



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Venla Salonen

Vehnäjauhojen laatuun vaikuttavat tekijät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

31.5.2020

Tekijä Otsikko	Venla Salonen Vehnäjauhojen laatuun vaikuttavat tekijät
Sivumäärä Aika	53 sivua + 2 liitettä 31.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat	tuotekehityspäällikkö Jonna Ranki tuotepäällikkö Oona Ruikka lehtori Pia-Tuulia Laine
<p>Työ tehtiin Myllyn Paras Oy:lle. Yrityksellä on mylly Hyvinkäällä, jossa valmistetaan useita eri jauholaatuja. Työn tavoitteena oli selvittää, vaikuttaako jauhun laatuominaisuuksiin se, mitä jauhotyyppejä valmistetaan samanaikaisesti. Työ aloitettiin tutustumalla myllyn toimintaan ja siihen, mitä jauholaatuja voidaan valmistaa samanaikaisesti. Näiden tietojen pohjalta valittiin neljä eri jauholaatua (puolikarkea ja karkea vehnäjauho, hiivaleipäjauho sekä mannasuurimot), joiden laatuominaisuuksia seurattiin. Lisäksi tavoitteena oli määrittää laaturajaehdotukset kyseisille jauholaaduille.</p> <p>Näytteitä haettiin vastaanäytevarastosta sekä suoraan myllystä. Kaikille näytteille tehtiin tuhka- ja kosteusmääritykset sekä selvitettiin karkeudet seulomalla. Näiden lisäksi puolikarkeasta ja karkeasta vehnäjauhosta sekä hiivaleipäjauhosta määritettiin sakoluku ja sitko, sekä tehtiin NIR-mittaukset. Lisäksi viidelle puolikarkealle vehnäjauhonäytteelle tehtiin koeleivonnat, ja samat näytteet lähetettiin ulkopuoliseen laboratorioon farino- ja ekstensografimäärityksiin.</p> <p>Tulosten perusteella havaittiin, ettei samaan aikaan valmistettavilla jauholaaduilla ollut vaikutusta jauhojen kosteuspitoisuuteen eikä sakolukuun. Tuotantotapa vaikutti jauholaatujen tuhkapitoisuuksiin. Lisäksi tuloksista huomattiin, että tietyllä tavalla valmistetun hiivaleipäjauhon sitkopitoisuus oli korkeampi kuin muilla tavoilla valmistettujen jauhojen. Tuotantotapa vaikutti myös jauholaatujen karkeuteen. Koeleivonnassa yhdestä näytteestä tuli tilavuudeltaan huomattavasti pienempiä leipiä kuin muista näytteistä.</p> <p>Tulosten pohjalta määritettiin ehdotus päivitetystä laaturajoista. Työn muita tuloksia voidaan hyödyntää myllyn jauholaadun optimoinnissa. Työtä voitaisiin jatkaa tarkastelemalla muiden vehnämyllyssä tuotettavien jauhojen laaturajoja. Lisäksi voitaisiin tutkia, aiheuttaako se, mitä jauholaatuja valmistetaan samanaikaisesti, laadunvaihtelua.</p>	
Avainsanat	laaturaja, leivontaominaisuus, mylly, vehnäjauho

Author Title	Venla Salonen Factors affecting wheat flour quality
Number of Pages Date	53 pages + 2 appendices 31 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Biotechnology and Food Engineering
Instructors	Jonna Ranki, Product Development Manager Oona Ruikka, Product Manager Pia-Tuulia Laine, Lecturer
<p>This thesis was made for Myllyn Paras Oy. The company has a mill in Hyvinkää, in which many kinds of flours are made. The aim of this thesis was to find if there is a connection between the quality of the flour and which flours are made at the same time. The first step was to research how the mill works and which flours can be made at the same time. Through the research four different types of flours (semi-coarse wheat flour, coarse wheat flour, dark wheat flour and semolina) were chosen as the type of flours which quality was followed in this thesis. One goal of this thesis was also to define possible updates for quality limits of those flours.</p> <p>The samples were taken from counter sample storage as well as straight from the mill. All samples were tested for ash and moisture concentration as well as coarseness. On top of those tests semi-coarse, coarse and dark wheat flour samples were checked for falling number, viscosity and NIR spectroscopy. In addition, test baking was made for five different semi-coarse wheat flour samples. Those same samples were sent to farinograph and extensograph to outside laboratory for further examinations.</p> <p>On the basis of the test results it was noticed that there was no correlation between which flours were produced at the same time and moisture concentration or falling number. Correlation between which flours were made and ash concentration was noticed. According to the results, the viscosity of dark wheat flour was affected by which flour types were made at the same time. That also had an effect on the coarseness of the flours. The results from test baking showed that one bread was smaller in volume than others.</p> <p>Suggestion on how to update quality limits was determined based on the test results. Other results of this thesis can be used in optimizing the quality of produced flours. Further investigations can be made to update the quality limits for other flours produced at the mill as well as to study if there is an effect on the quality of those flours depending on which products are made at the same time.</p>	
Keywords	baking features, mill, quality limit, wheat flour

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Vehnä	2
2.1	Vehmän viljely ja rakenne	2
2.2	Koostumus	3
2.3	Jauholaadut	5
3	Jauhon laatu ja leivontaominaisuudet	7
3.1	Jauhon laaturajat	7
3.2	Jauhon proteiinipitoisuus ja sitko	7
3.3	Tuhkapitoisuus	8
3.4	Sakoluku	9
3.5	Kosteus, veden aktiivisuus ja vedensidonta	9
3.6	Karkeus	10
4	Vehnämyllyn toiminta	11
4.1	Viljan vastaanotto ja esipuhdistus	11
4.2	Puhdistus	13
4.3	Viljan valmennus	14
4.4	Rouhinta, jauhatus, seulonta, lajittelu ja rakeenpuhdistus	15
4.5	Homogenointi ja laadunvarmistus	16
5	Materiaalit ja menetelmät	16
5.1	Näytteet	16
5.2	Laitteet ja menetelmät	17
5.2.1	Kosteuspitoisuus	17
5.2.2	Tuhkapitoisuus	18
5.2.3	NIR-mittaus	19
5.2.4	Sakoluvun määrittäminen	19
5.2.5	Karkeuden määrittäminen	20
5.2.6	Sitko	20
5.2.7	Koeleivonta	21

5.3	Laaturajojen määrittäminen	22
5.4	Tilastollinen tarkastelu	23
6	Tulokset ja tulosten tarkastelu	24
6.1	Yleistä	24
6.2	Puolikarkea vehnä jauho	24
6.2.1	Tuhka- ja kosteuspitoisuus, sakoluku ja sitko	24
6.2.2	Karkeus	28
6.2.3	Koeleivonnat	29
6.2.4	Farino- ja ekstensogrammi	33
6.3	Hiivaleipäjauho	36
6.4	Karkea vehnä jauho	40
6.5	Mannasuurimot	44
6.6	Laaturajat	46
6.7	Tuloksiin vaikuttavat tekijät	47
7	Yhteenveto	48
	Lähteet	50
	Liitteet	
	Liite 1. Yksisuuntaisen varianssianalyysin tulokset	
	Liite 2. Dallmannin huokoskokotaulukko	

1 Johdanto

Työn toimeksiantajana toimi Myllyn Paras Oy. Yritys toimii Hyvinkäällä, jossa sillä on kaksi tehdasta: mylly ja pakastetehtas. Myllyn toimipisteessä valmistetaan jauhoja, hiutaleita, makaroneja ja suurimoita, kun taas pakastetehtaalla valmistetaan leivontapakasteita ja pakastetaikinoita. Myllyn Paras on Suomen johtava pastatuotteiden ja pakastetaikinallevyjen valmistaja, sekä toiseksi suurin markkinoija hiutaleissa ja jauhoissa. Mylly jalostaakin vuosittain noin 75 000 tonnia viljaa. [1.]

Vehnämyllyssä valmistetaan monia eri jauholaatuja, kuten puolikarkeaa vehnäjauhoa, durum-, erikois- ja hiivaleipäjauhoa sekä vaaleita ja tummia mannasuurimoita. Myllyssä vehnänyyvät jauhetaan jauhoksi. Jauhatuksessa muodostuu ominaisuuksiltaan, kuten karkeudeltaan ja tuhkapitoisuudeltaan, erilaisia jakeita, joita yhdistelemällä saadaan eri jauholaatuja. Se, valmistetaanko vain yhtä jauholaatua vai useampia samanaikaisesti, vaihtelee. Kaikilla eri tavoilla tuotettujen jauholaatujen olisi kuitenkin tärkeää olla mahdollisimman tasalaatuisia, jotta niiden leivontaominaisuudet pysyvät optimaalisina.

