseks fermentatsiooni aeg (hapendusaeg) (Gänzle, M.G., 2014). Joonisel 1 on skemaatiliselt esitatud jahus sisalduvad toitained, mikroorganismid ning muud tegurid, mis määravad protsessid haputainas ning sdava haputainaleiva omadused (De Vuyst jt, 2017):



Joonis 1. Protsessid haputainas

## 1.2.1. Haputaina eksogeensed tegurid

### a) Juuretis ja tainas

Juuretise põhiselt klassifitseerides on võimalik valmistada kolme tüüpi haputainast, sõltuvalt juuretisest ja soovitud hapuleiva lõpp-omadustest (tüübid 1, 2 ja 3). Tüüp 2 ja 3 puhul kasutatakse LAB starterkultuure. (De Vuyst jt, 2021)

Tüüp 1 tainaid iseloomustab jahu-vee segu fermenteerimine läbi traditsioonilise igapäevase taina uuendamise, et hoida haputaina LAB-id ja pärmid mikrobioloogiliselt aktiivsetena. Selline fermentatsioon võtab aega pea ühe nädala ja kõige sagedamini tuvastatud LAB-id on: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus sanfranciscensis* ja *Wisella cibaria* ning pärmid *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida humilllis* ja *Kazachstania exigua*. (Siepmann jt, 2018; De Vuyst jt, 2021)

Valmistamise protsessi põhiselt klassifitseerides on võimalik valmistada nelja tüüpi haputainast (tüübid 0, I, II ja III). Tüüp 0 puhul lisatakse juurde pagaripärmi ja sellest valmistavat leiba ei arvestata haputainaleivaks. Tüüpide II ja III puhul kasutatakse LAB starterkultuure. (De Vuyst jt, 2021)

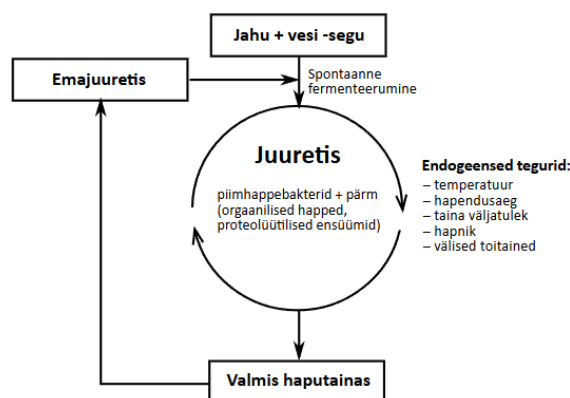
Üldiselt, iseloomustab traditsioonilist haputainast (tüüp I) regulaarne taina uuendamine eesmärgiga saavutada mikroorganismide poolt täistera komponente substraadina kasutades selline hapendamisvõime, mis tagab taina kiire kerkimise nii, et puudub vajadus lisada juurde pagaripärmi (Gänzle & Gobbetti, 2023). Traditsioonilise haputaina protsess sõltub taina uuendamise tehnoloogiast (Pérez-Alvarado jt, 2022; De Vuyst jt, 2021):

- inkubatsioon madalatel temperatuuridel, 20-30 °C
- regulaarne taina uuendamine, uue jahu-vee segu partii lisamine emajuuretiselt saadud juuretisele või emajuuretisele
- hoides madalat taina väljatuleku väärtust, taina väljatulek < 200%
- hapendusaeg on 6-24 h, et jõuda pH väärtuseni kuni ligikaudu 4

Sellistes tingimustes on eranditult teravilja substraadides kiirelt kasvavate liikidena tuvastatud *Lactobacillus plantarum* ja *Lactobacillus sanfranciscensis* (Gänzle & Gobbetti, 2023). Emajuuretise stabiilsuse määravad jahu tüüp, selle ensümaatilised, toitainelised ja tekstuuri andvad omadused (Pérez-Alvarado jt, 2022).

Spontaanne juuretis saab alguse nullist – jahust ja veest, joonis 2 (Pérez-Alvarado jt, 2022). Kodus kasvatatud juuretist (*artisan*) iseloomustatakse kui defineerimata juuretist.

Traditsioonilise haputaina pH on vahemikus 3,5-4,5 (Martin-Garcia jt, 2023).



Joonis 2. Spontaanse juuretisega haputainas

Taina väljatulek arvutatakse valemi abil: 
$$\text{taina väljatulek} = \frac{\text{tainas (jahu+vesi)}[g] * 100\%}{\text{jahu}[g]}$$

Leivapätsi erimaht arvutatakse valemi abil: 
$$\text{leivapätsi erimaht} = \frac{\text{üldmaht [cm}^3\text{]}}{\text{kaal [g]}}$$



Haputaina mikroobikoosluse mitmekesisus korreleerub juuretise tsüklite arvuga. *Lactobacillus plantarum* ja *Lactobacillus sanfranciscensis* on ülekaalus alates kümnendast uuendamise tsükli päevast kuna neil on suurim kohanemisvõime ja vastupanu sellisele protsessile. Liigid, nagu *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus paralimentarius*, *Lactobacillus fermentum* ja *Lactobacillus casei* omavad madalat keskkonnaga kohanemisvõimet juba pärast paari taina uuendamise tsükli. (Hernandez-Figueroa jt, 2024)

## **b) Temperatuur**

Temperatuur on üks peamisi faktoreid mis mõjutab mikroobide kooslust, kuna igal liigil on oma optimaalne temperatuurivahemik. Madalamad temperatuurid omavad positiivset efekti pärmide kasvule, mis suurendab etanooli, CO<sub>2</sub> ja lõhna- ja maitsekomponentide moodustumist. Kõrgemad temperatuurid,  $\geq 30$  °C, soodustavad LAB-ide metabolismi, suurendades hapuleiva happesust. (Martin-Garcia jt, 2023)

## **c) Sool**

Soolal on otsene efekt mikrobioloogilisele ökosüsteemile. Soola liiga kõrge kontsentratsioon inhibeerib paljude mikroorganismide kasvu. Pärmid üldiselt taluvad madalat vee aktiivsust või suuremat osmootset rõhku paremini kui LAB liigid. Sool mõjutab positiivse laenguga gluteniini valke andes tugevama haputaina- ja leiva. (De Vuyst jt, 2021)

## **d) Suhkur**

Suhkru lisamine tainale mõjutab ennekõike leiva maitset ja värvust – sealhulgas muudab kooriku pruunimaks. Aga on täheldatud ka kantserogeensete ühendite, nt akrüülamiid, ning antioksidantide moodustumist. Kooriku pruun värvus kujuneb kahte tüüpi protsessides: Maillard'i reaktsioon ja karamelliseerumine. Maillard'i reaktsioon algab suhkru (nt glükoosi) ühinemisega valgus/aminohappes sisaldava ühendiga (glükoosi puhul moodustub glükosüülamiin) mis kujuneb ümber ja degradeerub erinevateks ühenditeks sõltuvalt keskkonna pH-st. Nii madalama kui kõrgema pH juures moodustuvad lõpuks pruuni värvi ühendid nagu melanoidiinid. Karamelliseerumine toimub kui suhkru temperatuur ületab 120 °C ja see sisaldab terve ahela keemilise reaktsioone. Küpsetamisel võivad nii tärklis kui ka suhkur hüdrolyüsida ja järgnevalt osaleda nii Maillard'i reaktsioonis kui ka karamelliseerumises. (Purlis, E., 2010)

## 1.2.2. Haputaina endogeensed tegurid

Viljatera koosneb kolmest peamisest osast: seemnekest, endosperm ja idu (Serban jt, 2021). Valmis küpsenud hariliku nisutera kolme peamise põhikomponendi: tärklise, valgu ja rakumembraani polüsahhariidide sisaldus on kokku 90 % kuivkaalust. Ülejäänud 10 % moodustavad: lipiidid, terpenoidid, fenoolid, mineraalained ja vitamiinid. Need komponendid jaotuvad viljatera erinevates osades erinevalt, kusjuures valgu sisaldus on varieeruvam kui tärklisel. Gluteeni tüüpi valgud moodustavad üle poole valgu varust. (Shewry jt, 2013)

### a) Teravilja tärklis

Endospermis esineb tärklis erinevate suuruste ja kujuga rakusiseste teradena, olenevalt teravilja liigist (Koehler & Wieser, 2023). Tavaliselt, suured ellipsoidse kujuga A-tüüpi (d 10-40 µm) ja väikesed sfäärilise kujuga B-tüüpi (d < 10 µm) terad (Arora jt, 2021; Wang jt, 2021). Tärkliseterade ruumiline jaotus endospermi sees ei ole homogeenne. Tärklis koosneb kahte tüüpi vees lahustumatutest homopolüsahhariididest: amüloos ja amülopektiin. Teravilja tärklis koosneb tüüpiliselt 25-28 % amüloosist ja 72-75 % amülopektiinist. Tärklis mängib põhilist rolli teravilja töötlemisel, eeskätt fermentatsiooni protsessis. Tärklise struktuur määrab endogeensete ensüümide amülaaside hüdroolüüsi ulatuse ja kiiruse. Pärmid eelistavad fermenteerimiseks substraadina kasutada glükoosi ja fruktoosi kui ka maltoosi, kuid vabade fermenteeritud süsivesikute sisaldus on harilikus nisujahus ja rukkijahus madal (Koehler & Wieser, 2023; Gänzle, M.G., 2013). Katkiste tärkliseterade hüdroolüüs amülaaside poolt annab fermenteerunud süsivesikuid, et säilitada pärmide aktiivsus ja tagada taina kasvu fermenteerumise protsessis. Katkised või geelistunud tärkliseterad on kergemini hüdroolüüsuvad amülaaside ( $\alpha$ -amülaas ja  $\beta$ -amülaas) poolt kui terved tärkliseterad, hüdroolüüsi tulemusena vabanevad dekstriinid või maltoos. (Koehler & Wieser, 2023) Tärklis on peamine leiva murenevuse struktuuri määraja ja amülopektiini retrogradatsioon on peamine põhjus leiva vananemisele (Gänzle, M. G., 2014).

### b) Teravilja valgud

Teraviljad koosnevad keskmiselt 10 % valkudest ja nad katavad 30 % inimeste valguvajadusest. Thomas Osborni ekstraktsioonimeetodist (1916 a) lähtudes (lahustuvus eri lahustites) liigitatakse teraviljavalgud traditsiooniliselt albumiinideks, globuliinideks, prolamiinideks ja gluteniinideks. Albumiinid ja globuliinid on nõrked metaboolsed valgud mis vastutavad tera arenemise eest. Prolamiinid ja gluteniinid, mille osa on 70-80 % terade valkudest, on salvestusvalgud ja nad paiknevad terade endospermis. Prolamiinid on ülekaalukalt monomeerid, enamus gluteniin on aga polümeriseerunud molekulidevaheliste disulfiidsidemete kaudu. Teraviljavalkudele on käibel viljakohased nimetused: nisu gliadiinid (prolamiinid) ja gluteniinid (gluteliinid) ning rukki sekaliinid. (Békés & Wrigley, 2016)

### c) Teravilja tuhained

Jahus sisalduvad mineraalained ehk tuhained on põhiliselt pärit kliidest ja idust. Mida vähem jahu on rafineeritud, seda enam on seal mineraalaineid. On tõendeid, et mineraalaineid suurendavad taigna fermenteerumise aktiivsust: tõstavad happesust, soodustavad süsihappegaasi moodustumist ning annavad selle kaudu suurema mahuga (väiksema tihedusega) küpsetise. (Serban jt, 2023)

## d) Piimhappebakterid

Haputaina LAB-ide kooslus on mitmekesine mikrofloorat. Need on Gram-positiivsed, spoore mitte moodustuvad, liikumatud kepikesed või kokid. Neid liigitatakse *Firmikuutide* hõimkonna klassi kui erinevad *Bacilli* seltsi kuuluvad *Lactobacillales* perekonnad. Tuntuim perekond on laktobatsillid. Need bakterid saavad kasvada pH vahemikus 3,5-10 ja temperatuuri vahemikus 5-45 °C. Traditsiooniliselt on nad tuntud kui süsivesikute (heksoosid ja pentoosid) konverteerijad piimhappeks homo-, hetero- või piimhappe-segakäärimisel olenevalt kasutatavast metaboolsest rajast ja toodetavast produktist. Üldisemalt võib piimhappebaktereid oma toime järgi liigitada probiootilisteks, bakteriotsiidseteks, bioloogilisteks konservantideks ja eksopolüsahhariidide tootvateks, mistõttu neid eelistatakse erinevates toiduainetööstustes. (Raj jt, 2021)

Piimhappelise ehk homofermentatsiooni metabolismirajad sõltuvad otseselt LAB-i tüübist haputainas. Mikroorganismide ainevahetuslik aktiivsus mõjutab haputaina tehnoloogilist funktsionaalsust ja haputainaleiva toitainelisi omadusi, lõhnaprofiili, säilitatavust jne. Glükoosist toodavad homofermentatiivsed LAB-id glükolüüsi kaudu peamiselt piimhapet (< 90 %); seda nimetatakse homolaktiiliseks fermentatsiooniks. Heterofermentatiivsed LAB-id toodavad lisaks piimhappele (ca 50 %) veel CO<sub>2</sub>-te, äädikhapet ja või teisi happeid, ning 6-fosfoglükonaadi/fosfoketolaasi metabolismiraja kaudu etanooli. Heksoosid, mis ei ole glükoos, sisenevad glükolüüsi pearadadesse glükoos-6-fosfaadi või fruktoos-6-fosfaadi kohas peale isomerisatsiooniprotsessi ja/või fosforüülumist. Elektronakseptorite olemasolul vältimatud heterofermentatiivsed LAB-id redutseerivad fruktoosi mannitooliks ning toodavad atsetaate ja ATP-d, kusjuures mannitool võidakse fermenteerida laktaadiks. Pentoose võivad kasutada kõik LAB-id. Näiteks fakultatiivselt heterofermentatiivsed LAB-id fermenteerivad pentoose samal viisil nagu vältimatud heterofermentatiivsed LAB-id, kasutades ensüüm fruktoos-1.6-difosfaat-aldolaasi. Pentooside fermentatsiooni käigus toodetakse ekvimolaarses koguses piimhapet ja äädikhapet ilma CO<sub>2</sub>-te moodustamata. (Hernández-Figueroa jt, 2024)