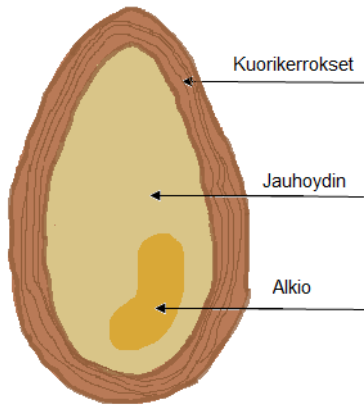
Työn tavoitteena oli selvittää, vaikuttaako se, mitä jauholaatuja valmistetaan samaan aikaan, tuotettavien vehnäjauhojen laatuun. Tavoitteeseen pyrittiin ottamalla näytteitä mahdollisimman laajasti eri valmistusmahdollisuuksista. Tutkittaviksi jauholaaduiksi valittiin puolikarkea ja karkea vehnäjauho, hiivaleipäjauho ja mannasuurimot. Lisäksi oli tarkoitus tehdä ehdotus mahdollisista päivityksistä myllyn käyttämiin laaturajoihin kyseisille jauholaaduille, mikäli jatkossa haluttaisiin tavoitella näytteiden edustamaa laatua. Myllyssä on ollut käytössä laaturajat, jotka on määritetty valmiille, pakatuille tuotteille. Oletuksena kuitenkin oli, että jauhon laatu saattaa muuttua, kun se siirretään myllystä pakkaamoon ja pakataan valmiiksi tuotteeksi. Jauho saattaa esimerkiksi kuivua, tai muuttua koostumukseltaan hienommaksi säilytyksen, pakkaamisen tai valmiin tuotteen siirtämisen aikana. Tämän takia tehtiin ehdotus myllyn laaturajojen päivittämiseen suoraan myllystä otettujen näytteiden laatuarvojen perusteella.

2 Vehnä

2.1 Vehnän viljely ja rakenne

Vehnä on erittäin yleinen viljalaji, ja sitä viljellään kaikissa maanosissa. Sitä on tiedettävästi viljelty vähintään 6000 vuoden ajan alkaen Kiinasta ja Egyptistä. Suomessa viljellään vehnää Jyväskylän korkeudelle asti, vaikka Suomen sääolot eivät ole erityisen suotuisat vehnän viljelyn kannalta. Suomessa auringonvaloa riittäisi pitkään, mutta matalien lämpötilojen takia kasvukausi jää kuitenkin lyhyeksi. Lisäksi vehnä vaatisi paljon kosteutta keväällä ja vähän syksyllä, jotta vettä riittäisi kasvuaikana ja kasvun jälkeen tuuli kuivattaisi viljan. Suomen sää on kuitenkin päinvastainen: syksy on kostea, minkä seurauksena vilja täytyy vielä erikseen kuivata puinnin jälkeen. Vuonna 2019 Suomessa tuotettiin 900 milj. kiloa vehnää [2]. Esimerkiksi muualla Euroopassa pystytään saavuttamaan jopa puolet suurempia satoja kuin Suomessa suotuisien viljelyolosuhteiden ansiosta. Maailmassa tuotettiin vuonna 2019 noin 410,7 miljoonaa tonnia vehnää [3]. Kylmissä sääoloissa viljellyt vehnät voidaan luokitella kevät- tai syysvehnäksi, riippuen niiden kylvöajankohdasta. Kevätvehnät kylvetään keväällä, kun taas syysvehnät syksyllä. Näistä syysvehnä kestää kevätkuivuutta paremmin kuin kevätvehnät. Sadoltaan syysvehnä on tuottoisampaa kuin kevätvehnä, mutta koostumukseltaan kevätvehnällä on korkeampi valkuaisainepitoisuus. [4; 5; 6.]

Vehnänjyvä on siemen, josta voi kasvaa uusi vehnäkasvi. Se on myös vehnän osa, joka jauhetaan jauhoksi. Vehnänjyvät ovat muodoltaan ovaalimaisia, ja ne voidaan jakaa kolmeen tärkeimpään osaan: jauhoytimeen, alkioon ja kuorikerrokseen (kuva 1) [7, s. 50]. Jyvistä suurin osa (n. 80 % sen painosta) koostuu jauhoytimeestä eli endospermistä. Vaalea jauho saadaan jauhamalla jauhodyin, joka sisältää hiilihydraatteja sekä proteiineja. Jauhoytimen ulointa, yhtä jyvän ravintorikkaimmista osista kutsutaan aleuronikerrokseksi, ja se on n. 7 % jyvän painosta. Alkio on kooltaan pieni, vain n. 2 % jyvän painosta, mutta se sisältää paljon vitamiineja sekä kivennäisaineita. Alkio kuitenkin poistetaan jauhamisen yhteydessä, koska sen sisältämät rasvat härskiintyvät helposti säilytyksen aikana ja nopeuttavat näin jauhon pilaantumista. [8.]



Kuva 1. Vehnänjyvän rakenne. Uloimpana on kuorikerrokset, sisempänä jauhoydin ja alkio.

Jyvän kuorikerroksia kutsutaan jauhatuksessa leseeksi. Kuorikerrokset koostuvat useammista kerroksista, joiden tehtävänä on suojella jauhoydintä. Lisäksi ne sisältävät B-vitamiinia ja kivennäisaineita. Alkion tavoin myös leseet poistetaan vaalean vehnäjäuhon jauhatuksen yhteydessä, koska ne ovat kovia ja haittaavat näin jauhon leivontaominaisuuksia rikkoen gluteenin muodostaman sitkoverkoston [7, s. 50]. Täysjyvävehnäjäuhon jauhatuksessa käytetään koko jyvä, ja hiivaleipäjauhoa valmistettaessakin käytetään n. 75 % jyvistä ja osa kuorikerroksista [9]. [8.]

2.2 Koostumus

Vehnäjauho on koostumukseltaan suurimmalta osalta hiilihydraatteja (n. 70 %), joista eniten on tärkkelystä (taulukko 1). Tärkkelyksen lisäksi vehnäjäuhot sisältävät sokereita, joita on hiilihydraattien määrästä n. 0,4 % [7, s. 51]. Tärkkelys on polysakkaridi, joka koostuu pääosin tuhansista glukoosiyksiköistä muodostuneesta suoraketjuisesta amyloosista tai haaroittuneesta amylopektiinistä. Se on kasvien tärkein varastohiilihydraatti ja viljat käyttävät niin amyloosia kuin amylopektiiniäkin energianlähteenään silloin, kun energiaa ei ole riittävästi saatavilla ravinteista [10]. Tällöin viljojen entsyymit hajottavat tärkkelystä glukoosiyksiköiksi, jota viljat pystyvät käyttämään energianlähteenään. Glukoosin lisäksi tärkkelyksen hajoamistuotteena syntyy vettä. [7, s. 25–26, 41; 11, s. 244–245; 12.]

Myös ravintokuidut ovat hiilihydraatteja. Näitä puolikarkea vehnä jauho sisältää n. 4 % ja hiivaleipäjauho n. 5,5 % [7, s. 51]. Ravintokuiduiksi kutsutaan sitä osaa ravinnosta, joka ei pilkkoudu suolistossa ruoansulatusentsyymien vaikutuksesta, vaan se kulkeutuu ruoansulatuskanavaa pitkin paksusuoleen asti, jossa bakteerit pilkkovat sen. Kuituja on sekä veteen liukenevia että liukenemattomia. Vehnäjauhon kuidut ovat pääosin veteen liukenemattomia, kuten ksylaania ja selluloosaa [13]. Selluloosa ja ksylaani ovat polysakkarideja, joista selluloosa koostuu glukoosiyksiköistä, ja ksylaani puolestaan ksyloosiyksiköistä. Ne toimivat vehnässä rakennepolysakkarideina, ja niitä onkin paljon vehnän soluseinissä ylläpitämässä niiden rakennetta. Ihmisten elimistö ei pysty hajottamaan selluloosaa, sillä elimistössä ei ole entsyymiä, joka pystyisi hajottamaan selluloosan rakennesyksiköiden väliset sidokset. [7 s. 41; 11 s. 246–247; 12.]

Kuten taulukosta 1 nähdään, toiseksi suurin komponentti vehnä jauhon koostumuksessa ovat proteiinit, joita vehnä jauho sisältää n. 13 % [7, s. 51]. Proteiinit ovat valkuaisaineita, jotka koostuvat aminohappoketjuista. Ihmisten on saatava osa aminohapoista ruoan mukana, sillä elimistö ei pysty itse valmistamaan kyseisiä aminohappoja. Myös vehnä sisältää kaikkia näitä ihmiselle välttämättömiä aminohappoja, kuten argiinia, leusiinia ja lysiinia. Näistä lysiini on vehnän rajoittava aminohappo, eli se aminohappo, josta ihmiselle tulisi ensimmäisenä puute, jos vehnä olisi ravinnon ainoa proteiinin lähde. Vehnän proteiini koostumus poikkeaa muista viljoista siinä, että sen proteiinit pystyvät muodostamaan sitkon. Sitko muodostuu vehnän sitkoproteiinien, gluteeniin ja gliadiinin yhteisvaikutuksesta, joista gluteeniini antaa taikinalle kimmoiset ominaisuudet, gliadiinin vaikuttaessa taikinan venyvyyteen. Vehnän hyvät leivontaominaisuudet perustuvat juuri sen sitkoproteiinien kykyyn muodostaa sitko, kun taikinaa sekoitetaan veden kanssa [7, s. 41]. [7, s. 29–35.]