Orgaanilised happed on peamiseks haputaina fermenteerimisprotsessi kõrvalproduktidest. Traditsioonilise hapendamise korral domineerivad juuretises piimhappebakterid. Vähem on levinud äädikhappebakterid. (Martin-Garcia jt, 2023; Hernández-Parada jt, 2023 ) Toodetavad orgaanilised happed alandavad taina pH-d. Üldise arusaama kohaselt muudab piimhape gluteeni struktuuri elastsemaks ja äädikhape parandab toote lõhna- ja maitseomadusi ning pärsib hallituse jm seente kasvu. Mida rohkem on äädikhapet, seda paremad on haputaina lõhna- ja maitseomadused. (Polo & Gobbetti, 2024)

Artikli (Polo & Gobbetti, 2024) alusel jäävad taina orgaaniliste hapete kontsentratsioonid vahemikku: piimhappel vastavalt 15-150 mM (mediaanväärtusega 75 mM) ja äädikhappel vastavalt 1-50 mM (mediaanväärtusega 20 mM). Fermentatsiooni jooksul toodetud piimhappe ja äädikhappe molaarne suhe FQ (FQ – *fermentation quotient*) on parameeter, mille väärtus mõjutab hapuleiva eelpoolmainitud sensoorseid omadusi. Sõltub fermentatsiooni protsessis osavõtvatest mikroorganismidest ja temperatuurist. (Polo & Gobbetti, 2024; Hernández-Parada jt, 2023) Artikli (Polo & Gobbetti, 2024) alusel võivad FQ väärtused varieeruda vahemikus 0,25-20, keskvärtusega 4,4, soovitatav FQ väärtus jääb alla 5. Allikas (Hernández-Parada jt, 2023) ütleb, et „Hea haputainaleiva maitse saavutamiseks peaks FQ väärtus jääma vahemikku 2,0 kuni 2,7“.

$$FQ \text{ väärtus arvutatakse valemi abil: } FQ = \frac{LA \left[ \frac{g}{100g \text{ tainas}} \right]}{M_{LA} \left[ \frac{g}{mol} \right]} \frac{AA \left[ \frac{g}{100g \text{ tainas}} \right]}{M_{AA} \left[ \frac{g}{mol} \right]}$$

kus LA – piimhape  
AA – äädikhape

Haputaina LAB-id omavad proteaase, peptidaase ja aminohappeid konverteerivaid ensüüme, mis lagundavad teravilja valke, tootes nii bioaktiivseid kui leivale lõhna ja maitset andvaid ühendeid. LAB-ide proteolüütiline ensümaatiline süsteem koosneb rakuvälisest seriinproteinaasist, spetsiifilisest transpordisüsteemist di- ja tripeptiidide ning oligopeptiidide jaoks ning mitmesugustest rakusisestest peptidaasidest. Aminohapete muundamine leiva lõhna ja maitset määravateks aineteks toimub transamineerimisreaktsioonide abil, mis vajavad nii elektronaktseptorite kui aminorühma olemasolu, eelistatult  $\alpha$ -ketoglutarati. Valkude metabolism LAB-ide poolt võib sisaldada ka kataboolseid reaktsioone fenüülalaniini osalusel, mille juures LAB-ide kataboolsed ensüümid sünteesivad bioaktiivseid ühendeid nagu fenüüllaktaat ja fenüülatsetaat. (Hernández-Figueroa jt, 2024)

Fermentatsiooniga kaasnev madalam pH põhjustab gluteeni paisumist ja paremat lahustuvust kuna suurenenud molekulisisesed jõud põhjustavad valgu makromolekulide hüdrofoobsete alade kättesaadavuse (Siepmann jt, 2018). Lisaks, pH alanedes aktiveeruvad jahu ensüümid peptidaasid mis redutseerivad gluteeni disulfiidsidemeid (Alkamine jt, 2023). Suured valguagregaadid lagunevad proteolüüsil, luues stabiilsema ja pehmema (vähem elastsema) taina emulsiooni, millel on parem gaasi kinnipidamisvõime (Siepmann jt, 2018; Serban jt, 2021).

Viidi läbi katse allika (Wang jt, 2021) poolt tüüp II haputaina süsteemis eesmärgiga uurida nisutärglise struktuuri muutusi fermenteerimisel *Lactobacillus plantarum* ja *Saccharomyces cerevisiae* sünergeetilisel koostoimel. Tärglise-vee segule segati juurde kliisid erinevas kontsentratsioonis (0 %, 3 %, 6 %, 9 % ja 12 %) hoides niiskuse sisaldust 80 % ja fermenteerimise temperatuuri 30 °C, hapendusaeg oli 4 tundi. Peale fermenteerimist sade kuivatati ja uuriti. Uuringu tulemusena leiti, et kliid olid kergelt resistentsed keskkonna happelisuse alanemisele. Kiudude olemasolu tõi kaasa segu amüloosisisalduse vähenemise 32,12 %  $\rightarrow$  19,92 % ja ka amüloos/amülopektiini suhte vähenemise 0,47  $\rightarrow$  0,25. Elektronmikroskoopia näitas tärgliseterade, eriti A-tüüpi, erosiooni suurenemist kliide hulga suurenemisel. Infrapunaspektroskoopia analüüsist järeldus, et kliide mõjul tärglise molekulaarne korrastatus suureneb amorfsest kristallilisest suunas.

Laktobatsillid võivad haputaina fermentatsiooni jooksul soodustada lipiidide oksüdatsiooni või avaldada tugevat antioksüdantset mõju. Lipiidide oksüdatsiooniga on seotud lenduvate ühendite moodustumine. Homofermentatiivsed LAB-id, nt *Lactoplantibacillus plantarum*, soodustavad lipiidide oksüdatsiooni ning nonenaali ja dekenaaali tekkimist. Laktobatsillid konverteerivad need vastavateks alkoholideks. Need nähtused on tingitud vesinikperoksiidi eraldumisest glükoosi ainevahetuse käigus homofermentatsiooni kaudu. Heterofermentatiivsed LAB-id, nt *Lactobacillus Sanfranciscensis* ja *Limosilactobacillus Reuteri* seevastu vähendavad haputaina redokspotentsiaali ja sünteesivad glutatiooni või sarnast madalmolekulaarset tioolühendit (Vermeulen jt, 2006; Wang ja Wang, 2024).

## e) Pärmid

Pärmi põhifunktsioon pagaritoodetes on taina kergitamine – see toimub tänu CO<sub>2</sub> tootmisele pärmiseente poolt. Pagaripärmile on omane kiire ainevahetus ja see talub mitmeid leivavalmistuses esinevaid stressitegureid. Pagaripärm on fakultatiivselt anaeroobne – see tähendab, et ta võib hankida energiat nii aeroobselt, raku hingamise teel, kui ka alkohoolse fermentatsiooni teel (anaeroobselt). Pagaripärm kasutab oma energia ainevahetusel lähteainetena peaaegu eranditult mono- ja disahhariide (kuid mitte maltoosi). Seevastu pikaahelisi süsivesikuid (näit. tärglist) pärm omastada ei suuda, kuna pärmil puuduvad vastavad amülaasid. Pärmi ainevahetuse lõpp-produktid on tüüpiliselt CO<sub>2</sub> ja etanool. Kumma poole olukord kaldub, sõltub hapniku olemasolust kasvukeskkonnas ja suhkru kontsentratsioonist. CO<sub>2</sub> kõrval mõjutab ka etanool taina omadusi, eeskätt tugevdades gluteenivõrgustikku. Siiski enamuse etanoolist aurustub küpsetamisel. Pärmid osalevad suurel määral ka leiva maitse ja lõhna kujunemisel ning antioksüdantide tekkimisel. On andmeid, et pärmid tõstavad vitamiin B2 sisaldust haputainas – eriti kui on kasutatud liiki *S.*

*cerevisiae*. On täheldatud ka vitamiinide D ja B9 kontsentratsiooni suurenemist. Pärmidel on tähtis roll ka leiva seeduvuse parandamisel, kuna fermenteerumise käigus valgud lagunevad väiksemateks osadeks: peptiidideks ja vabadeks aminohapeteks. (Pérez-Alvarado jt, 2022) Haputainaga seotult on leitud 30 pärmi liiki, kuid kõige domineerivad on *Saccharomyces* ja *Candida*. (Martin-Garcia jt, 2021)

Etanooli kontsentratsioon sõltub haputaina mikrobiotast ja vee sisaldusest. On välja toodud, et vedelate haputainate alkoholide tase (vabade aminohapete metabolismist) on kõrgem kui paksemate tainaste oma. Katsete tulemusel on järeldatud, et nisujahust valmistatud haputainas on etanooli kontsentratsioon suurem kui rukkijahust valmistatud haputainas. On täheldatud, et pärmide süsivesikute metabolismi käigus toodetud CO<sub>2</sub> tõstab LAB-ide, *Lactobacillus plantarum* ja *Lactobacillus sanfranciscensis*, kasvu. (Martin-Garcia jt, 2021)

### 1.3. Haputainaleib täisterajahust – biokättesaadavuse parandamine

Teraviljatooted sisaldavad rikkalikult E-vitamiini, tiamiini (vitamiin B1) ja folaati (vitamiin B9), viljaterades leidub neid suurimal määral idus ja seemnekestades. Haputaina frementatsiooniprotsess suurendab vitamiinide sisaldust, eriti kui tainas on olemas spetsiifilised LAB-id, mis eelistavad fruktoosi, tootes riboflaviini (vitamiin B2), tiamiini ja folaati. Samad LAB-id osalevad ka nikotiinamiidi (vitamiin B3) mononukleotiidide tootmises. Kasutades idandatud teradest jahu, paraneb vitamiinide kättesaadavust jahuse seepärast, et neid vitamiine toodetakse juba idanemise ajal koos muude bioaktiivsete ainetega. Küpsetamine vähendab vitamiinisaldust, sealhulgas B12. (Wang ja Wang, 2024)

Teraviljatooted sisaldavad peamiselt selliseid mineraalaineid nagu kaalium, fosfor, magneesium ja tsink. Samas sisaldavad nad ka fütiinhapet, mis vähendab mineraalainete imendumist. Fütiinhape on antitointaine, mida leidub varieeruvus koguses täisteraviljatoodetes. Ta moodustab fütaate koos mineraalidega nagu kaltsium, raud, kaalium, magneesium, mangaan ja tsink, muutes nad imendumatuteks. Fütaate esineb kõrges kontsentratsioonid viljaterade väliskihitides ja need lammutatakse ensüüm fütaasi abil, mida samuti leidub teraviljas. Haputaina fermentatsioon suurendab ensüümide fütaasi, amülaasi ja ksülaanaasi aktiivsust ning alandab samaaegselt pH-d. Sobiv hüdreerumine lagundab enamuse fütiinhapetest ja tagab mineraalide optimaalse imendumise. (Wang ja Wang, 2024)

### 1.4. Üheteranis

Üheteraisu, joonisel 3, (*Triticum monococcum* L. subsp. *Monococcum*, diploidne) on üks „muistsetest“ nisuliikidest (Serban jt, 2021; Geisslitz jt, 2019). Termin „muistne“ teravili hõlmab selliseid primitiivseid *Triticum*-liike, millised ei ole läbinud ühtegi moodsa sordiaretuse protsessi ning seetõttu on säilitanud oma looduslike esivanemate tunnusjooni nagu madal saagikuse tase, isendite varieeruvus, nõrk kõrs ja lühike viljapea (Serban jt, 2021). Muistsed nisuliigid on veel speltanisu (*Triticum aestivum* L. subsp. *Spelta*, heksaploidne), emmer ehk kaheteranis (*Triticum turgidum* L. subsp. *Dicoccum*, tetraploidne) ja Khorasani ehk turaani nisu (*Triticum turgidum* L. subsp. *Turanicum*). (Serban jt, 2021; Geisslitz jt, 2019) Arheoloogilisi tõendeid üheteranis kasvatamisest on juba Paleoliitikumist ja Mesoliitikumist (15 000 – 16 000 aastat tagasi). Pronksiajal jäi üheteranis tahaplaanile teiste, suuremate viljakusega liikide kõrval. (Di Stasio, L., 2023)

Loetletud nisuliikidel on pähiku kestad hästi tugevalt teradele kinnitunud ega eemaldu isegi viljapesu ajal (Serban jt, 2021). Üheteranis kasutamine peamine probleem on vajadus lisaprotseduurile, kus teradelt eemaldatakse kestad (Gazza jt, 2023). „Muistseid“ nisuliike kasvatatakse vähesel määral moodsate nisuliikidega võrreldes nagu harilik nisu (*Triticum aes*

*tivum* L., heksaploidne) ja durumnisu (*Triticum durum* L., tetraploidne) (Geisslitz jt, 2019).



A. Harilik nisu ja üheteranisu viljapead B. Üheteranisu, emmer ja spelta viljaterad

Joonis 3. Üheteranisu viljapea ja viljatera (METK)

Üheteranisu vähenõudlikkus ning hea resistentsus kahjurite ja haiguste vastu teevad ta mahepõllumajanduseks sobivaks (Martin-Garcia jt, 2021). Kodustatud üheteranisu on madala saagikusega põllukultuur, mis annab puhtaid teri 2,0-2,5 t/ha kohta, mis on 1/3 hariliku nisu saagikusest. Madal saagikus on tingitud mitmest tegurist (Gazza jt, 2023):

- a) pähiku morfoloogia: üheteranisel üks seeme pähikus, harilikul nisul 3-4 seemet pähikus;
- b) viljatera kaal: üheteranisel 16-36 mg, tetraploidsetel nisudel 46-72 mg, heksaploidsetel nisudel 29-42 mg).

Üheteranisu on tuntud kõrgema valgu sisalduse poolest: 14,4-23,1 % kuivkaalus, mis johtub väikese tera suhteliselt suuremast idust ja valgurikkast aleuroonkihist. Vaatamata kõrgele valgusisaldusele, on üheteranisust tainas pehme, madala elastsusega ja suure venitatavusega, kuna üheteranisujahu gluteeni kvaliteet on kehv võrreldes durumjahu või hariliku nisujahuga. (Gazza jt, 2023) On näidatud, et üheteranisu viljatera pehmus on seotud välise viljakesta paksusega, valgumaatriksi tugevusega ning võimalike õhutaskutega aleuroonrakkudes (Serban jt, 2021).

Muistsed nisuliigid erinevad üksteisest selle poolest, kuidas tärkliiseterad on valgumaatriksisse ehitatud. Kõige nõrgemalt on tärkliiseterad kapseldunud speltas ja kõige tugevamini emmeris, üheteranisu jääb nende vahele. (Serban jt, 2021)

Üheteranisu toitaineline eripära tuleneb suurel määral juba tera suurusest. Seetõttu üheteranisu terad sisaldavad protsentuaalselt rohkem lipiide ja valke, aga ka mitmeid inimestele tähtsaid vitamiine. Kiudainesisaldus on üheteranisel 2-3 korda madalam kui moodsatel nisuliikidel: üheteranisel kiudaineid 6,9 % kuivainest võrreldes hariliku nisu 11,5-18,3 %-ga kuivainest. Üheteranisu peamised kiudained on: arabinoksülaan ja  $\beta$ -glükaan on peamised üheteranisu kiudained. Lipiide ja rasvhappeid aga kuni 50 % rohkem kui harilikus nisus, millest peamised on linoolhape, oleiinhape ja palmitiinhape. Küllastunud rasvhapped mõjuvad soodsalt üheteranisu terade säilivusele. (Di Stasio, L., 2023)

Üheteranisis on leitud moodsate nisudega võrreldes rohkem karotenoide, eeskätt luteiine. Luteiin, mida üheteranisis on viis korda rohkem kui harilikus nisus, annab üheteranisust jahule ja pagaritoodetele iseloomuliku kollase värvuse. Üheteranisu on ka suurepärase tokoolide allikas, mida samuti mitu korda rohkem kui harilikus nisus. Tokoolidel on mitmeid kasulikke omadusi, nt

aitavad ära hoida südame-veresoonkonna-, neuroloogilisi ja põletikulisi haigusi. Ka fütosteriine (fütosterooli) leidub üheteranisus rohkelt. Need ühendid on tuntud kui vere kolesteroolitaseme alandajad, mõjudes positiivselt südame tervisele. Võrreldes hariliku nisuga on üheteranisus leitud rohkem lämmastikku, fosforit, magneesiumi, vaske, rauda, mangaani ja tsinki. (Di Stasio, L., 2023)

## 2. Töö eesmärk

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli valmistada üheteranisujahust haputainas ja küpsetada haputainaleib: määrata taina hapnemise erinevatel etappidel ning leivast pH ja orgaanilised happed. Viia läbi leiva sisu tekstuuri profiilanalüüs ja kirjeldada leiva organoleptilisi omadusi küpsetamise päeval ja säilitamise seitsmendal päeval. Võrrelda saadud tulemusi nisujahust, rukkijahust ja speltajahust haputainaste- ja leibadega.

## 3. Katseline osa

### 3.1. Materjalid

Haputainast valmistati üheteranisujahust (ÜJ) võrdlevalt nisu- (NJ), rukki- (RJ) ja speltajahuga (SJ). Kasutatud jahud pärinesid järgmistelt Eesti tootjatelt, tabel 1.1:

Tabel 1.1. Jahud

Jahu	Sort	Päritolu	Jahvatus
Nisujahu (NJ)	talivili „Edvins”	Loona talu veski	täistera, peenjahvatus
Rukkijahu (RJ)	talivili "Sangaste"	Loona talu veski	täistera, keskmine jahvatus
Speltajahu (SJ)	talivili, sort ei ole teada	Loona talu veski	täistera, keskmine jahvatus
Üheteranisujahu (ÜJ)	talivili "Terzino"	Rannu Seeme	keskmine jahvatus

Haputainaleibade valmistamiseks kasutati defineerimata koostisega aktiivset rukkijuuretist ja valmistati traditsioonilised haputainad. Juuretise mikrobioloogiline koostis oli järgmine: 57 % *Companilactobacillus farciminis*, 28 % *Lactiplantibacillus plantarum* ja 11 % *Levilactobacillus brevis* (K. Adamberg).

### 3.2. Metoodika

#### Haputaina valmistamine

Iga jahuga küpsetati ühe küpsetuskatse jooksul kaks leivapätsi (kokku kaheksa pätsi). Küpsetuskatsetel kasutati küpsetusvorme pikkusega 130 mm ja laiusega 65 mm. Haputaina koostisosad kaaluti Radwag WLC 6/A2 kaaluga ( $d = 0,1$  g). Kloorivaba vett saadi puurkaevust. Haputainaste inkubeerimiseks kasutati ahju Sanyo MOV-112F ja haputainaleivad küpsetati ahjus Metos EE25870.

Paremaks võrdlemiseks valmistati haputainaleivad ligilähedaste erimahtudega:

NJ-leib  $1,63 \pm 0,07$ , RJ-leib  $1,59 \pm 0,05$ , SJ-leib  $1,80 \pm 0,06$  ja ÜJ-leib  $1,70 \pm 0,03$ .

Viidi läbi kolm küpsetuskatset. Haputainaste valmistamiseks kasutatavad retseptid toodud tabelis 1.2.:

Tabel 1.2. Haputainaleibade retseptid

Jahu		Nisujahu (NJ)	Rukkijahu (RJ)		Speltajahu (SJ)		Üheteranisujahu (ÜJ)
Katse nr		1.-3.	1	2.-3.	1	2.-3.	1.-3.
1. etapp	aktiivne juuretis, g	5,6	5,4	5,8	5,6	5,2	6
	jahu, g	100	70	80	100	90	100
	kloorivaba vesi, g	180	200	210	180	170	200
2. etapp	jahu, g	100	70	80	100	90	100
	kloorivaba vesi, g	180	200	210	180	170	200
3. etapp	peensool, g	6,8	6,7	7	6,8	6,5	7,2
	suhkur, g	38	37	39	38	35	40
	jahu, g	200	200	200	200	200	200

Haputainaleivad valmistati ja proovid võeti järgmise skeemi järgi, mis toodud tabelis 1.3.:

Tabel nr 1.3. Haputainaleibade valmistamise skeem

Etapp/ katse päev	Tund	Teostatud tööd
1. etapp/ 1. päev	0. h	Segati kokku jahu, vesi ja juuretis – 2%, so 1. etapi jahu + vesi Võeti taina proov Mõõdeti taina pH Termostateeriti 22-23 °C juures
2. etapp/ 1. päev	10. h	Võeti taina proov HPCL proovid säilitati -18 °C juures Mõõdeti taina pH Lisati jahu + kloorivaba vesi Termostateeriti 22-23 °C juures
3. etapp/ 2. päev	24. h	Võeti taina proov HPCL roovid säilitati -18 °C juures Mõõdeti taina pH Lisati jahu Lisati peensool – 0,9%, so 1.-3. etapi jahu + vesi Lisati suhkur – 5%, so 1.-3. etapi jahu + vesi Tainas kaaluti võrdselt kahte vormi Tainal lasti vormis kerkida 21-22 °C juures köögikäteräti all kuni oli näha taina pinnale tekkinud õhumulle, ca 75 min Vajadusel niisutati taina pinda kraaniveega
	25. h ja 30. min	Küpsetati eelsoojendatud ahjus režiimiga küpsetus + ½ tuul 180 °C juures 15 min ja 160 °C juures 40 min kaks leivapätsi Leivapätsid jahutati maha temperatuurini 21-22 °C puidust lõikelaul köögikäteräti all
	31. h kuni 33. h	Võeti leiva proov HPCL proovid säilitati -18 °C juures Mõõdeti leiva pH Teostati tekstuurianalüüs 1, esimene leivapäts Säilitati leivapäts, teine leivapäts
4. etapp/ 7. päev	150. h	Mõõdeti leivapätsi maht Teostati tekstuurianalüüs 2



#### Haputaina proov orgaaniliste hapete ja pH määramiseks

Küpsetuskatsete käigus võeti haputainastest 10 g tainast, mis viidi 50 ml tuubi. Lisati 10 g destilleeritud vett, suleti kork ja segati vorteksiga. Supernatandi saamiseks tsentrifuugiti tuubid 4000 pm 7 min. Saadud supernatandist võeti 2 ml ja viidi eppendorfi. HPLC roovid säilitati -18 °C juures. Supernatandi pH mõõdeti pH-meetriga Mettler Toledo SevenEasy kasutades elektroodi InLab Expert NTC30, pH-meeter kalibreeriti enne mõõtmist puhverlahustega pH 4 ja 7. Saadud pH väärtused fikseeriti (lisa 3).

#### Haputainaleiva proov orgaaniliste hapete ja pH määramiseks

Küpsetuskatsete käigus võeti haputainaleibadest 10 g leiba, mis viidi 50 ml tuubi. Lisati 15 g destilleeritud vett, suleti kork ja segati vorteksiga. Supernatandi saamiseks tsentrifuugiti tuubid 4000 pm 7 min. Saadud supernatandist võeti 2 ml ja viidi eppendorfi. HPLC roovid säilitati -18 °C juures. Supernatandi pH mõõdeti pH-meetriga Mettler Toledo SevenEasy kasutades elektroodi InLab Expert NTC30, pH-meeter kalibreeriti enne mõõtmist puhverlahustega pH 4 ja 7. Saadud pH väärtused fikseeriti (lisa 3).

#### Haputainaleiva organoleptiline analüüs – kirjeldavad võrdluskatsed

Sensoorsel analüüsil hinnatakse omadusi järjekorras: välimus → lõhn → fleiv → tekstuur.

Kirjeldatavate katsetega saab kirjelda toidutoote organoleptilisi omadusi välimuses, lõhnas, fleivis ja tekstuuris. Võrduskatsetega tuvastatakse erinevused toiduproovide vahel. Keskenduda võib proovidele üldiselt või kindlatele omadustele. (Erasmus+) Küpsetuskatsete käigus kirjeldati haputainaleibade organoleptilisi omadusi töö autori poolt. Koostati tabel (lisa 6). Leiva poorsust hinnati Dallmanni Porentabelle tabeli järgi (lisa 7). Leivaviiust tehti mustvalge foto.

#### Haputainaleiva sensoorne analüüs – tekstuurianalüüs

Tekstuuri profiilianalüüsi (TPA – *texture profile analysis*) meetod on test toidu tekstuuri ja mehaaniliste omaduste määramiseks. Testi käigus stimuleeritakse kahte hammustust toiduproovile, mis annab informatsiooni sellest kuidas toiduaine käitub mälumisel. (Montemurro jt, 2024)

Tugevus (*hardness*) on enimkasutatav suurus leiva kooriku mehaaniliseks iseloomustamiseks, see korreleerub maksimaalse jõuga njuutonites (N), mida on vaja rakendada leiva esimesel hammustamisel soovitud määral kokku surumiseks.

Kõvadus (*firmness*) kasutatakse tavaliselt leiva sisu pehmuse iseloomustamiseks, aga seda võib kasutada ka kooriku hindamiseks. Sagedamini leiab parameeter kõvadus kasutamist leiva vananemise astme hindamisel leiva säilitamise perioodil. Rakenduse idee on pärit asjaolust, et leiva säilitamisel toimub niiskuse ümberjaotumine kooriku (0,05-0,1 g niiskust/100g tootes) ja suhteliselt niiske sisu (0,4 g niiskust/100 g tootes) vahel; ning leiab aset tärklise retrogradatsioon (peamiselt amülopektiini fraktsioonid). Leiva kõvadus võib kergesti segi minna tugevusega, mille hindamiseks seatakse TPA suruma leivaproovi kokku 30-50% mahus. Ametlik meetod siiski defineerib kõvaduse kui jõu peale leivaproovi 25% mahu kokkusurumist. Nagu tugevus, mõõdetakse ka kõvadust newtonites (N). Kõvaduse ajalise muutuse järgi saab hinnata leiva säilivusaega – ekstrapoleerides mõõtetulemusi kaugemale tulevikku.

Taastuvus (*springiness*) kirjeldab leiva sisu taastumist oma algsesse, deformeerumata olekusse pärast survejõu lõppemist. See on oluline parameeter hindamaks leiva vananemisprotsessi säilitamise aja jooksul.