Taulukko 1. Puolikarkean vehnä jauhon ja hiivaleipäjauhon tyyppillinen koostumus. [7, s. 51.]

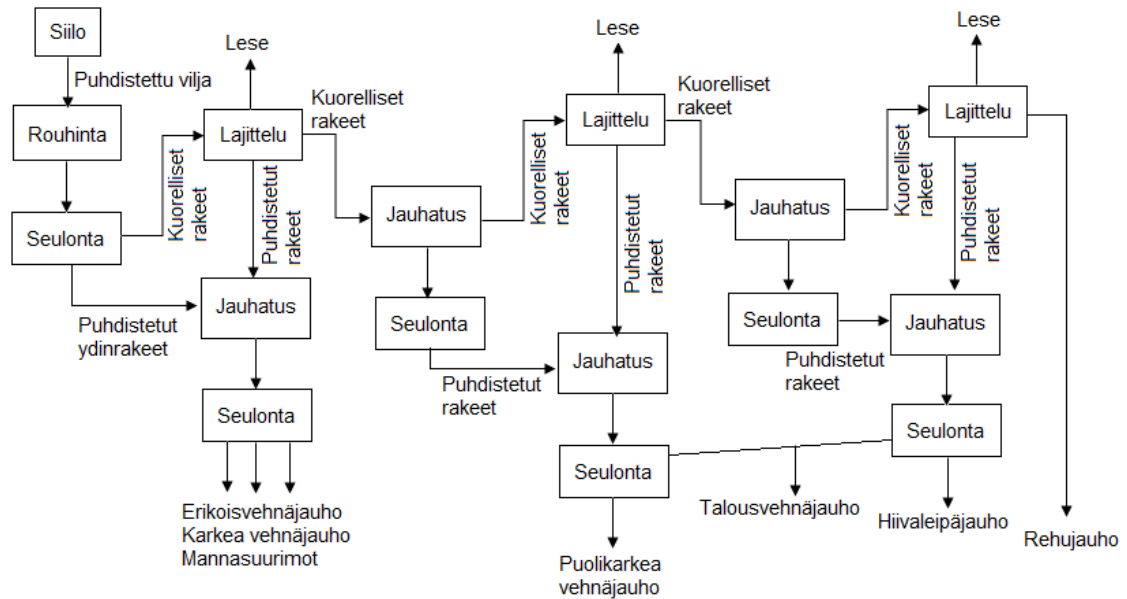
Koostumus	Puolikarkea vehnä jauho	Hiivaleipäjauho
Hiilihydraatit (%)	67	65
joista sokereita (%)	0,4	0,4
Ravintokuitu (%)	3,8	5,5
Proteiinit (%)	13,3	13,5
Rasvat (%)	1,6	2,4
Kivennäisaineet (%)	0,6–0,75	1,1–1,14
Kosteus (vesi) (%)	12,5	12,5

Hiilihydraattien ja proteiinien lisäksi vehnäjauhot sisältävät myös rasvaa ja kivennäisaineita. Näistä rasvaa on vehnäjauhossa n. 2 % [7, s. 51]. Suurin osa vehnäjauhon rasvasta on tyydyttymätöntä, eli pehmeää rasvaa [14]. Näistä vehnäjauhot sisältävät eniten monitydyttymätöntä linolihappoa, joka on ihmiselle välttämätön rasvahappo [15]. Tyydyttynyttä rasvaa niissä on hyvin vähän, ja kolesterolia niissä ei ole ollenkaan. Vehnän rasvakoostumus on siis terveydelle edullinen. Rasvat ovat vehnäjauhoissa sitoutuneina proteiineihin ja tärkkelykseen [16, s. 9]. Lisäksi vehnäjauhot sisältävät kivennäisaineita, joista eniten on kaliumia ja fosforia [17]. Viljatuotteet ovat maitotuotteiden lisäksi yksi suurimmista fosforin lähteistä suomalaisten ravinnossa [18]. [7, s. 42.]

Jauhatuksen aikana hiivaleipäjauhoon sekä puolikarkeaan vehnäjauhoon lisätään askorbiinihappoa parantamaan leivontaominaisuuksia. Askorbiinihappo on sama yhdiste kuin C-vitamiini, mutta jauhoissa sillä ei ole ravitsemuksellista merkitystä: askorbiinihappoa lisätään erittäin pieni määrä ja lisäksi se hajoaa paiston aikana sekä taikinaa valmistettaessa. Askorbiinihappo vaikuttaa taikinan hapetus-pelkistysreaktioihin parantaen sen rakennetta ja vahvistaen sitkoa, sekä nopeuttaen taikinan kohoamista [19, s. 172]. [7, s. 60.]

2.3 Jauholaadut

Vehnänjyvien jauhatuksessa tavoitteena on erottaa lese ja alkiot jauhoystimestä. Jauhatusprosessin aikana syntyy erilaisia jakeita, jotka eroavat toisistaan karkeudella ja värillään, riippuen jakeiden sisältämän leseen määrästä: mitä enemmän lesettä jae sisältää, sitä tummempaa se on. Näitä jakeita yhdistelemällä voidaan muodostaa erilaisia jauholaatuja [7, s. 51]. Kuvassa 2 on havainnollistettu myllyn prosessia sekä esitetty, mistä prosessin vaiheista saadaan valmistettua yleisimpiä jauholaatuja. Yleisin eri jauholaaduista on puolikarkea vehnäjauho, joka saadaan jauhamalla jyvän ydinosa [20]. Se sopii hyvin hiivalla kohotettavien taikinoiden valmistukseen [8]. Mannasuurimot koostuvat karkeiksi jauhetuista jauhoystimestä. Ne valmistetaan erottamalla karkeat jauhoystimet heti jauhatusprosessin alussa. Mannasuurimoita käytetään lähinnä puuron valmistukseen [21]. [7, s. 55.]



Kuva 2. Eri vehnä jauholaatujen valmistus myllyssä. Rouhinta, jauhatus ja seulonta ovat osa myllyn toimintaprosessia.

Karkea vehnä jauho on nimensä mukaisesti karkein vehnä jauholaadusta. Puolikarkean vehnä jauhon tapaan se valmistetaan jyvän ydinosasta. Koska tämä vehnä jauholaatu on karkeaa, sitä on helppo käsitellä: se ei pölyä yhtä paljon kuin hienommaksi jauhetut jauhot. Karkeita vehnä jauhoja käytetään eniten kuohkeiden leivonnaisten valmistamiseen [22]. Hiivaleipäjauhossa on mukana 75 % jyvistä [23]. Lisäksi siinä on osa kuorikerrokista, jotka tekevät jauhosta kuitupitoisempaa kuin puolikarkea vehnä jauho. Tämän ansiosta se sisältää myös enemmän hivenaineita, vitamiineja sekä kivennäisaineita, kuin puolikarkea vehnä jauho [23]. Hiivaleipäjauhosta leivotaan yleensä leipää, ja sen leivontaominaisuudet ovat heikommat kuin puolikarkean vehnä jauhon, sillä hiivaleipäjauho ei pysty muodostamaan yhtä vahvaa sitkoa sen sitkoproteiinien ominaisuuksien sekä suuremman leseeseen määrän takia. Hiivaleipäjauhon kanssa samoihin käyttötarkoituksiin voidaan käyttää myös täysjyvävehnä jauhoa, eli grahamjauhoa. Grahamjauho eroaa hiivaleipäjauhosta siinä, että grahamjauhon valmistamiseen käytetään kaikki jyvän osat. Grahamjauhosta valmistetun taikinan rakenne on heikompi kuin muiden edellä mainituista jauhosta valmistettujen taikinoiden [9]. [7, s. 58.]

3 Jauhon laatu ja leivontaominaisuudet

3.1 Jauhon laaturajat

Tuotettavien vehnäjauhojen olisi hyvä olla tasalaatuisia, jotta niiden leivontaominaisuudet pysyisivät mahdollisimman samanlaisina tuotantoeristä riippumatta. Jauhon laadun ollessa tasaista, kuluttajat voivat luottaa siihen, että leipominen onnistuu samalla reseptillä riippumatta leivontaan käytettävästä jauhoerästä. Vehnäjauhon laatuun ja leipoutuvuuteen vaikuttavat monet eri ominaisuudet, kuten jauhon komponenttien pitoisuudet, karheus ja sakoluku. Tyypillisimmät puolikarkean vehnäjauhon ja hiivaleipäjauhon laadun tavoitteelliset laaturajat on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Vehnäjauhojen tyypilliset laaturajat. [7, s. 51, 53.]

Laaturajat	Puolikarkea vehnäjauho	Hiivaleipäjauho
Proteiini (%)	12–13,5	15–16
Sitko (%)	27–30	27–30
Tuhkapitoisuus (%)	0,6–0,75	1,1–1,4
Sakoluku (s)	250–350	250–350
Kosteus (%)	12,5–14,5	12,5–14,5
Farinogrammi		
Vedensidontakyky (%)	56–60	63–67
Stabiliteetti (min)	8–12	2–5
Taikinan pehmeneminen (BU)	40–70	70–100
Ekstensogrammi		
Venytysvastus 45 min (BU)	400–600	100–300
Venytysvastus 90 min (BU)	700–900	200–400
Suhdeluku	3–7	1–2

Tyypilliset laaturajat on määritelty valmiille tuotteille, seuraamalla tuotteiden laatua ja katsomalla, millä välillä se vaihtelee. Esimerkiksi hiivaleipäjauholle tavoitellaan korkeampaa tuhkapitoisuutta kuin puolikarkealle vehnäjauholle, koska hiivaleipäjauho sisältää jyvän kuoriosia, mikä nostaa sen tuhkapitoisuutta.

3.2 Jauhon proteiinipitoisuus ja sitko

Vehnäjauhot voidaan jakaa heikkoihin ja vahvoihin jauhoihin niiden proteiinipitoisuuden ja -koostumuksen perusteella. Vahvoilla jauhoilla on korkea proteiinipitoisuus ja lisäksi niiden sitkoproteiinit kestävät hyvin sekoitusta, sillä ne muodostavat gluteenin. Heikoilla

jauhoilla puolestaan on matala proteiinipitoisuus, ja niistä valmistettujen taikinoiden sitko on venyvää ja se heikkenee nopeasti taikinaa sekoitettaessa. Vahvasta jauhosta voidaan valmistaa tilavuudeltaan suuria ja rakenteeltaan huokoisia tuotteita, kun taas heikot jauhot soveltuvat tuotteisiin, joita valmistettaessa sitkon on oltava helposti muovautuvaa, kuten esimerkiksi murotaikinat [19]. Leivotun tuotteen koostumuksen lisäksi jauhojen proteiinipitoisuus vaikuttaa myös tuotteen kuoren väriin ja makuun, sillä jauhojen proteiinien ja hiilihydraattien reagoitessa lämmön vaikutuksesta muodostuu ruskeita, maistuvia yhdisteitä. Tätä reaktiota kutsutaan Maillard-reaktioksi [7, s. 172]. [7, s. 51.]

Vehnän sitkoproteiinit tekevät vehnäjäuhosta leivontaan sopivan jauhon. Sitko muodostuu vehnän sitkoproteiinien, gluteeniin ja gliadiinin yhteisvaikutuksesta, kun ne yhdistyvät veden vaikutuksesta massaksi, joka pystyy sitomaan tärkkelystä ja kaasuja sisäänsä [7, s. 84]. Muodostuva sitko vahvistaa taikinan rakennetta, jolloin myös valmiin leivän tilavuus kasvaa. Lisäksi se lisää taikinan vedensidontaa sekä parantaa sen sekoituskäytävyyttä. Vehnäjauhojen leivontaominaisuuksiin vaikuttaa niin sitkon määrä kuin laatuakin. Sitkopitoisuus on vehnäjäuhoissa yleensä tasolla 27–30 %. [7, s. 47; 24, s. 26.]

3.3 Tuhkapitoisuus

Jauhon tuhkapitoisuudella tarkoitetaan ainesta, joka jää jäljelle, kun orgaaninen aines poltetaan pois. Tuhkapitoisuus vaikuttaa jauhon leivontaominaisuuksiin, sillä mitä alhaisempi jauhon tuhkapitoisuus on, sitä vähemmän siellä on jyvän kuoren osia. Alhaisen tuhkapitoisuuden omaava jauho on siis puhtaampaa ydinjauhoa kuin korkean tuhkapitoisuuden omaava jauho, ja näin ollen sillä on paremmat leivontaominaisuudet. Korkean tuhkapitoisuuden omaavista jauhoista valmistetut tuotteet ovat kooltaan pienempiä ja käsiteltävyydeltään huonompia kuin tuhkapitoisuudeltaan matalista jauhoista valmistetut tuotteet. Lisäksi tuhkapitoisuus vaikuttaa tuotteiden väriin ja makuun: mitä suurempi tuhkapitoisuus jauhoissa on, sitä tummempia ja maultaan voimakkaampia leivotut tuotteet ovat. Toisaalta suurin osa jyvien kivennäisaineista sijaitsee kuorikerroksissa, joten korkeamman tuhkapitoisuuden omaavat jauhot sisältävät enemmän kivennäisaineita ja vitamiineja kuin vaaleat jauhot. Puolikarkean vehnäjäuhon laaturaja tuhkapitoisuudelle on 0,6–0,7 % ja hiivaleipäjauholla 1,35–1,50 % (taulukko 2). [7, s. 53–55; 24, s. 24.]

3.4 Sakoluku

Yksi leivonnan kannalta tärkeä jauhon ominaisuus on sakoluku, joka kertoo jyvän itämisasteen. Sakoluku perustuu viljan alfa-amylaasientsyymin aktiivisuuteen: mitä suurempi alfa-amylaasiaktiivisuus on, sitä matalampi on jauhon sakoluku. Jyvässä alfa-amylaasi pilkkoo tärkkelystä sokereiksi, jotta itävä jyvä pystyisi hyödyntämään niitä. Alhaisen sakoluvun omaavien jauhojen itäminen on siis edennyt pidemmälle kuin korkean sakoluvun omaavien jauhojen [25]. Leivonnassa käytettävien vehnäjauhojen sakoluvun tulisi olla noin 250 [26]. Tällöin alfa-amylaasiaktiivisuus on melko matala. Korkea alfa-amylaasiaktiivisuus on haitallinen leivonnassa, sillä se saa aikaan kostean leivän sisuksen. Tämä johtuu siitä, että tuotteen paiston aikana alfa-amylaasi hajottaa liisteröityvää tärkkelystä. Toisaalta liian matala alfa-amylaasiaktiivisuus aiheuttaa liian kuivan sisuksen leivälle. [7, s. 59.]

3.5 Kosteus, veden aktiivisuus ja vedensidonta

Jauhojen laatua voidaan mitata kosteuden avulla. Kosteudella tarkoitetaan jauhojen sisältämää veden määrää [19, s. 404]. Jauhon kosteus vaikuttaa erityisesti sen säilyvyyteen [24, s. 24]. Jauhon liiallinen kosteus lisääkin homeutumisen mahdollisuutta, sillä homeet tarvitsevat vettä kasvamiseen. Homeiden lisäksi myös toukat ja muut ötökät pysyvät elämään kosteissa jauhoissa. Jauhon kosteus vaikuttaa osittain myös leivonnassa tarvittavaan veden määrään: mitä kosteampaa jauho on, sitä vähemmän vettä tarvitaan. Leivonnan yhteydessä on kuitenkin hankala määrittää jauhon kosteutta, joten olisi tärkeää pitää kaikkien erien kosteus mahdollisimman samana, jotta leivontareseptiä ei tarvitse muuttaa. Lisäksi leipien paino laskee paistettaessa yleensä n. 8–20 %. Tämä painon lasku, paistohäviö, johtuu suurimmaksi osaksi veden haihtumisesta [7, s. 173]. Mikäli jauhon kosteuspitoisuus poikkeaa normaalista laadusta, se saattaa siis vaikuttaa valmistettavan tuotteen painoon. [27.]

Kosteuden lisäksi jauhojen laatua voidaan selvittää veden aktiivisuudella. Veden aktiivisuudella tarkoitetaan vapaan veden määrää [19, s. 399–400]. Kun veteen liukenee aineita, esimerkiksi suolaa ja sokeria, ne sitovat vesimolekyylejä ympärilleen heikoilla sidoksilla, vähentäen vapaana olevan veden määrää. Veden aktiivisuutta mitataan a_w

arvolla, joka on 1 silloin kun kaikki vesi on vapaasti käytettävissä. Jauhojen veden aktiivisuuteen vaikuttaa mm. viljan vuotuiset kasvu- ja korjuuolosuhteet, ja se on yleensä n. 0,6, jolloin jauhoissa ei tapahdu muutoksia, koska molekyylien liikkuvuus on vähäistä. Lisäksi jauhoissa ei tapahdu tällöin mikrobiologista pilaantumista, koska vettä ei ole tarpeeksi pilaajamikrobien käytettävänä. Jauhoissa voi kuitenkin olla bakteerien, hiivojen tai homeiden itiöitä, jotka saattavat edistää mikrobiologista pilaantumista veden aktiivisuuden kasvaessa. [7, s. 21; 24, s. 4, 152; 28.]

Jauhon vedensidonnalla tarkoitetaan vesimäärää, joka tarvitaan tietyn kiinteyden omaavan taikinan valmistukseen [29, s. 5]. Vedensidontakyky kasvaa proteiinipitoisuuden kasvaessa [7, s. 56]. Leivonnassa vedensidonnalla on suuri merkitys, sillä paistamisen aikana tapahtuva tärkkelyksen liisteröityminen hidastuu, mikäli osa vedestä on sitoutuneena muihin aineisiin. Tällöin taikinalle jää enemmän aikaa laajentua ennen rakenteen jähmettymistä. [24, s. 4, 152.]