Kohesiooni (*cohesiveness*) peetakse leiva positiivseks omaduseks, kuna see näitab, kui hästi leivaproov talub teist kokkusurumist pärast esimesel kokkusurumisel tekkinud deformatsiooni. Väärtus on määratud leivaproovi sisemiste sidemete jõududega.

Elastsus (*resilience*) iseloomustab, nagu taastuvuski, leivaproovi taastumist algsesse olekusse; täsemalt: näitab kui hästi leivaproov saavutab algse kõrguse.

Kummissus (*gumminess*) ja näritavus ehk sitkus (*chewiness*) iseloomustavad neelamiskõlblikkuseni peenestamiseks vajalikku energiat. Kummissust kasutatakse tavaliselt pooltahkete ja näritavust

tahkete toodete puhul. Leiva hindamiseks on kummissus siiski sobivam parameeter. Mõõdetakse njuutonites (N).

Kleepuvus (*adhesiveness*) on jõud, mida on vaja rakendada, et eemaldada toiduproov mingilt pinnalt. Leiva tekstuurianalüüsis toimub leivaproovi kokkusurumine sülje lisamata, seetõttu adhesioon võrdsustatakse tavaliselt nulliga. Seda seepärast, et puudub viskoosne või kleepuv aine, mis suurendaks adhesiooni väärtust. (Montemurro jt, 2024)

Katsete käigus viidi läbi haputainaleibade tekstuurianalüüs. Tekstuurianalüüsi teostati tekstuuri analüsaatoriga Stable Micro System TA-XT2i. Valitud parameetrid olid järgmised:

- silindrikujuline mõõtepea P36R läbimõõduga 36 mm
- leivaproovi kokkusurumine kuni 10 mm (*Distance*) so 40% kiirusega kiirus 1 mm/s (*Test Speed*) ja ooteajaga 5 s (*Time*)
- mõõtmised teostati kui jõud, mis tekib leivaproovi kokkusurumisel, oli  $\geq 0,0049$  N (*Trigger Force*)
- mõõtmised teostati vahemikus 0,0049-60 N

Tekstuurianalüüsi läbiviimiseks valmistati ette leivaproovid kõrgusega 25 mm ja diameeteriga 40 mm. Igal küpsetuskatsel teostati neli paralleelmõõtmist ja mõõtmised toimusid toatemperatuuril. Tulemusi anaüüsiti programmiga Texture Expert Exceed. Koostati tabelid (lisa 8).

#### Haputainaleiva säilitamine

Igasst küpsetuskatses säilitati üks päts iga jahuga, kokku neli pätsi. Esimeses kahes asetati leivapätsid paberkottidesse. Seejärel asetati paberkottidega leivapätsid ühisesse minigripp kilekotti, mille ühest otsast jäeti avatuks 1 cm. Viimases, kolmandas katses, asetati leivapätsid paberkotti, seejärel asetati kõik neli leivapätsi eraldi minigripp kilekotti mis suleti täielikult. Leibu hoiti pappkastis toatemperatuuril.

#### Haputainaleiva üldmahu mõõtmine

Leivapätside maht mõõdeti seitsme päeva pärast küpsetamist (150. tunnil). Leivapäts asetati 2 L mõõteanumasse ja valati üle seemnese seguga. Leivapäts eemaldati ja seemnese segu mahu muutus fikseeriti.

#### Haputaina ja -leiva HPLC proovide ettevalmistamine

Haputainast ja -leivast määrati glükoosi, etanooli, atsetaadi ja laktaadi kontsentratsioonid.

Haputaina ja -leiva proovidest (proov) suurte molekulmassiga ühendite eemaldamiseks kasutati filtreid Amicon Ultra 0,5 ml Centrifugal Filter, poori suurus 3 kDa. Filterid kasutati vastavalt tootja eeskirjale järgnevalt. Enne filtrite kasutamist pesti filtrid glütseriinist puhtaks. Pesu jaoks kasutati ultrapuhast vett (milliQ vesi). Etapid olid:

1. etapp. Filtrid eemaldati pakendist ja asendati eppendorfi. Filtritale lisati 400 µl milliQ vett ja eppendorfe tsentrifugeeriti 12 000 pm 25 min. Filtrid keerati eppendorfis teistpidi ja eppendorfe tsentrifugeeriti 1000 pm 2 min.
2. etapp. Filtrid pöörati eppendorfis tagasi õigesse asendisse. Filtritesse lisati 400 µl proovi ja tsentrifugeeriti 12 000 pm 40 minutit (4 °C juures). Filtrid eemaldati eppendorfidest ja proovidega säilitati -18 °C juures.
3. etapp. Filtrite ettevalmistus taaskasutuseks. Filtrid asetati eppendorfidesse, lisati 400 µl milliQ vett ja tsentrifugeeriti 12 000 pm 40 min. Filtrid keerati eppendorfis teistpidi ja tsentrifugeeriti 1000 pm 2 min.
4. etapp. Filtrid taaskasutati etapp 2. järgi.

#### Haputaina ja -leiva orgaaniliste hapete, etanooli ja glükoosi määramine

HPLC proovidest määrati glükoos, etanool, laktaat ja atsetaat kontsentratsioonid HPLC analüüs viidi läbi vedelikkromatograafia Alliance 2795 (Waters Corp., Milford, MA, USA), kolonn BioRad HPX-87H (Hercules, CA), isokraatses režiimis voolutiga 0,005 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> voolukiirusel 0,5 mL/min 35 °C juures. Ained detekteeriti ja kvantifitseeriti murdumisnäitaja (RI, 410 nm) ja neeldumise (UV-detektor) järgi. Koostati tabelid (lisa 5).

## 4. Tulemused ja arutelu

Töös valmistati rukkijuuretise baasil haputainas üheteranisujahust ja võrdlevalt nisu-, rukki-, speltajahust. Kõigi jahudega küpsetati haputainaleivad ja võrreldi nii juuretise kui ka leiva omadusi erinevate meetoditega. Määrati võrdlevalt tainaste hapnemise käiku, leibade pH-d ja orgaanilisi happeid, kirjeldati leibade organoleptilisi omadusi ja viidi läbi leibade tekstuuriprofiilialalüüs.

Arvutati jahude orienteeruvad koostisosade sisaldused leivapätsis: süsivesikud, tärklis, kiudained, valk, lipiidid ja tuhaained (lisa 2).

Küpsetati haputainast (tainast) leivapätsid (leivad) nisujahust (NJ), rukkijahust (RJ), speltajahust (SJ) ja üheteranisujahust (ÜJ). Joonisel 3. on toodud fotod küpsetatud haputainaleibadest:



A. Nisujahust haputainaleib



B. Rukkijahust haputainaleib



C. Speltajahust haputainaleib



D. Üheteranisujahust haputainaleib

Joonis 3. Haputainajuuretisega täisterajahudest küpsetatud leivad

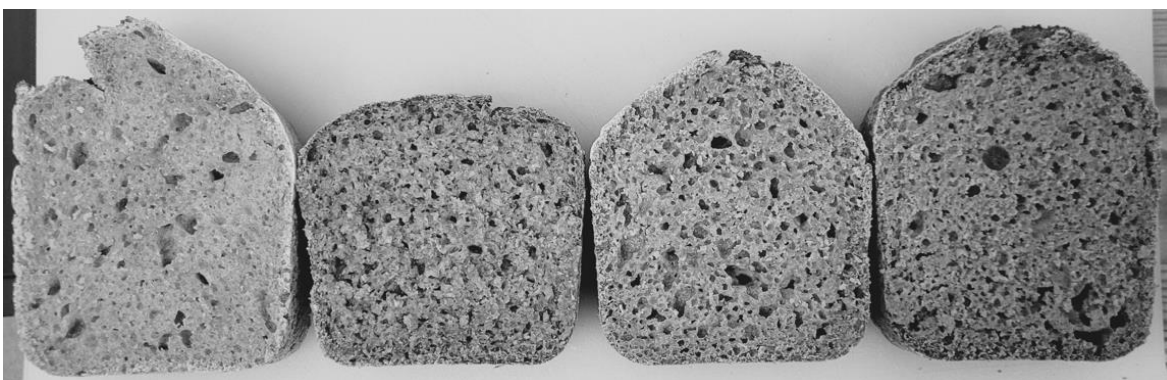
ÜJ leib erines oma punakamat tooni koorikuga. ÜJ leiva koorik mõranes keskmiselt võrreldes ÜJ-i, RJ-i ja SJ-ga, pealtvaates pigem ühe suurema sügavama vaona.

Haputainaleibade ristlõiked joonisel 4:



Joonis 4. Haputainaleibade ristlõiked järjekorras: nisu-, rukki-, spelta- ja üheterajahust

Leivaviilude poorsus hindamiseks joonisel 5:



Joonis 5. Leivaviilude poorsus hindamiseks järjekorras: nisu-, rukki-, spelta- ja üheterajahust

ÜJ leib erines oma kollakamat tooni sisuga, mis on põhjustatud rikkalikust luteiini sisaldusest jahus.

ÜJ leivaviilu poorsust iseloomustati kui erineva suuruse aga enamuses pigem kujult ümarate pooridega. Hästi eristuvad suuremad poorid paiknesid hajutatult. Leidus ka piklikke poore leivakoore ligidal. Poorsust hinnati Porentabelle tabeli järgi 2.

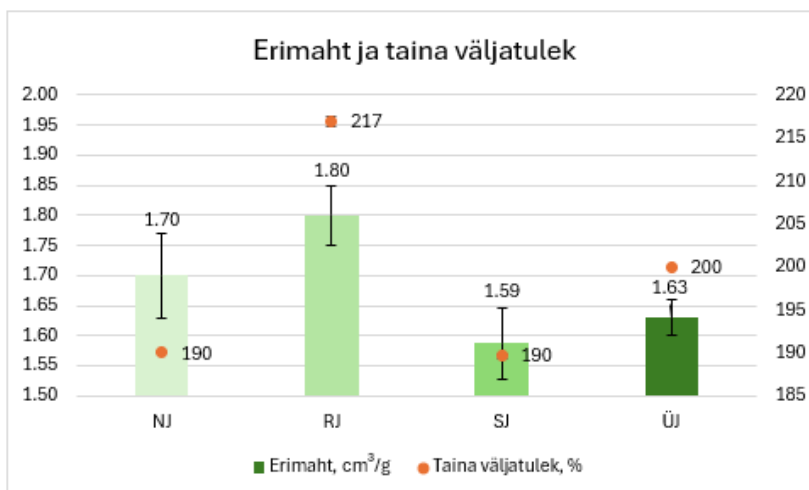
Artiklites (Serban jt, 2021) ja (Sereti jt, 2021) oletatakse, et suurte pooride moodustumist soodustavad kliid tainas, kuid see ei pruugi olla ainus tegur. Lisaks arvatakse, et suured poorid üheteranisus on põhjustatud nõrgast valgugeelivõrgustikust, mis laseb väikestel pooridel ühineda suuremaks (Sereti jt, 2021). Siiski, ei ole välja pakutud abinõusid, kuidas tehnoloogilises protsessis ÜJ leiva poorsus kontrollida ilma, et see mõjutaks negatiivselt leiva muid omadusi.

Artiklis (Brandolini jt, 2023) uuriti leibade poorsust süstemaatiliselt. Määrati kahe ÜJ sortidest (ID331 ja Monilis) küpsetatud leibade poorsuse parameetrid: loendati pooride arv pinnaühiku kohta, mõõdeti pooride läbimõõdud, määrati pooride kogupindala jms.

Maitselt oli ÜJ leib pigem mahedam, kuid omapärase kõrvalmaitsega. Artikkel (Serban jt, 2021) annab ülevaate üheteranisust valmistatud jahu, leiva ja pudru kohta: mahe, pähkline, meene, kaerahelbepudruna.

Jahtunud ÜJ leivale tekkis mõrkjas järelmaitse mida ahjusooja ÜJ-i leiva maitstes tunda ei olnud. Jahtunud leiva mõrkja kõrvalmaitse põhjus ei selgunud katsete jooksul.

Arvutati tainaste väljatulekud ja leibade erimahtud joonisel 6:



Joonis 6. Erimaht ja taina väljatulek

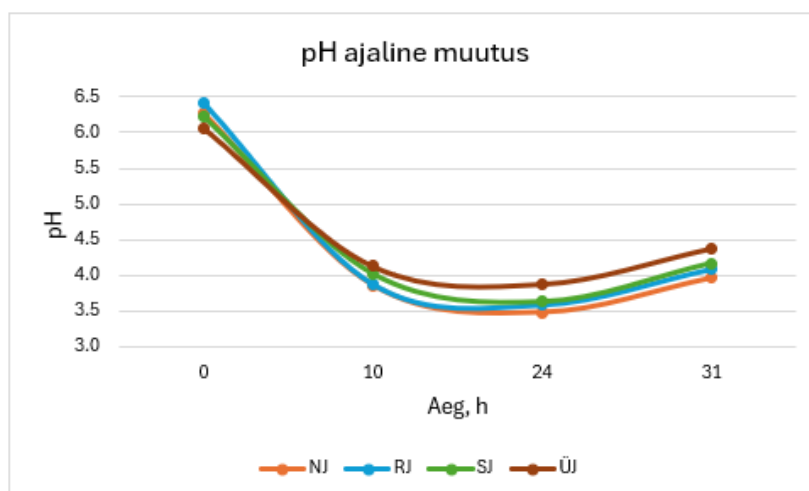
Leivad valmistati ligilähedaste erimahtudega: NJ-leib  $1,63 \pm 0,07$ , RJ-leib  $1,59 \pm 0,05$ , SJ-leib  $1,80 \pm 0,06$  ja ÜJ-leib  $1,70 \pm 0,03$ . Erimahu arutamiseks kaaluti leivad ja mõõdeti mahud 150. tunnil (lisa 1).

Taina väljatulekud jäid vahemikku 190-217 %. NJ-s ja SJ-l oli kõige vähem vett taina kohta ning RJ-s kõige rohkem vett taina kohta, ÜJ jäi vahepeale. RJ sisaldab

Jahu ja vett kokku segades erines ÜJ visuaalselt oma kehva veesidumisvõimega kuni 24-nda tunnini – jahu oli kaetud veekihiga. Artikli (Sereti jt, 2021) katsed näitasid ÜJ taina uurimisel farinograafia madalat veesidumisvõimet, lisaks madalat stabiilsust, lühikest taina kasvu aega ja kõrget pehmusastet.

Leibade valgusisaldus on pöördvõrdelises sõltuvuses erimahuga. SJ-s leivas oli kõige rohkem valku (ja kõige väiksem erimaht), järgnes sarnase valgusisaldusega ÜJ leib ning RJ leivas oli kõige vähem valku (ja kõige suurem erimaht).

Mõõdeti tainaste ja leibade pH joonisel 7:

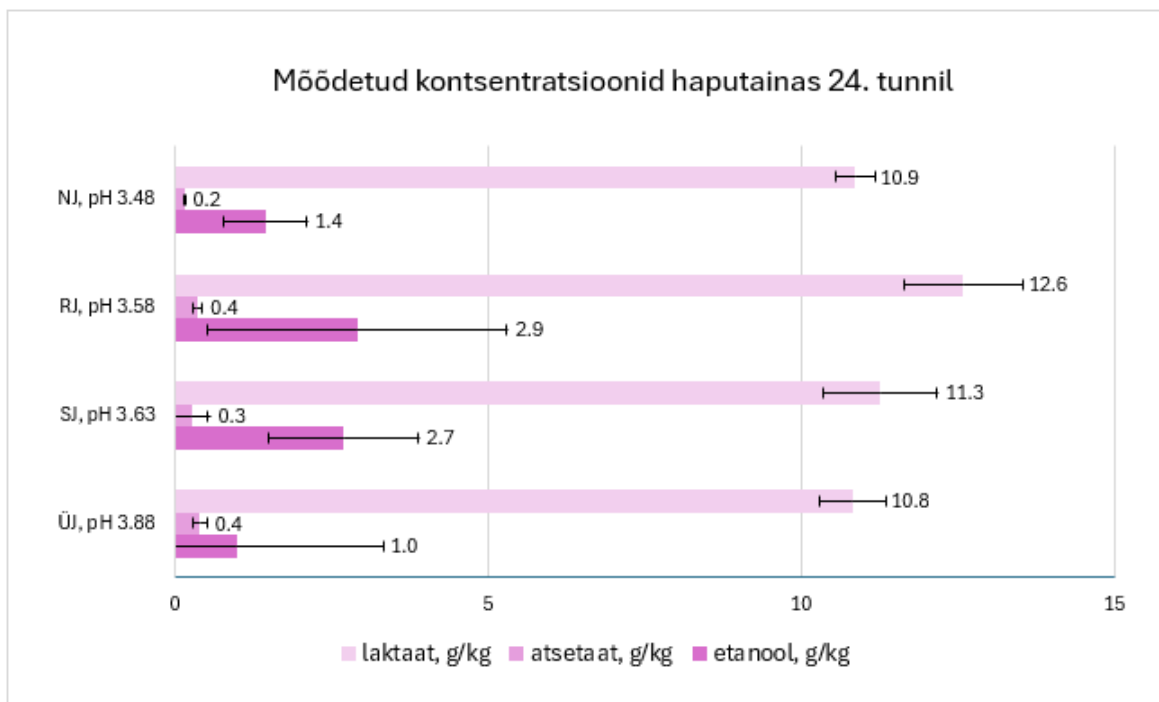


Joonis 7. pH ajaline muutus

Esimese taina proov, 0. tund, sisaldas vaid 2% juuretist jahu-vee segust, seega olid 0-tunnil pH väärtused vahemikus 6-6,4. Tainaste pH väärtused jäid 10-tunnil vahemikku 3,9-4,1 ja 24-tunnil vahemikku 3,5-4,1. Tulemusi võib pidada kattuvaks kirjanduse andmete traditsioonilise haputaina pH väärtuste vahemikuga 3,5-4,5. pH dünaamika oli kõikide jahude puhul sarnane.

Võrreldes teistest jahudest tainastega, siis ÜJ 0-tunni pH oli kõige madalam,  $6\pm 0,2$ , samas, leiva pH 31-tunnil oli kõige kõrgem,  $4\pm 0,1$ .

Mõõdeti laktaadi, atsetaadi ja etanooli kontsentratsioonid 24. tunnil joonisel 8:



Joonis 8. Laktaadi, atsetaadi ja etanooli mõõdetud kontsentratsioonid haputainas 24. tunnil hindamise algusest

Kõikidest jahudest valmistatud tainaste etanooli, atsetaadi ja laktaadi kontsentratsioonid muutusid sarnaselt vahemikus esimese 10. tunni jooksul (lisa 5).

24. tunniks olid kõikides tainastes suurenenud laktaadi ja atsetaadi hulk. Laktaadi kontsentratsioonid tainastes olid: kõige kõrgem RJ-il  $12,6\pm 2,4$  g/kg; järgnes SJ  $11,3\pm 1,2$  g/kg; ja sarnaselt madalamad olid NJ-l ja ÜJ-l, vastavalt  $10,9\pm 0,7$  g/kg ja  $10,8\pm 2,4$  g/kg.

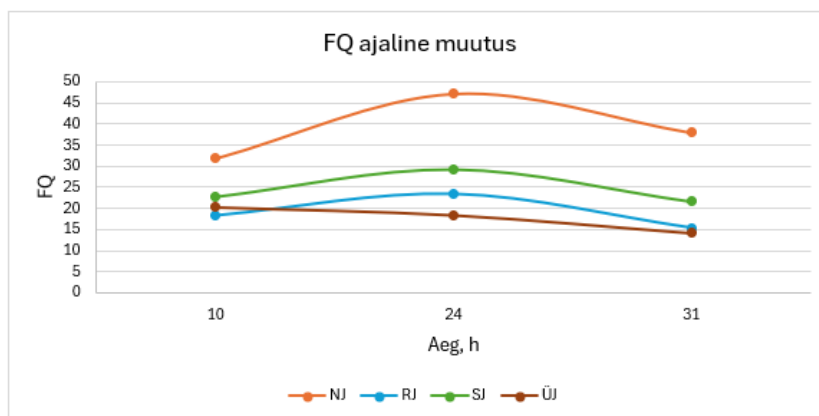
Atsetaadi kontsentratsioonid tainastes olid: ÜJ-l ja RJ-l sarnaselt kõrgemad väärtused, vastavalt  $0,4\pm 0,1$  g/kg ja  $0,4\pm 0,1$ ; järgnes SJ  $0,3\pm 0,1$  g/kg; ja kõige madalam väärtus oli NJ-l,  $0,2\pm 0,02$  g/kg.

24. tunniks oli ÜJ etanooli kontsentratsioon kõige madalam, täheldati etanooli hulga püsivust alates 10. tunnist:  $1,03\pm 0,5$  g/kg  $\rightarrow$   $0,98\pm 0,5$  g/kg. Samaaegselt tõusis etanooli hulk RJ-l 2,9 korda, SJ-l 2,7 korda ja N-l 1,4 korda suuremaks.

Artikli (Serban jt, 2023) katses üheteranisujahu taina (taina väljatulek 180%) fermenteerimisel *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC 8014 tüvega 35 °C juures oli taina hapnemise 24. tunnil määratud etanooli kontsentratsioon samtui väga madal 0,08 g/kg. Sama katses valmistati võrdlevalt nisu- ja speltajahu tainad: etanooli kontsentratsioonid olid 24. tunnil vastavalt 0,28 g/kg ja 0,08 g/kg.

24. tunnil, pärast proovide võtmist lisati jahu, sool ja suhkur. 31. tunnil mõõdeti (lisa 5) leibade etanooli, atsetaadi ja laktaadi kontsentratsioonide sisaldused, tulemused oli sarnased.

Fermentatsioonisuhe FQ näitab fermentatsiooni jooksul toodetud piimhappe ja äädikhappe molaarset suhet ja ennustab leiva hapukuse maitseprofili. FQ väärtused on esitatud joonisel 8:



Joonis 8. Laktaadi/atsetaadi molaarne suhe FQ, ajaline muutus

Kirjanduse andmetel on haputainaleiva soovituslikuks hapukuse maitseprofiiliks FQ suhe mis jääb alla 5-e.

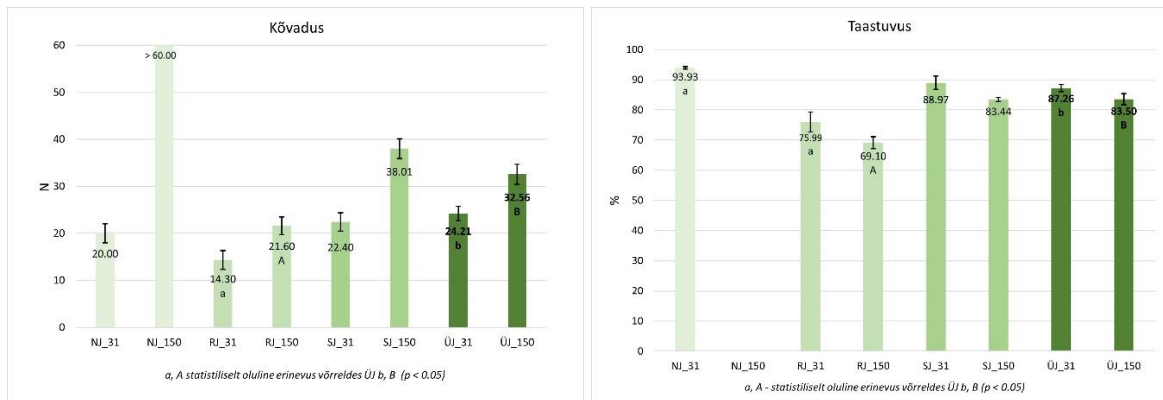
FQ väärtuste muutused olid RJ-l ja ÜJ-l sarnased: 24-l tunnil olid FQ väärtused: NJ 47,4±3,1, RJ 23,5±0,2, SJ 29,3±2,8 ja ÜJ 18,5±2,0.

Artikli (Serban jt, 2023) katses tainaste FQ väärtused fermentatsiooni 24-l tunnil olid järgnevad: nisujahust tainal 6,1, speltajahust tainal 13,2 ja üheteranisujahust tainal 14,8 (taina väljatulek 180%, fermenteeriti *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC 8014 tüvega 35 °C juures). Artiklis (Serban jt, 2023) tuuakse välja, et QF üks teguritest fermentatsiooni temperatuurist: suuremates kogustes akumuleerub äädikhape 25-30 °C ja piimhape 35-37 °C temperatuuride vahemikus.

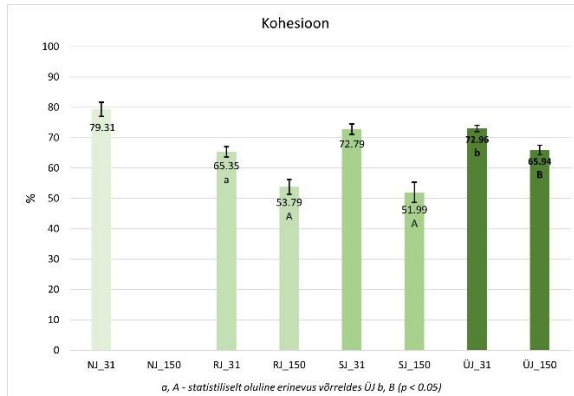
Organoleptiliste omaduste võrdluskatses oli RJ leib kõige hapukama maitsega. Vaatamata sellele, et RJ-l ja ÜJ-l olid ligilähedased FQ väärtused, oli ÜJ leib maitset mahedam (maitset ei olnud samaväärset hapukust). Kõige kõrgema FQ väärtusega NJ-i kirjeldati võrdluskatsetes maitset kui kõige mahedamat leiba.

RJ leib sisaldab kõige vähem süsivesikuid leiva kohta, lisaks on RJ-i  $\alpha$ -amülaasi aktiivsus madal (Autio, K. & Eliasson, 2009). ÜJ-il oli kõige rohkem tuhkaaineid leiva kohta, lisaks suuremale valgusisaldusele.