3.6 Karkeus

Vehnäjauhon karkeus vaikuttaa sen leivontaominaisuuksiin. Tietyn jauholaadun karkeuden tulisi olla mahdollisimman samalla tasolla riippumatta tuotantoerästä. Hienoista jauhoista valmistettujen taikinoiden muodostuminen on nopeampaa kuin karkeista jauhoista valmistettujen taikinoiden, koska vettä sitoutuu hienoihin jauhoihin nopeammin sekä määrällisesti enemmän kuin karkeisiin jauhoihin. Jauhojen karkeus vaikuttaa myöskin leivän tilavuuteen, sillä karkeammasta jauhosta tehty leipä on usein tilavuudeltaan pienempi kuin hienommasta jauhosta valmistettu leipä. [24, s. 25.]

Vehnäjauhon karkeutta mitataan seulojen avulla, ja käytetyt seulakoot vaihtelevat yrityksen mukaan. Jauhoille käytetään useampia seuloja kuin mannasuurimoille. Lisäksi jauhoille käytetään tiheämpiä seuloja, koska ne ovat koostumukseltaan hienompijakoisia kuin mannasuurimot. Koostumukseltaan hiivaleipäjauho on karkeampaa kuin puolikarkea vehnäjauho. Vehnäjauholaaduista karkea vehnäjauho on koostumukseltaan karkeinta. [30.]

4 Vehnämyllyn toiminta

4.1 Viljan vastaanotto ja esipuhdistus

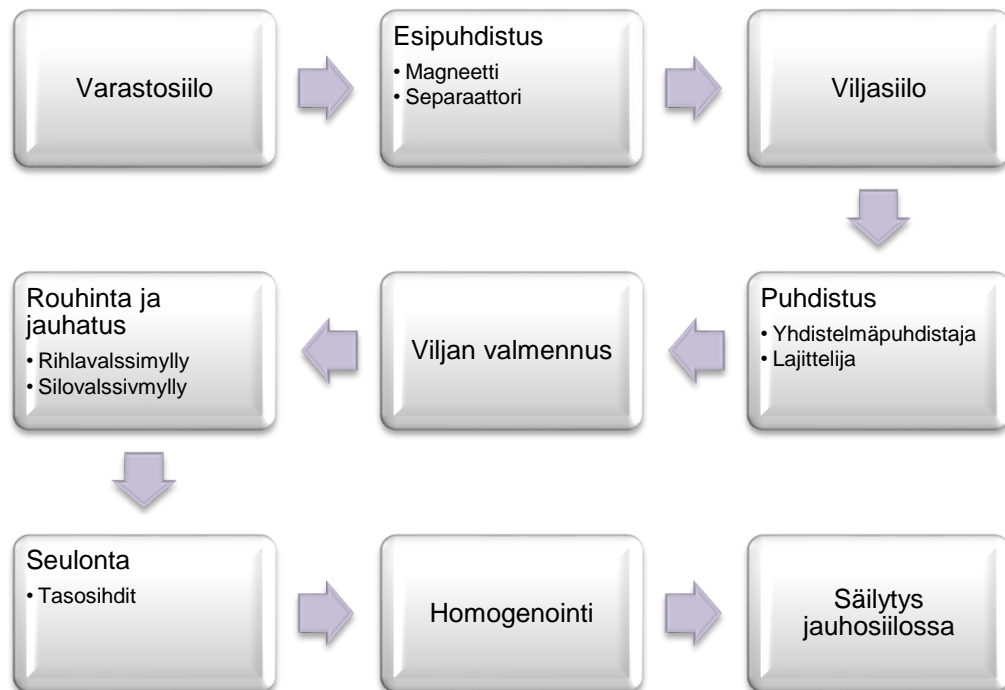
Saapuvan vehnän on täytettävä myllyn asettamat laatuvaatimukset sekä niin EU:n kuin Suomenkin lainsäädännön asettamat ehdot. EU on asettanut mm. raja-arvot joidenkin vierasaineiden, kuten hometoksiinien, enimmäismäärille koskien raakaviljaa [31]. Lisäksi vehnän tulee olla ulkonäöltään ja hajultaan normaalia, tuleentunutta ja tervettä. Vehnän kosteus saa olla korkeintaan 14 %. Saapuvan viljaerän mukana tuodaan viljapassi, joka on viljalähete, johon viljelijä täyttää erää koskevat tiedot. Mikäli kyseessä on luomuvilja, tulee viljapassiin merkitä kyseinen tieto ja lisäksi toimittaa luomutodistus [32]. [33.]

Viljan vastaanotossa varmistetaan, että vehnä täyttää sille asetetut vaatimukset. Jo ennen kuin vehnäerä tuodaan myllyn kippausalueelle, siitä lähetetään ennakkonäyte. Mikäli ennakkonäyte täyttää sille asetetut laaturajat, vehnäerä hyväksytään ja toimitetaan myllyyn. Saapuvasta erästä otetaan kairanäyte, jonka perusteella tehdään päätös siitä, otetaanko erä vastaan ja mihin silloon se ohjataan. Sekä ennako- että kairanäytteestä tehdään NIT-testi, sakoluku, 1000:n jyvän paino, toksiinien määrittely sekä aistinvarainen arviointi. NIT-testillä määritetään vehnän hehtolitraino, kosteus ja proteiinipitoisuus. [34.]

Vastaanotetun vehnän laatumiedot vaikuttavat hintaan, joka viljelijälle maksetaan kyseisestä vehnäerästä. Vehnän valkuaisainepitoisuuden tulee olla vähintään 12 %. Mikäli se on matalampi, vehnä otetaan vastaan vain erikoistapauksissa, edellyttäen mm. hyvää hehtolitrainoa. Hehtolitrainon tulisi olla vähintään 78 kg ja 1000:n jyvän painon vähintään 30 g. Saapuvan vehnän sakoluvun tulee olla vähintään 180. Roskia ja rikkoja saa olla enintään 10 %, ja näistä vieraita lajeja saa olla enintään 2 % ja vihreitä jyviä myös korkeintaan 2 %. [35.]

Vastaanoton ja laadunvarmistuksen jälkeen vehnä esipuhdistetaan (kuva 3). Vilja kulkee magneetin läpi, jonka tarkoituksena on poistaa mahdolliset magneettiset metalliset osat viljan seasta. Käytössä on lähinnä rumputyypisiä magneetteja, sillä ne ovat toimivia ja tehokkaita. Magneetit voivat olla joko lieriön tai kartion muotoisia. Kumpaakin mallia voidaan käyttää viljan puhdistamiseen metalliosista, mutta jauhon puhdistamiseen voidaan

käyttää vain kartion muotoista magneettia, sillä jauho kertyisi lieriön päälle aiheuttaen turvallisuusriskin. Rakenteensa takia magneetti saattaa mennä tukkoon, jos sinne kulkeutuu suurikokoisia vierasesineitä, kuten suuria kiviä. [36.]



Kuva 3. Yksinkertaistettu prosessikaavio jauhon puhdistuksesta ja valmistuksesta myllyssä.

Magneettien jälkeen vilja kulkee separaattorin läpi, jossa tapahtuu viljan alustava puhdistus. Separattoreiden avulla voidaan poistaa sekä liian pieniä että liian suuria partikkeleita viljan seasta. Vilja kulkee eri kokoisten sihtien läpi, jolloin saadaan erotettua partikkelit koon mukaan. Sihtien reikäkokoa vaihtamalla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka suuri osa materiaalista kulkeutuu sihtien läpi. Mikäli halutaan poistaa viljan seasta kevyttä materiaalia, kuten pölyä ja irtonaisia kuoria, separaattoriin voidaan yhdistää aspiraatio. Tällöin viljaa kevyemmät partikkelit saadaan erotettua viljan seasta ilmavirran avulla. Ilmavirta kuljettaa kevyet partikkelit ylöspäin pois painavampien partikkeleiden seasta. Mikäli painavammat partikkelit lähtevät kulkeutumaan ylöspäin ilmavirran mukana, putoavat ne hetken nousun jälkeen alas halutun kokoisten partikkelien sekaan. [36.]

4.2 Puhdistus

Esipuhdistuksen jälkeen vilja luokitellaan tasalaatuisuuden säilyttämiseksi ja tämän jälkeen se siirretään viljasiiloihin [37]. Viljasiilot ovat kooltaan suuria, ja viljaa pitää pystyä siirtämään pitkiäkin matkoja. Viljan kuljetus prosessissa tapahtuu viiden eri mekanismin avulla. Näistä yksi on ketjukuljetin, jota käytetään viljan vaakasuuntaiseen kuljettamiseen. Ketjukuljettimilla viljaa voidaan kuljettaa pitkiäkin matkoja, ja niiden eduksi luetaan myös korkea hygieniataso. Tämän ansiosta ketjukuljettimia käytetäänkin niin kokonaisten viljanjyvien kuin jauhonkin kuljettamiseen. Viljan pystysuuntaiseen kuljettamiseen käytetään puolestaan elevaattoreita. Elevaattoreilla on korkea kapasiteetti ja alhainen energiankulutus. Lisäksi kuljetus voi tapahtua kuljetin- tai sekoitinruuvien tai puhalluslinjan avulla. Näistä kuljetin- ja sekoitinruuvit toimivat samalla tavalla: putken sisällä pyörivä ruuvi kuljettaa viljaa. Ainoana erona on, että sekoitinruuvien avulla viljan joukkoon voidaan lisätä esim. askorbiinihappoa, mutta sen kuljetuskapasiteetti on pienempi kuin kuljetinruuvien. Näillä viljaa voidaan kuljettaa niin pysty- kuin vaakasuuntaan, riippuen siitä, mihin asentoon ruuvi asennetaan [38]. Ruuvien ja sekoitinruuvien käyttöä ei kuitenkaan suositella, koska niiden päihin kertyy likaa, jota on hankala puhdistaa. Puhalluslinjalla on puolestaan hyvä sanitaatiotaso, mutta se soveltuu vain kevyen aineksen kuljettamiseen. [36.]

Viljasiiloista vilja siirretään puhdistukseen. Puhdistuksessa käytetään yhdistelmäpuhdistajaa (*combi cleaner*) ja lajittelukonetta (triööri) [39]. Kummankin menetelmän tarkoituksena on puhdistaa sekä erotella viljaa. Näistä ensimmäisenä vilja kulkeutuu yhdistelmäpuhdistajan läpi. Tämä on nimensä mukaan yhdistelmä useampia puhdistuskoneita. Ylimpänä siinä on separaattori, joka poistaa kevyimmät ja raskaimmat partikkelit perustuen niiden painoon. Tämän jälkeen yhdistelmäpuhdistajassa on kombinaattori aspiraatiolla. Kombinaattorilla tapahtuu kivien ja kevyiden materiaalien erottelu. Tästä kevyt materiaali jatkaa vielä aspiraatiolle, jossa siitä erotella kevyin materiaali. [36.]

Kombinaattorin toiminta perustuu tuotteen painoon, ja sillä erotellaan painavia partikkeleita, kuten metallia, lasia ja kiviä sekä kevyitä partikkeleita. Kombinaattorissa on kolme kerrosta, joissa vilja kulkee. Kuljetus tapahtuu tärisevien levyjen päällä ilmavirrassa. Ilmavirran ansiosta kevyemmät partikkelit nousevat ilmaan ja kelluvat kombinaattorin sihtien yli, kun taas raskaammat partikkelit putoavat reikien läpi alemmalle tasolle.

Alemmalle tasolle pudonneista partikkeleista erotellaan kivet: partikkelit kulkevat tärisiviä levyjä pitkin ilmavirrassa, jolloin ilmavirta saa kevyemmät partikkelit pysymään kyseisellä tasolla raskaampien pudotessa kombinaattorin alimmalle tasolle. Näin saadaan eroteltua kevyimmät partikkelit, jotka kulkevat ylimmällä tasolla, keskikokoiset partikkelit, jotka kulkevat keskimmaisella tasolla sekä painavimmat partikkelit, jotka putoavat alimmalle tasolle. Tavoitteena olisi, että suurin osa viljasta poistuisi keskimmäisen tason ulostuloaukoista. [36.]

Yhdistelmäpuhdistajan jälkeen vilja kuljetetaan lajittelukoneen läpi. Lajittelukoneella poistetaan viljan seasta mm. torajyvät. Torajyvä on viljojen sieniperäinen tauti, joka on vaarallinen niin ihmisille kuin eläimillekin [40]. Lajittelukoneessa viljat kulkeutuvat lajittelusylinteriin, jossa ne kerääntyvät taskumaisiin soluihin. Solujen koko vaikuttaa siihen, minkä kokoiset jyvät niihin mahtuvat. Kooltaan sopivat jyvät kulkeutuvat lajittelukoneen yläosassa sijaitsevaan poistokouruun, kun taas soluihin nähden väärän kokoiset jyvät putoavat lajittelukoneen pohjalle lajittelusylinteriin, josta ne kuljetetaan ulos toisesta poistoaukosta. [39.] Taskumaisten solujen muotoa ja kokoa vaihtamalla voidaan siis vaikuttaa siihen, minkä kokoiset ja muotoiset jyvät kulkeutuvat ulos lajittelukoneessa minkäkin poistoaukon kautta. Lajittelukoneella tarkoitetaan usein kompleksia, jossa on ylimpänä lajittelukone pyöreiden jyvien poistoon ja tämän alla pitkien jyvien poistamiseen tarkoitettu lajittelukone. Alimpana on usein erottelukoneet, joilla pystytään tarkemmin erottelemaan lajittelukoneen jätteeksi lukema tavara. Vehnän kannalta on huomioitava, että ilman erottelua lajittelukoneen läpi kulkevasta vehnästä menetetään isot vehnänyyvät pitkien jyvien poistamiseen tarkoitetussa lajittelukoneessa. Mikäli erottelua ei tehtäisi, menetettäisiin myös pienet, pyöreät jyvät pyöreiden jyvien poistamiseen tarkoitetussa lajittelukoneessa. [36.]

4.3 Viljan valmennus

Viljan puhdistuksen jälkeen se valmennetaan, eli viljan kosteus nostetaan n. 16 %:iin. Valmennus tehdään, jotta jyvä mureutuu ja lese irtoaa siitä paremmin. Lisäksi valmennuksen ansiosta lese säilyy irrotessaan isompina paloina kuin ilman valmennusta. Viljan korkea kosteus vaikuttaa myös saantoon, sillä valmistettavan jauhun massa kasvaa ja tuhkapitoisuus laskee. Valmennuksessa vilja kostutetaan, jonka jälkeen se siirretään valmennussiiloihin. [36.]

Viljan kostuttaminen tapahtuu kastelujärjestelmän ja sekoitusruuvien avulla. Viljan liikkuessa sekoitusruuvien avulla kohti valmennussiiloo siihen lisätään vettä. Lisättävän veden määrä ei saa olla liian suuri, koska tällöin valmennussiiloon menee liikaa kosteutta. Sekoitusruuvin pyöriminen rikkoo veden pintajännityksen, minkä seurauksena vilja imee vettä itseensä. Nopeus ei saa kuitenkaan olla liian suuri, sillä vaikka korkea nopeus rikkoo pintajännityksen paremmin kuin hidas, se voi myös vahingoittaa viljaa. Viljan kosteutta tarkkaillaan ottamalla näytteitä valmennussiilosten ulostuloista. [36.]

Viljan valmennusaikaan vaikuttaa viljan kovuus, proteiinipitoisuus, kosteuspitoisuus sekä viljan ja käytetyn veden lämpötilat. Mitä kovempi ja proteiinipitoisempi vilja on kyseessä, sitä kauemmin valmennukseen menee. Esimerkiksi kovalle vehnälle suositeltu valmennusaika on 24–36 tuntia, kun taas pehmeälle vehnälle suositeltu aika on vain 6–12 tuntia. Myös matala viljan ja veden lämpötila hidastavat valmennusta. Lisäksi viljan alkuperäinen kosteuspitoisuus sekä haluttu tavoitekosteuspitoisuus vaikuttavat valmennuksen keston. [36.]

4.4 Rouhinta, jauhatus, seulonta, lajittelu ja rakeenpuhdistus

Valmennussiilosta vilja kuljetetaan valssimyllyjen läpi, joissa se rouhitaan. Valssimyllyt ovat joko rihla- tai silovalssimyllyjä. Rihlavalssseja käytetään jyvien rikkomiseen ja avaamiseen, kun taas silovalsseilla pilkotaan jyviä ja irrotetaan jyvän ydinaines sen kuoresta. Valssit toimivat valssipareina, joissa toinen valssi pyörii nopeammin kuin toinen. Tällöin jyvät eivät vain kulkeudu suoraa valssin läpi, vaan puristuvat valsseja ja muita jyviä vasten. [36.]

Rouhinnan ja jauhatuksen jälkeen vilja seulotaan. Tähän käytetään tasosihdejä. Tasosihdeissä vehnä kulkee ylhäältä alaspäin eri kokoisten sihtien läpi. Yhteensä sihtejä on viisi. Niiden koko pienenee alaspäin mentäessä, joten ylimpänä olevalle sihdille jää karkeimmat partikkelit (rikottu, karkea aines) ja pohjalle hienoimmat partikkelit (jauho). Tasosihdin liike perustuu sivuttaissuuntaisesti tapahtuvaan liikkeeseen, mikä mahdollistaa suuremman kapasiteetin kuin täryyn perustuva sihti. [36.]

Tasosihdin pohjalle kertynyt jauho ohjataan siiloon, kun taas karkeampi aines kuljetetaan raekoneeseen. Raekoneen tehtävänä on erottaa pinta- ja ydinrakenteet toisistaan. Tämä

tapahtuu ilmavirran avulla. Erotetut pintarakenteet ja ydinrakeet jauhetaan uudelleen. Raekoneella pystytään vaikuttamaan jauhojen tuhkapitoisuuteen, sillä kyseisellä koneella saadaan valmistettua alhaisemman tuhkapitoisuuden omaavaa jauhoa, kun poistetaan sieltä pintarakenteita. Mannasuurimot ovat vehnänjyvien ydinosa, ja niitä saadaankin ohjaamalla raekoneen erottelemat jyvän ydinrakeet omaan silloonsa [41]. [36.]