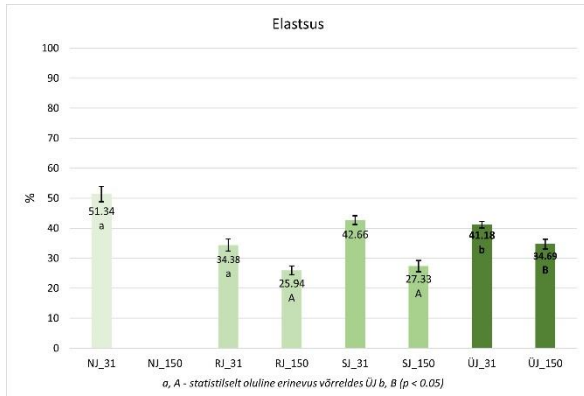
Mõõdeti leiva sisu tekstuuri parameetrid tekstuurianalüsaatoriga joonisel 9:



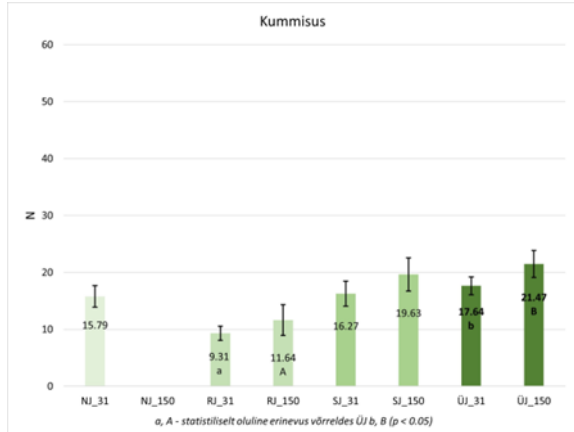
A. Kõvadus



B. Taastuvus



C. Kohesioon



D. Elastsus

E. Kummisus

Joonis 9. Mõõdetud leiva sisu kõvadus, taastuvus, kohesioon, elastsus ja kummisus

Leibade küpsetamise päeval (31. tunnil), oli kõige kõvem leiva sisu ÜJ-I. ÜJ-i kõvaduse ajaline muutus suurenes 150. tunniks sarnaselt R-ga vähe, võrreldes SJ-ga (lisa 9). ÜJ-ga võrreldes oli kõvadus statistiliselt oluliselt erinev RJ-I, nii 31. kui ka 150. tunnil.

Taastuvus näitab, et ÜJ leiva sisu vananes kõige aeglasemalt võrreldes RJ-i ja SJ-i leibade sisudega. ÜJ leiva sisu taastuvuse ajaline muutus oli väga sarnane SJ-ga (lisa 9). ÜJ-ga võrreldes oli taastuvus statistiliselt oluliselt erinev NJ 31. tunnil ning RJ-I nii 31. tunnil kui ka 150. tunnil.



Esiialgne, 31. tunni, kohesioon oli kõige parem NJ-l, järgnesid väga sarnaste tulemusega SJ ja ÜJ, kuid kohesioon jäi ÜJ-l kõige suuremaks pärast säilitamist 150. tunnil. See on hea omadus. ÜJ-ga võrreldes oli kohesioon statistiliselt oluliselt erinev SJ-l 150. tunnil.

Elastsus 31. tunnil on ÜJ-il sarnane SJ-ga. Samuti on näha, et ÜJ-i leiva elastsus oli jäänud, sarnaselt kohesiooniga, 150. tunnil kõige suuremaks. See on samuti hea omadus, kinnitades, et ÜJ leib oli vananenud kõige vähem. Kõvaduse ja elastse väärtuste vahel on 31. tunnil näha tugevat korrelatsiooni, kõvaduse ja elastse väärtused korreleeruvad ka 150. tunnil, kuid nõrgemini (lisa 10). ÜJ-ga võrreldes oli elastsus statistiliselt oluliselt erinev RJ-l nii 31. tunni kui ka 150. tunnil.

Kummisuse puhul käitub RJ leiva sisu erinevalt, võrreldes erinevatest nisuliikidest jahudest leibade sisuga. ÜJ käitub teiste nisuliikidest jahude leibade sisuga kummisuse osas sarnaselt.

TPA mõõtis NJ-i leiva sisu 150. tunnil üle TPA maksimaalse mõõtepiiri, mistõttu NJ-i mõõdetavad TPA täpsed väärtused 150. tunnil puuduvad (> 60 N).

#### 4.1. Järeldused

- Üheteranisujahust saab küpsetada haputainaleiba traditsioonilise tehnoloogiaga. Võrreldes nisu-, spelta- ja rukkileivaga täheldati üheteranisu juuretises ja leivas sarnast pH dünaamikat ja orgaaniliste hapete tootmist.
- Üheteranisujahu haputainas jäi etanooli hulk madalamaks võrreldes teistest jahudest tainastega.
- Üheteranisujahust haputainaleival on iseloomulik maitse, mis muutub seistes tugevamaks. See muudab üheteranisu põnevaks alternatiiviks värskelt jahvatatud teraviljale. Leivajahu peaks olema võimalikult värskelt jahvatatud, et vältida rasva hüdrolyüüsi.
- Üheteranisujahu haputainaleiva tekstuuri profiili analüüs näitas häid omadusi:
  - suurimat kõvadust küpsetamise päeval,
  - vähimat muutust taastuvuses, kohesioonis ja elastseses seitsme päeva säilitamise jooksul.

## Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli valmistada üheteranisujahust haputainas ja küpsetada haputainaleib. Määrata taina hapnemise erinevatel etappidel ning leivast pH ja orgaanilised happed. Viia läbi leiva sisu tekstuuri profiili analüüs ja kirjeldada leiva organoleptilisi omadusi küpsetamise päeval ja säilitamise seitsmendal päeval. Võrrelda saadud tulemusi nisujahust, rukkijahust ja speltajahust haputainaste- ja leibadega.

Uuritud üheteraviljajahu haputaina pH väärtused jäid traditsioonilise haputaina pH vahemikku. Üheteranisu haputainast määratud orgaaniliste hapete analüüsil täheldati etanooli hulga püsivust 10-st kuni 24. tunnini, ajal kui sama intervalli jooksul kasvas etanooli hulk rukkijahust haputainas 2,9 korda, speltanisu jahust haputainas 2,7 korda ja nisujahust haputainas 1,4 korda suuremaks. Üheteranisujahust haputaina FQ väärtused olid sarnaselt rukkijahust haputainaga madalad. Samaväärset hapukust heteranisujahust haputainaleiva maitset siiski tunda ei olnud – heteranisujahust haputainaleib oli mahedama maitsega.

Hinnati üheteranisjahust haputainaleiva poorsust ja viidi läbi tekstuuri profiili analüüs, mis näitas üheteranisujahust haputainaleiva sisu suurimat kõvadust küpsetamise järgselt. Säilitamise seitsmendal päeval oli näha üheteranisujahust haputainaleiva sisu ajalisi muutusi võrreldes rukki- ja speltajahudest haputainaleibadega järgmiselt: taastuvuses, kohesioonis ja elastsuses olid muutused kõige väiksemad. Üheteranisust haputainaleiva kummisuse muutus sarnanes teiste nisuliikidest haputainaleibade omaga.

Kokkuvõtteks võib öelda, et üheteranisust saab küpsetada haputainaleiba traditsioonilise tehnoloogiaga. Saadud leib on iseloomuliku värvuse ja maitsega, säilitab toatemperatuuril pehmuse vähemalt nädala aja jooksul. Parema ülevaate saamiseks tuleks teha täiendavaid küpsetuskatseid.

Antud töö sooritati Maaelu Teaduskeskuse projekti nr METK 7-2.1/36 raames (lisa 11).

## **Tänuavaldused**

Töö autor avaldab tänu töö juhendajale Kaarel Adambergile ja kaasjuhendajale Signe Adambergile, Riinu Kaasikule, oma perekonnale ning Tallinna Tehnikaülikooli toidu- ja biotehnoloogia õppekavale.

## Kasutatud kirjanduse loetelu

- Akamine, I.T., Mansoldo, F.R.P., Vermelho, B. (2023). Probiotics in the sourdough bread fermentation: Current status. *Fermentation*, 9(2), 90.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation9020090>
- Arora, K., Ameer, H., Polo, A. & Di Cagno, R. (2021). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: a systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 71–83.  
DOI: 10.1016/j.tifs.2020.12.008
- Arora, K., & Di Cagno, R. (2024). Determination of pH ja Titritable Acidity. In Gobbetti, M. & Rizzello, C. G. (Eds.). *Basic methods and protocols on sourdough* (pp. 55–60). Humana New York, NY. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3706-7>
- Arendt, E. K., Ryan, L. A. M. & Dal Bello, F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, 24, 165–174. DOI: 10.1016/j.fm.2006.07.011
- Autio, K. & Eliasson, C. (2009) Rye starch, In BeMiller, J. & Whistler, R. (Eds.) *Starch: Chemistry and Technology*. 3rd ed. (pp. 579–587). Elsevier.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00014-8>
- Békés, F. & Wrigley, W. (2016). The protein chemistry of cereal grains. *Reference Module in Food Sciences*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00101-3>
- Brandolini, A., Lucisan, M., Mariotti, M., Estivi, L. & Hidalgo, A. (2023). Breadmaking performance of elite einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *Monococcum*) lines: Evaluation of flour, dough and bread characteristics. *Foods*, 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12081610>
- Dallmann, H. Porentabelle. Detmold; Verlag Moriz Schafer: Moriz Schafer, Germany, 1981.
- De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S. & Leroy, F. (2017). Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation. *Adv. Appl. Microbiol.*, 100, 49–160. DOI: 10.1016/bs.aambs.2017.02.003
- De Vuyst, L., Comasio, A., Van Kerrebroeck, S. (2021). Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(15), 2447–2479. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1976100>
- Deyalage, S.T., House, J.D., Thandipilly, S.J., Makagoda, M. (2024) Nutritional characteristics and physicochemical properties of ancient wheat species for food applications. *Food Bioscience* 62, 105397 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105397>
- ERASMUS+. Sensoorse analüüsi käsiraamat. (2018). <https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/940cc93f-6fc4-4366-8d56-5ae84915c9fa/Sensory-Assessment-EST.pdf>
- Gazza, L., Hidalgo, A., Brandolini, A. (2023). A high protein ancient wheat species: Einkorn. *Journal of Cereal Science* 114, 103790. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103790>
- Geisslitz, S., Longin, C. F. H., Scherf, K. A. & Koehler, P. (2019). Comparative study on gluten protein composition of ancient (einkorn, emmer and spelt) and modern wheat species (durum and commonwheat). *Foods*, 8. DOI: 10.3390/foods8090409
- Gänzle, M. G. (2014). Enzymatic and bacterial conversation during sourdough fermentation. *Food Microbiology*, 37, 2–10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.007>

Hernández-Figueroa, R.H., Mani-López, E., Palou, E., López-Malo, A. (2024). Sourdoughs as Natural Enhancers of Bread Quality and Shelf Life: A Review. *Fermentation*, 10 (1), 7.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation10010007>

Hernández-Parada, N., González-Ríos, O., Suárez-Quiroz, M.L., Hernández-Estrada, Z.J, Figueroa-Hernández, C.Y, de Dios Figueroa-Cárdenas, J., Rayas-Duarte, P., Figueroa-Espinoza, M.C. *Exploiting the Native Microorganisms from Different Food Matrices to Formulate Starter Cultures for Sourdough Bread Production*. (2023). *Microorganisms*, 11, 109.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010109>

Koehler, P. & Wieser, H. (2023). Chemistry of cereal grains. In Gobbetti, M. & Gänzle, M. (Eds.) *Handbook on Sourdough Biotechnology* (pp. 11–45). Springer.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-23084-4>

Ma, S., Wang, Z., Guo, X., Wang, F., Huang, J., Sun, B. & Wang, X. (2021). Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: Mechanisms and challenges – a review. *Food Chemistry*, 360. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>

Martin-Garcia, A., Riu-Aumatell, M. & López-Tamames, E. (2023). Influence of process parameters on sourdough microbiota, physical properties and sensory profile. *Food Reviews International*, 39(1), 334–348. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1906698>

METK. (2024). Üheteranisu kokaraamat.  
[https://metk.agri.ee/sites/default/files/documents/2024-12/%C3%BCheteranisu\\_kokaraamat.pdf](https://metk.agri.ee/sites/default/files/documents/2024-12/%C3%BCheteranisu_kokaraamat.pdf)

Montemurro, M. & Pontonio, E. (2024). Texture profile analysis. In Gobbetti, M. & Rizzello, C. G. (Eds.). *Basic methods and protocols on sourdough* (pp. 103–110). Humana New York, NY.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3706-7>

Murniece, R., Reidzane, S., Goluburda, R., Radenkovs, V., Klava, D. (2023). The Impact of Fermented Scald on Rye and Hull-Less Barley Dough and Bread Structure Formation. *Foods*, 12, 4475. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12244475>

Pérez-Alvarado, O., Zepeda-Hernández, A., Garcia-Amezquita, L.E., Requena, T., Vinderola, G., & García-Cayuela, T. (2022). *Frontiers in Microbiology*, 13.  
DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.969460>

Polo, A. & Gobbetti, M. (2024). Determination of lactic and acetic acids and estimation of their molar ratio. In Gobbetti, M. & Rizzello, C. G. (Eds.). *Basic methods and protocols on sourdough* (pp. 61–69). Humana New York, NY. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3706-7>

Purlis, E., (2010). Browning development in bakery – a review. *Journal of Food Engineering*, 99, 239–249. DOI: [10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008)

Raj, T., Kuppam, C. & Amradi, N. K. (2021). Recent biotechnological trends in lactic acid bacterial fermentation for food processing industries. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 2(1), 1–27. DOI: [10.1007/s43393-021-00044-w](https://doi.org/10.1007/s43393-021-00044-w)

Serban, L. R., Păucean, A., Man, S. M., Chiş, M. S. & Murşan, V. (2021). Ancient wheat species: Biochemical profile and impact on sourdough bread characteristics – a review. *Processes*, 9.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9112008>

- Serban, L., Simona, C. M., Adriana, P. & Puscas, A. (2023). Metabolic profile of einkorn, spelt, emmer ancient wheat species sourdough fermented with strain of *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC 8014. *Foods*, *12*. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12051096>
- Sereti, V., Lazaridou, A., Biliaderis, C. G. & Valamoti, S. M. (2021). Reinvigorating modern breadmaking based on ancient practices and plant ingredients, with implementation of a physicochemical approach. *Foods*, *10*. DOI: <https://www.mdpi.com/journal/foods>
- Siepmann, F. B., Ripari, V., Waszczynskyj, N. & Spier, M. R. (2018). Overview of sourdough technology: from production to marketing. *Food Bioprocess Technol.*, *11*, 242–270. DOI: [10.1007/s11947-017-1968-2](https://doi.org/10.1007/s11947-017-1968-2)
- Shewry, P. R., Hawkesford, M., Piironen, V. & Lampi, A.-M. (2013). Natural variation in grain composition of wheat and related cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(35), 8295–8303. DOI: [10.1021/jf3054092](https://doi.org/10.1021/jf3054092)
- Vermeulen, N., Czerny, M., Gänzle, M., Schiebrle, P., Vogel, R.F. (2006). Reduction of (E)-2-nonenal and (E,E)-2,4-decadienal during sourdough fermentation. *Journal of Cereal Science*, *45*, 78-87.
- Wang, Z. & Wang, L. (2024). Impact of sourdough fermentation on nutrient transformations in cereal-based foods: Mechanism, practical applications, and health implications. *Grain & Oil Science and Technology*, *7*, 124–132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2024.03.001>
- Wang, Z., Yan, J., Ma, S., Tian, X., Sun, B., Huang, J., Li, L., Wang, X. & Bao, Q. (2021). Effect of wheat bran dietary fiber on structural properties of wheat starch after synergistic fermentation of *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Biological Macromolecules*, *190*, 86–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.179>
- Yan, X., McClements, D. J., Luo, S., Ye, J. & Liu, C. (2024). A review of the effects of fermentation on the structure, properties, and application of cereal starch in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2334269>

## Annotatsioon

Võrdlevaks analüüsiks küpsetati neljast erinevast jahust: rukki-, nisu-, spelta- ja üheteranisujahudest haputainaleivad sama tehnoloogiaga. Tähteldati üheteranisu haputaina halba veesidumisvõimet. Üheteranisu haputaina pH ajaline dünaamika oli võrreldav teistest jahudest tainaste omaga, samas üheteranisujahu haputaina pH väärtus püsis taina hapnemisel kõige kõrgem. Üheteranisu haputainast määratud orgaaniliste hapete analüüsil tähteldati etanooli hulga püsivust 10-st kuni 24. tunnini, sama intervalli jooksul kasvas etanooli hulk rukkijahust haputainas 2,9 korda, speltanisujahust haputainas 2,7 korda ja nisujahust haputainas 1,4 korda suuremaks. Arvutatud üheteranisujahust haputaina FQ väärtused olid sarnaselt rukkijahust haputainaga madalad. Samaväärset hapukust üheteranisujahust haputainaleiva maitset siiski tunda ei olnud – üheteranisujahust haputainaleib oli mahedama maitsega.

ÜJ haputainaleib erines teistest oma punakama kooriku ja kollakama sisu poolest. ÜJ haputainaleiva poorsus sarnanes teistest jahudest leibadega. Poorid olid erineva suurusega ja pigem ümarad ning paiknesid hajutatult. Tekstuuri profiili analüüs näitas üheteranisujahust haputainaleiva sisu suurimat kõvadust küpsetamise järgselt. Säilitamise seitsmendal päeval oli näha üheteranisujahust haputainaleiva sisu ajalisi muutusi võrreldes rukti- ja speltajahudest haputainaleibadega järgmiselt: taastuvuses, kohesioonis ja elastsuses kõige väiksemad muutused. Üheteranisust haputainaleib kummisuse muutus sarnanes teiste nisuliikidest haputainaleibade omaga.

Antud töö sooritati Maaelu Teaduskeskuse projekti nr METK 7-2.1/36 raames.

## Abstract

For comparative analysis, sourdough breads of four different flours were baked: of rye, wheat, spelta and einkorn, using the same technology. Poor water absorption capability of einkorn sourdough (ESD) was observed. Dynamics of pH in ESD was similar to this in other dough, but remained higher during fermentation. Organic acids analysis revealed that ethanol content in ESD remained stationary during interval from 10 to 24 h after preparation of dough. In contrary, during the same interval ethanol content rose in rye sourdough 2,9 times, in spelta sourdough 2,7 times and in common wheat sourdough 1,4 times. Fermentation quotients (FQ) of ESD were low, similarly to rye sourdough, but ESD breads did not have typical to rye bread sour taste – ESD breads tasted milder.

ESD breads differed from other breads under study in more red crust and more yellow crumb. The porosity of crumb was similar to this in other breads. The pores had different sizes, were mostly of circular shape and were dispersed in crumb. Texture profile analysis showed that immediately after baking the crumb of ESD breads was harder in comparison with other breads. After seven days storage following differences in ESD in comparison with rye and spelta flour breads were observed: the springiness, cohesiveness and resilience had smallest changes; the change of gumminess was similar to this in other sourdough breads.

In summary, Einkorn sourdough breads may be produced using traditional sourdough technology. Obtained bread has specific colour and taste; it preserves its softness at least during week at room temperature.

For more detailed survey supplementary backing tests would be needed.

This study was part of project METK 7-2.1/36, financed by by Estonian Rural Development Plan.



## Lisad

Lisa 1. Tabel 4. Mõõdetud taina väljatulek, kaal ja erimaht

Jahu	Taina väljatulek, % 24 h	Leivapäts, g 31 h	Leivapäts, g 150 h	Leivapätsi maht, cm <sup>3</sup> 150 h	Leivapätsi erimaht, cm <sup>3</sup> /g 150 h
NJ	190.00±6.27	319.40±6.27	315.13±4.81	513.33±30.55	1.63±0.07
RJ	216.99±0.57*	329.87±11.74	328.01±9.35	513.33±23.09	1.59±0.05
SJ	189.65±0.30*	315.01±17.05	311.56±18.11	560.00±20.00	1.80±0.06
ÜJ	200.00±0.00**	342.30±2.43	337.56±0.84	537.33±11.55	1.70±0.03

\*statistiliselt oluliselt erinev võrreldes ÜJ\*\* ( $p < 0.05$ )

Lisa 2. Tabel 5. Arvutatud jahu orienteeruvad koostisosade sisaldused leivapätsis (Serban jt, 2021; Deyelage jt, 2023; Murniece jt, 2023)

Jahu	Süsivesikud, g/100g	Tärklis, g/100g	Kiudained, g/100g	Valk, g/100	Lipiidid, g/100g	Tuhk, g/100g
NJ	75.36	62.30	12.70	10.69	1.83	1.54
RJ	74.20	57.49	15.80	7.70		1.46
SJ	67.65	61.60	5.90	14.71	2.19	2.10
ÜJ	66.67	62.20	6.70	13.33	2.44	2.20
Jahu	Süsivesikuid, g/leivap.	Tärklis, g/leivap.	Kiudained, g/leivap.	Valk, g/leivap.	Lipiidid, g/leivap.	Tuhk, g/leivap.
NJ	150.72	124.60	25.40	21.38	3.66	3.08
RJ	129.85	100.61	27.65	13.48		2.56
SJ	131.92	120.12	11.51	28.68	4.27	4.10
ÜJ	133.34	124.40	13.40	26.66	4.88	4.40

Lisa 3. Tabel 6. Mõõdetud pH väärtused

Jahu	pH 0 h	pH 10 h	pH 24 h	pH 31 h
NJ	6.27±0.26	3.86±0.17*	3.48±0.10	3.96±0.17*
RJ	6.41±0.27	3.87±0.15*	3.58±0.13*	5.08±0.09*
SJ	6.22±0.21	4.02±0.17*	3.63±0.10*	4.17±0.14*
ÜJ	6.07±0.24	4.13±0.18**	3.88±0.10**	4.38±0.12**

\* statistiliselt oluliselt erinev võrreldes ÜJ\*\* ( $p < 0.05$ )

Lisa 4. Tabel 7. Arvutatud FQ väärtused

Jahu	FQ 10 h	FQ 24 h	FQ 31 h
NJ	31.90±4.78	47.21±3.09*	38.00±6.36*
RJ	18.38±1.81	23.54±0.16*	15.45±0.45
SJ	22.82±3.58	29.27±2.76*	21.69±2.73
ÜJ	20.34±1.98	18.46±2.04**	14.25±1.99**

\*statistiliselt oluline erinevus võrreldes ÜJ\*\* ( $p < 0.05$ )

Lisa 5. Tabel 8. Mõõdetud glükoosi, etanooli, atsetaadi ja laktaadi kontsentratsioonid

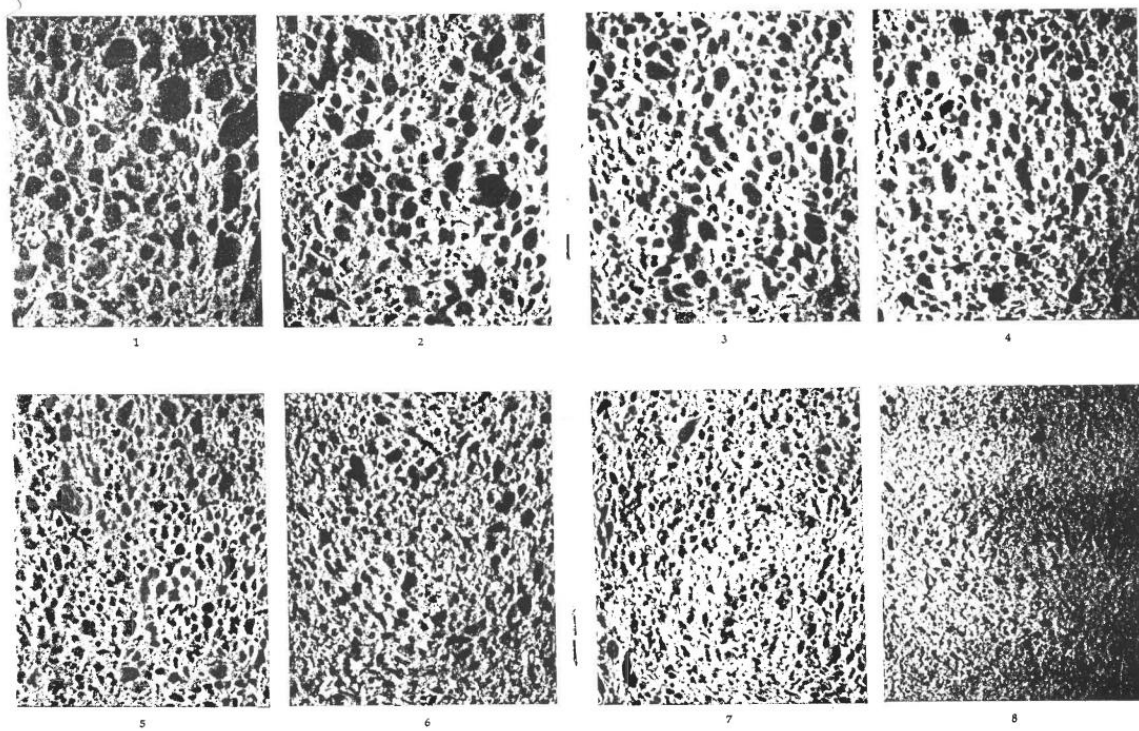
Jahu	Glükoos, mM/L 10 h	Glükoos, g/kg 10 h	Glükoos, mM/L 24 h	Glükoos, g/kg 24 h	Glükoos, mM/L 31 h	Glükoos, g/kg 31 h
NJ	1.13±0.19	0.20±0.03	-	-	158.48±21.44	28.53±3.86
RJ	2.60±1.14	0.47±0.20	-	-	134.35±17.57*	24.18±3.16*
SJ	4.10±0.59	0.74±0.11	-	-	136.98±14.48	24.66±2.61
ÜJ	-	-	-	-	94.80±8.38**	17.06±1.51**
Jahu	Etanool, mM/L 10 h	Etanool, g/kg 10 h	Etanool, mM/L 24 h	Etanool, g/kg 24 h	Etanool, mM/L 31 h	Etanool, g/kg 31 h
NJ	19.71±2.75	0.91±0.13	31.20±6.94	1.44±0.32	9.54±5.38	0.44±0.25
RJ	35.58±8.59	1.64±0.40	63.25±20.49	2.91±0.94	32.21±4.03*	1.48±0.19*
SJ	31.67±9.66	1.46±0.44	58.50±19.81	2.69±0.91	22.64±11.34	1.04±0.52
ÜJ	22.50±10.13	1.03±0.47	21.34±11.48	0.98±0.53	12.83±5.0**	0.59±0.23**
Jahu	Atsetaat, mM/L 10 h	Atsetaat, g/kg 10 h	Atsetaat, mM/L 24 h	Atsetaat, g/kg 24 h	Atsetaat, mM/L 31 h	Atsetaat, g/kg 31 h
NJ	2.50±0.55	0.15±0.03	2.59±0.26	0.15±0.02	2.86±0.37*	0.17±0.02*
RJ	4.63±0.97	0.27±0.06	6.00±1.10	0.35±0.06	6.54±0.78	0.39±0.05
SJ	3.66±0.55	0.22±0.03	4.37±0.77	0.26±0.05	4.81±0.93	0.28±0.06
ÜJ	4.14±0.44	0.24±0.03	6.69±1.92	0.39±0.11	7.97±0.93	0.47±0.053**
Jahu	Laktaat, mM/L 10 h	Laktaat, g/kg 10 h	Laktaat, mM/L 24 h	Laktaat, g/kg 24 h	Laktaat, mM/L 31 h	Laktaat, g/kg 31 h
NJ	78.38±11.34	6.98±1.01	121.96±7.52	10.85±0.67	108.19±19.47	9.63±1.73
RJ	83.89±8.49	7.47±0.76	141.41±26.78	12.59±2.38	101.30±14.60	9.02±1.30
SJ	82.17±4.08	7.53±1.48	126.48±13.38	11.26±1.19	102.74±8.50	9.14±0.76
ÜJ	84.56±16.59	7.53±1.48	121.50±26.42	10.81±2.35	112.31±2.75	10.00±0.25