4.5 Homogenointi ja laadunvarmistus

Homogenoinnissa jauhatuksen yhteydessä saatuja jauhojakeita sekoitetaan yhdeksi, tasalaatuiseksi tuotteeksi. Homogenoinnin yhteydessä seurataan jauhon laatua, jotta osataan yhdistää jauhojakeita oikeissa suhteissa. Valmiin jauhun haluttu laatu määrää siihen, paljonko eri jauhojakeita sekoitetaan yhteen. Niin jakeiden kuin homogenoidunkin jauhun tuhkapitoisuutta seurataan pikamittarilla, jonka ansiosta jauhojen sekoitussuhdetta voidaan säätää oikean tuhkapitoisuuden saavuttamiseksi. [36; 37.]

Tuhkapitoisuuden määrittämisen lisäksi valmis jauhoerä kuljetetaan magneetin läpi, jotta voidaan varmistaa, ettei jauhon seassa ole metalliosia. Jauhon laatu varmistetaan myös sterilaattoreilla, jotka iskevät jauhon laitteen ulkoreunoihin kovalla vauhdilla, mikä rikkoo jauhon mahdollisesti sisältämiä hyönteisten munia. Lisäksi myllärit ottavat näytteitä jauhosta ja seuraavat näytteiden avulla jauhon proteiini-, kosteus- ja tuhkapitoisuutta sekä vedensidontaa [42]. Valmis, laadultaan oikeanlainen jauho siirretään jauhosiiloihin (kuva 3), joissa sitä säilytetään niin kauan, kunnes sitä aletaan pakata joko säkkeihin tai vähittäiskauppapakkausiksi jauhopakkaamossa [37]. [36.]

5 Materiaalit ja menetelmät

5.1 Näytteet

Työn aluksi tutustuttiin vehnämyllyn toimintaan ja selvitettiin, mitä eri vehnäjauholaatuja pystytään valmistamaan samaan aikaan. Myllyyn perehdyttiin tutustumalla tuotantoraportteihin sekä keskustelemalla mylläreiden kanssa. Keskusteluiden ja tuotantoraporttien pohjalta valittiin neljä eri jauholaatua tutkittaviksi. Jauholaaduksi valittiin puolikarkea

ja karkea vehnäjauho, hiivaleipävehnäjauho ja mannasuurimot. Näytteitä pyrittiin hankkimaan kaikista mahdollisista tuotantoyhdistelmistä: puolikarkeasta vehnäjauhosta 15, hiivaleipäjauhosta 10, karkeasta vehnäjauhosta 4 ja mannasuurimoista 7 näytettä (taulukko 3).

Taulukko 3. Työssä tutkitut jauholaadut, tuotantotavat sekä kyseisillä tuotantotavoilla valmistetut näytteet. Osa näytteistä haettiin suoraan myllystä, osa vastaanäytevarastosta.

Jauholaatu	Tuotantotapa	Näytteet
Puolikarkea vehnäjauho	1	P1–P5
	2	P6–P8
	3	P9–P12
	4	P13
	5	P14
	6	P15
Hiivaleipäjauho	7	H1–H5
	8	H6, H7
	9	H8–H10
Karkea vehnäjauho	10	K1–K3
	11	K4
Mannasuurimot	12	M1, M2
	13	M3–M5
	14	M6
	15	M7

Näytteitä haettiin myllyn varastosta sekä suoraan jauhomyllystä. Varastosta haetut näytteet olivat vastaanäytteitä, joita oli viety varastoon aina kyseistä jauholaatua valmistettaessa. Puolikarkeaa vehnäjauhoa sekä hiivaleipäjauhoa valmistettiin useammin kuin karkeaa vehnäjauhoa ja mannasuurimoita, joten näytteitä saatiin enemmän kyseisistä jauholaaduista kuin mannasuurimoista ja karkeasta vehnäjauhosta. Kaikki näytteet olivat ajalta 29.11.2019–2.4.2020.

5.2 Laitteet ja menetelmät

5.2.1 Kosteuspitoisuus

Näytteiden kosteuspitoisuudet määritettiin punnitsemalla 10 g näytettä uuninkestävään näyteastiaan. Näytteen ja näyteastian yhteispaino kirjoitettiin muistiin, jonka jälkeen astia

siirrettiin uuniin. Näytettä pidettiin Thermo Scientific Heratherm -uunissa tunnin ajan, lämpötilan ollessa 130 °C. Tämän jälkeen näyte ja näyteastia punnittiin. Kosteus saatiin määritettyä laskemalla tunnin aikana näytteestä haihtunut kosteus: vähennettiin näyteastian ja näytteen yhteispainosta tunnin jälkeen punnittu paino. Jokaisesta näytteestä tehtiin kolme rinnakkaista määrittystä.

5.2.2 Tuhkapitoisuus

Tuhkapitoisuus määritettiin myllyn laadunvalvonnan laboratorion ohjeiden mukaan. Karkeaa ja puolikarkeaa vehnä jauhoa sekä mannasuurimoita punnittiin 5–6 g ja hiivaleipäjauhoa 2–3 g metallisiin näyteastioihin. Hiivaleipäjauhoa punnittiin vähemmän kuin muita näytteitä, koska oletettiin sen tuhkapitoisuuden olevan korkeampi. Näyteastioiden painot oli vakioitu kuumentamalla astioita uunissa 920 °C:ssa 35 minuutin ajan ja tämän jälkeen jäädyttämällä niitä 30 minuuttia eksikkaattorissa. Näytteisiin lisättiin 1 ml etanolia, jonka jälkeen ne siirrettiin uuniin, jossa ne syttyivät palamaan näkyvillä liekeillä. Kun liekit olivat sammuneet, suljettiin uunin luukku ja poltettiin näytteitä 920 °C:ssa kaksi tuntia. Määrittäksessä käytettiin Linn High Therm MK39 GWB -uunia. Tämän jälkeen näytteet siirrettiin eksikkaattoriin jäähtymään tunnin ajaksi. Jäähtyneet näytteet punnittiin analyysiväällä. Tuhkapitoisuus saatiin laskettua kaavan 1 mukaan.

$$\frac{100*(b-a)*100}{M*(100-F)} \quad (1)$$

Kaavan 1 muuttujat:

- a = tyhjän näyteastian paino, g
- b = näyteastian paino, jossa on tuhka jäljellä, g
- M = näytteen paino, g
- F = näytteen kosteuspitoisuus, %

Jokaiselle näytteelle tehtiin rinnakkaismäärittäykset. Mikäli puolikarkeiden tai karkeiden vehnä jauho- tai mannasuurimonäytteiden rinnakkaismäärittäyksistä saadut tulokset erosivat toisistaan yli 0,02 g, tehtiin näytteistä vielä kolmas tuhkamääritys.

Hiivaleipäjauhonäytteille vastaava raja oli 2 %. Hiivaleipäjauholla oli eri virheraja, koska sen tuhkapitoisuuden oletettiin olevan korkeampi kuin muiden tutkittujen jauholaatujen.

5.2.3 NIR-mittaus

NIR (Near Infrared Spectroscopy) on spektroskopian menetelmä, jossa hyödynnetään lähi-infrapuna-aluetta [43]. Mittaustapaa voidaan käyttää jauhojen komponenttien määrittämiseen. NIR-mittauksiin käytettiin Perten Instrumentsin DA 7250™ NIR -analyysilaitetta. NIR-mittaukset tehtiin puolikarkeille ja karkeille vehnäjäuhonäytteille sekä hiivaleipäjauhonäytteille. Mannasuurimoille ei tehty kyseistä määrittystä, koska NIR-laitteelle ei ole määritetty mannasuurimoille sopivaa ohjelmaa. Mannasuurimoille saadut NIR-testien tulokset eivät siis olisi luotettavia.

Ennen NIR-määrittämiä laite kalibroitiin hyödyntäen aikaisempia laboratoriossa tehtyjä tuhka- ja kosteusmäärittämiä, sekä samoille näytteille tehtyjä NIR-määrittämiä. Näitä tuloksia vertaamalla laskettiin NIR-laitteen tasokorjaukseen käytetyt arvot. Laitetta ei tasokorjattu myöhemmin, vaan käytettiin samaa kalibrointia koko insinöörityön kokeellisen osan aikana, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia.

NIR-testit tehtiin kaatamalla näytettä muoviseen näyteastiaan. Näytteen pinta tasoitettiin viivoittimen avulla. Tämän jälkeen valittiin laitteelta joko korkealle tuhkapitoisuudelle (hiivaleipäjauho) tai matalalle tuhkapitoisuudelle (puolikarkea ja karkea vehnäjäuho) määritetty ohjelma ja aloitettiin mittaus painamalla start-painiketta. Laite mittasi näytteen hyödyntäen lähi-infrapunasäteilyä, jonka jälkeen se tulosti automaattisesti tulokset paperille. Mittauksesta saatiin määritettyä näytteiden tuhka-, kosteus- ja proteiinipitoisuus sekä vedensitomiskyky. Lisäksi karkealle ja puolikarkealle vehnäjäuholle saatiin määritettyä zelenu-luku, joka kertoo sitkoproteiinien määrästä ja leivontalaadusta [7, s. 54]. NIR-mittaukset pyrittiin tekemään näytteille samaan aikaan kuin uunilla tehdyt kosteus- ja tuhkamittaukset, jotta tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia.