\*statistiliselt oluliselt erinev võrreldes ÜJ\*\* ( $p < 0.05$ )

Lisa 6. Tabel 9. Organoleptiliste omaduste kirjeldavad võrdluskatsed

Omadus	Nisujahu (NJ)	Rukkijahu (RJ)	Speltajahu (SJ)	Üheteranisujahu (ÜJ)
Vesiviirg	vesiviirgu ei tekkinud	vesiviirgu ei tekkinud	vesiviirgu ei tekkinud	vesiviirgu ei tekkinud
Koorik, värv	tuhm helepruun	tuhm tumepruun	pruun	punaka tooniga pruun
Koorik	koorik ei eraldunud sisust lahti	koorik ei eraldunud sisust lahti	koorik ei eraldanud sisust lahti	koorik ei eraldunud sisust lahti
Koorik, struktuur (1. suur → 4. väike)	mõranemine kõige suurema sügavusega ja pigem ühe vaona, ka servas (1)	mõranemised väiksema sügavusega ja pigem mitmed vaod (4)	mõrenenud erineva sügavusega ja pigem mitmed vaod (2-3)	mõranenud keskmise või suurema sügavusega ja pigem ühe vaona, ka servas (2-3)
Kleepuvus noale, 31. tunni leivapäts (1. suur → 4. väike)	kleepuvus noale vähim (3-4)	kleepuvus noale suur (1)	kleepuvus noale keskmine (2)	kleepuvus noale vähim (3-4)
Kleepuvus noale, 150. tunni leivapäts	kleepuvus noale püsis vähim	kleepuvus noale püsis suur	kleepuvus noale püsis sama	kleepuvus pigem suurenes
Leivapätsi sisu, värv	helepruun	tumepruun	pruun	kollaka tooniga pruun
Leivapätsi sisu, poorsus (porentabelle hindav tabel)	porentabelle 1, poorid mõõtmelt erinevad, leidub kõige rohkem mõõtmelt suuri hästi erinstuvaid poore, millised on kujult piklikud	porantabelle 2, poorid pigem sarnaste mõõtmetega, leiva suure kleepuvuse tõttu vajuvad poorid leiba lõigates kokku	porentabelle 1, poorid pigem mõõtmelt suuremad, leib on struktuuriilt nõ õhuline	porentabelle 2, poorid mõõtmelt erineva suurusega, hästi eristuvad suuremad poorid on hajutatud, poorid enamuses pigem kujult ümarad, leidab ka piklikumaid poore leivakoore ligidalt
Maitse, ahjusoe leib	kõige mahedama maitsega	kõige hapukama maitsega, intensiivse teravilja maitsega	mahe, teravilja maitsega	samuti mahedam, lisandub omapärane kõrvalmaitse
Maitse, jahtunud leib				tekib mõrkjas järelmaitse

Lisa 7. Dallmann Porentabelle tabel poorsuse hindamiseks (Dallmann, H., 1981; METK koopia)



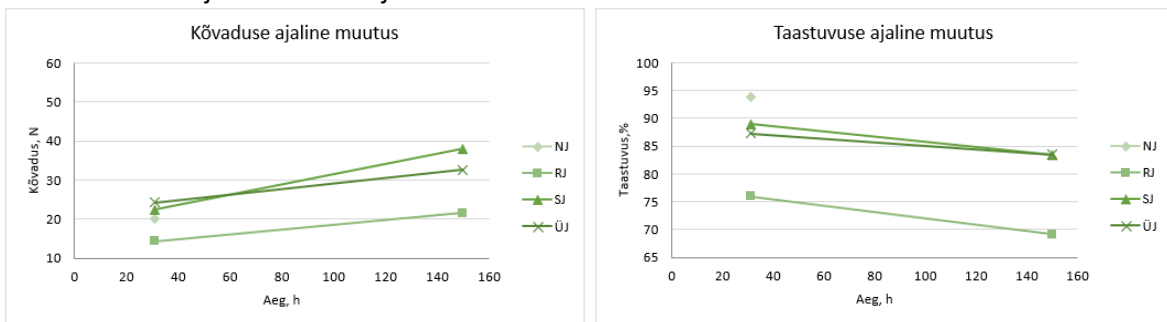
Lisa 8. Tabel 10. Tekstuuriprofili analüüs

Jahu	Aeg, h	Tugevus/kõvadus, N
NJ	31	20.00±2.01
NJ	150	-
RJ	31	14.30±2.00 a
RJ	150	21.60±1.88 A
SJ	31	22.40±1.92
SJ	150	38.01±0.07
ÜJ	31	24.21±1.54 b
ÜJ	150	32.56±2.13 B
Jahu	Aeg, h	Taastuvus, %
NJ	31	93.93±0.44 a
NJ	150	-
RJ	31	75.99±3.31 a
RJ	150	69.10±1.97 A
SJ	31	88.97±2.22
SJ	150	83.44±0.69
ÜJ	31	87.26±1.19 b
ÜJ	150	83.50±1.84 B
Jahu	Aeg, h	Kohesioon, %
NJ	31	79.31±2.34
NJ	150	-
RJ	31	65.35±1.71 a
RJ	150	53.79±2.45 A
SJ	31	72.79±1.71
SJ	150	51.99±3.33 A
ÜJ	31	72.96±1.01 b
ÜJ	150	65.94±1.58 B

Jahu	Aeg, h	Elastsus, %
NJ	31	51.34±2.50
NJ	150	-
RJ	31	34.38±2.01 a
RJ	150	25.94±1.46 A
SJ	31	42.66±1.43
SJ	150	27.33±1.91 A
ÜJ	31	41.18±1.07 b
ÜJ	150	34.69±1.64 B
Jahu	Aeg, h	Kummissus, N
NJ	31	15.79±1.91
NJ	150	-
RJ	31	9.31±1.24 a
RJ	150	11.64±2.70 A
SJ	31	16.27±2.19
SJ	150	19.63±2.93
ÜJ	31	17.64±1.57 b
ÜJ	150	21.47±2.37 B
Jahu	Aeg, h	Näritavus, N
NJ	31	14.82±1.74
NJ	150	-
RJ	31	7.12±6.10 a
RJ	150	8.06±2.00 A
SJ	31	14.48±1.96
SJ	150	16.39±2.49
ÜJ	31	15.39±1.46 b
ÜJ	150	17.94±2.43 B

a, A statistiliselt oluliselt erinev võrreldes ÜJ b, B ( $p < 0.05$ )

Lisa 9. Kõvaduse ja taastuvuse ajaline muutus

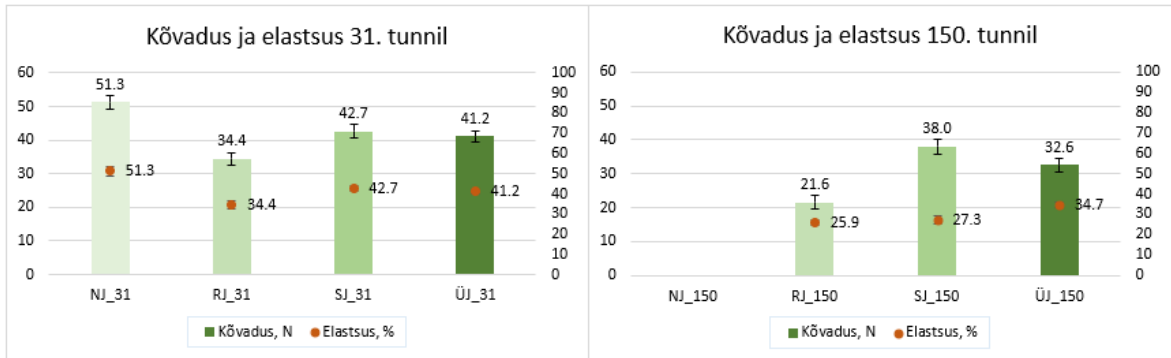


A. Kõvaduse ajaline muutus

B. Taastuvuse ajaline muutus

Joonis 10. Kõvaduse ja taastuvuse ajaline muutus

Lisa 10. Kõvadus ja elastsus



Joonis 11. Kõvadus ja elastsus A. 31 tunnil ja B. 150. tunnil



## Baking properties of einkorn wheat grown in Estonia

S. Adamberg<sup>1\*</sup>, K. Adamberg<sup>1</sup>, A. Männamaa<sup>1</sup>, R. Kaasik<sup>2</sup>, R. Koppel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> - Department of Chemistry and Biotechnology, Tallinn University of Technology, Estonia

<sup>2</sup> - Centre of Estonian Rural Research and Knowledge, Jõgeva, Estonia

### Abstract

- Einkorn wheat *Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum* was one of the first plants that was domesticated and cultivated. Einkorn wheat has lower yields but can survive on poor soils compared with modern wheat varieties. There has been an increasing interest in healthy ancient wheat products.
- Baking properties of einkorn 'Terzino', grown in Estonia by Rannu Seeme in 2022, for sourdough and yeast leavened bread types in comparison with other cereals were studied.
- Our results showed that einkorn wheat can be used for bread but it has characteristic taste and smell. Use of einkorn wheat in combination with rye will be tested next.

### Materials and Methods

Sourdough breads were prepared from four wholegrain flours: rye, wheat, spelt and einkorn with the same technology using long (24 h) fermentation time at Tallinn University of Technology. Sourdough breads were prepared using rye-adapted starter culture. Yeast leavened wholegrain bread baking trials were performed in METK, Jõgeva. The mixing time and flour water absorption of dough were tested using farinograph. The sourdough and breads were analyzed for pH, organic acid content (HPLC), microbiome (16S rDNA sequencing), texture (texture analyser) and sensory properties. For yeast fermented bread the mixing time and flour water absorption of dough were optimized.

### Results



Figure 1. Sourdough breads of wholegrain flours from left: wheat, rye, spelt, einkorn wheat. Chemical composition of cereals differs between species and years. Compared to common wheat, einkorn wheat contains more iron and zinc, vitamins B<sub>1</sub> and B<sub>2</sub> and carotenoids and has higher lipid content.

Specific flavour of einkorn wheat sourdough bread can be characterized as slightly bitter smell and aftertaste that was more pronounced in bread made of older flour. This phenomenon can be explained by lipolysis due to higher fat content.

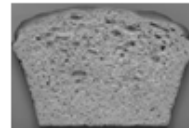


Figure 2. A slice of yeast-leavened bread, an example of structure. Fermentation with yeast 30+30+60 min, baking 20 min

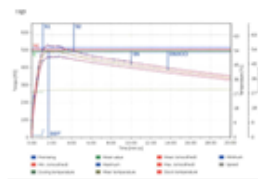


Figure 3. Farinograph of "Terzino" flour. Dough development time 01:41; dough stability time 03:07; water absorption 59.7%

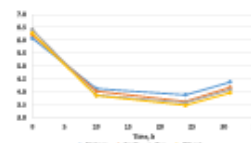


Figure 4. pH change during dough fermentation. pH change in sourdoughs made with different flours had similar dynamics. Einkorn sourdough showed the lowest acidity

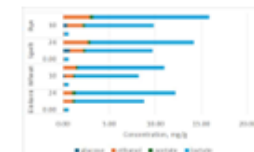


Figure 5. Formation of organic acids during sourdough fermentation up to 24 hours. The highest acid production was observed in rye sourdough. Slightly more acetic acid was detected in rye and einkorn wheat compared to wheat and spelt sourdoughs

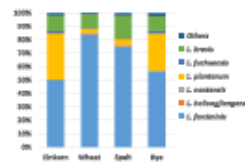


Figure 6. Composition of microbiota in sourdoughs after 24 hours of fermentation. Bacterial composition of rye and einkorn sourdoughs were characterized by higher amounts of *Lactobacillus plantarum* and *L. fuchuseus* while lower content of *L. farcinensis* compared to those of wheat and spelt sourdoughs.

### Discussion and conclusions

- Einkorn as an ancient and nutritious cereal can be grown in Estonia. The wholegrain flour is suitable for sourdough and yeast leavened bread baking.
- It is important to note that natural Einkorn flour has short shelf-life due to high lipid content and lipolytic reactions.
- Refined einkorn flour was not suitable for bread as a single cereal. Use of einkorn wheat in combination with rye and other flours will be tested next.
- Less water amount and shorter mixing time for dough is recommended preparing yeast bread from einkorn.
- Einkorn varieties have potential for bakery products with added value.

**Acknowledgements:** Tõnis and Madis Ajaots from Rannu Seeme OÜ is acknowledged for einkorn flours.

**Financial support:** Estonian Rural Development Plan (MAK) 2014–2020 support for pilot projects and the development of new products, practices, processes and technologies. METK 7-2.1/36 project "Growing single grain wheat in Estonia and diversifying the use of wheat and rye".

More information on the project: <https://www.facebook.com/profile.php?id=100070845773149>

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>

Mina, Airi Männamaa

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Haputainaleib üheteranisujahust ja selle omadused“,

mille juhendaja on Kaarel Adamberg ja kaasjuhendaja Signe Adamberg,

1.1. reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

1.3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

14.01.2025

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.