5.2.4 Sakoluvun määrittäminen

Sakoluku määritettiin Perten Instrumentin Falling Number® FN 1000 -laitteella. Sakoluku määritettiin puolikarkeasta ja karkeasta vehnäjäuhosta sekä hiivaleipäjauhosta.

Mannasuurimoista ei siis määritetty sakolukua, koska sen ei koettu olevan mannasuurimoiden laadulle oleellinen arvo. Sakoluku määritettiin punnitsemalla 6,7 g näytettä koeputkeen. Tämän jälkeen lisättiin 25 ml tislattua vettä ja sekoitettiin näyte. Koeputkeen lisättiin mäntä, jonka jälkeen se siirrettiin laitteeseen kuumaan veteen. Laite sekoitti näytteitä 60 s, jonka jälkeen mäntä nostettiin ylös. Tämän jälkeen männän annettiin vapaasti laskeutua näytteessä. Sekoituksen ja kuumuuden ansiosta jauhun alfa-amylaasientsyymi alkaa pilkkoa tärkkelystä. Mitä enemmän alfa-amylaasiaktiivisuutta näytteessä on, sitä enemmän tärkkelys pilkkoutuu sekoituksen aikana. Sekoituksen jälkeen laite mittaa, kuinka kauan männällä kestää laskeutua näytteen läpi. Mitä enemmän tärkkelystä on pilkkoutunut, sitä nopeammin mäntä laskeutuu. Tulokseksi saadaan sakoluku, joka kertoo ajan, joka männältä kuluu laskeutumiseen sekunteina. Kyseinen luku kuvaa siis näytteen entsyymiaktiivisuutta: jos sakoluku on suuri, tärkkelys ei ole pilkkoutunut entsyymien vaikutuksesta, vaan mäntä on laskeutunut hitaasti tiiviin tärkkelyksen läpi. Jos sakoluku on pieni, näytteen entsyymiaktiivisuus on suuri, sillä entsyymit ovat pilkkoneet tärkkelyksen. Laitteella voidaan määrittää yhtäaikaista kaksi näytettä, joten näytteille tehtiin kaksi rinnakkaista määrittystä. Mikäli rinnakkaiset tulokset poikkesivat paljon toisistaan (15 s tai yli), tehtiin vielä kolmas määrittys. [44.]

5.2.5 Karkeuden määrittäminen

Karkeus määritettiin käyttäen Fritsch Analysette 3 Spartan -seulakonetta. Näytettä punnittiin 100 g, jonka jälkeen sitä seulottiin 5 min amplitudilla 2. Jauhonäytteitä seulottaessa jokaiselle seulalle lisättiin kaksi kuminoppaa, jottei jauho paakkuuntuisi seuloille. Käytetyt seulat olivat jauhoille 200 µm, 160 µm, 125 µm ja 90 µm ja mannasuurimoille 500 µm ja 160 µm. Seulomisen jälkeen jokainen seula sekä pohja punnittiin erikseen. Painoista vähennettiin tyhjiä seulojen painot, jotka olivat entuudestaan tiedossa. Näin saatiin selville, paljonko näytettä jäi millekin seulalle ja saatiin selville näytteen karkeus.

5.2.6 Sitko

Näytteiden märkäsitkot määritettiin käyttäen Perten Instrumentsin Glutomatic® -laitetta. Sitkomäärittäminen tehtiin kaikille muille näytteille paitsi mannasuurimoille, koska mannasuurimoita käytetään yleensä puuron valmistukseen eikä leivontaan. Sitko on leivonnassa tärkeä ominaisuus, mutta puuron keitossa se ei ole oleellinen.

Määrityksiä tehtiin samanaikaisesti kaksi rinnakkaista yhdelle näytteelle. Näytettä punnittiin 10 g seulakasetteihin, joihin oli asetettu 88 mikronin polyesteriseulat [45]. Seulakasetteihin lisättiin 5 ml 2 %:sta NaCl-liuosta, jonka jälkeen ne asetettiin laitteeseen. Laite sekoitti näytteet ja suolaliuoksen taikinaksi 20 sekunnin aikana, jonka jälkeen laite aloitti automaattisesti pesemään näytteitä. Pesuvaihe kesti viisi minuuttia. Kun pesu oli valmis, muodostuneet taikinat siirrettiin pienempiin seulakasetteihin, joissa niitä sentrifugoitiin minuutin ajan nopeudella 6000 ± 5 rpm. Sentrifugoinnin jälkeen näytteet kaavittiin pois seulakaseteilta käyttäen lastaa, ja punnittiin vaa'alla. Märkäsitko saatiin kertomalla saadut punnitustulokset kymmenellä, ja laskemalla näiden keskiarvo.

5.2.7 Koeleivonta

Koeleivonta päädyttiin tekemään vain puolikarkealle vehnäjauholle, koska se on seuraavista jauhoista myllylle tärkein tuote. Koeleivonnat tehtiin viidelle eri näytteelle, joista jokainen oli valmistettu eri tavalla kuin muut näytteet. Leipomiseen käytettiin myllyn laadunvalvonnan laboratorion koeleivonnassa käytettävää reseptiä. Resepti on tehty mahdollisimman pelkistetyksi, jotta jauhон ominaisuudet tulisivat esille paistettaessa. Taikina valmistettiin punnitsemalla 1100 g näytettä ja lisäämällä siihen 11 g kuivahiivaa, 17 g suolaa ja 30 g öljyä. Lopuksi lisättiin 619 g vettä, jonka lämpötila oli 40 °C. Veden lämpötila mitattiin lämpömittarilla, jotta se olisi sama joka leivontakerralla. Taikinan valmistuksessa käytettiin Kitchen Aid Professional -leivontakonetta, jotta vaivaus tapahtuisi mahdollisimman samalla tavalla joka näytettä käsiteltäessä. Taikinaa vaivattiin nopeudella 1 kahden minuutin ajan ja tämän jälkeen nopeudella 2 seitsemän minuuttia. Tämän jälkeen taikinan annettiin levätä kulhossa 15 minuuttia. Kun taikina oli levännyt, punnittiin siitä neljä palaa (400 g), jotka pyöriteltiin ensin palloiksi ja tämän jälkeen käytettyjen leipävuokien pituisiksi soikioiksi. Leipien annettiin levätä vuoissa 15 minuuttia, jonka jälkeen ne siirrettiin Dieta Combi CEX -uuniin, jossa niitä kohotettiin "Kohotus"-ohjelmalla 40 minuuttia. Kohotuksen aikana uuni vaihteli sekä lämpötilaa että ilman suhteellista kosteutta automaattisesti. Kohotuksen jälkeen leivät siirrettiin uunin päälle odottamaan, kun uunia esilämmitettiin 10 minuuttia. Tämän jälkeen leivät siirrettiin takaisin uuniin ja ne paistettiin käyttäen "Leivän paisto" -ohjelmaa, joka paistoi leipiä 30 min vaihdellen lämpötilaa automaattisesti. Paiston alussa uuniin lisättiin vesihöyryä 6 s, jotta leivän pinta paistuisi rapeaksi.

Valmiit leivät kaadettiin pois vuosta, jonka jälkeen leipien annettiin jäähtyä 30 minuuttia. Tämän jälkeen ne punnittiin. Vähentämällä taikinan painosta valmiin leivän paino saatiin määritettyä paistohäviö. Punnitsemisen jälkeen määritettiin leipien tilavuus käyttäen laadunvalvonnan laboratoriossa aikaisemmin käytettyä hirssisuurimoihin perustuvaa menetelmää. Valmisteltiin tilavuusmääritys siirtämällä tyhjä laatikko tyhjän, syvän vuon päälle. Laatikko täytettiin hirssisuurimoilla, tasoitettiin pinta viivoittimella ja otettiin laatikossa olevat hirssisuurimot talteen. Laatikon reunojen yli vuokaan valuneet suurimot heitettiin pois. Tämän jälkeen laitettiin osa talteen otetuista hirssisuurimoista laatikon pohjalle, asetettiin leipä laatikkoon ja kaadettiin loput suurimoista sen päälle. Tasoitettiin laatikon pinta viivoittimella, jonka jälkeen mitattiin laatikosta yli valuneiden hirssisuurimoiden tilavuus mittalasilla. Näin saatiin määritettyä leivän tilavuus, sillä yli valuneiden hirssisuurimoiden ja leivän tilavuus olivat samat.

Paistohäviön ja tilavuuden lisäksi leivistä määritettiin huokoskoko ja korkeus. Nämä määritettiin leikkaamalla leivästä siivuja. Ensiksi siivujen korkeus mitattiin viivoittimella ja tämän jälkeen otettiin niistä kuvia. Kuvia verrattiin Dallmannin asteikkoon ja määritettiin niiden huokoskoot. Dallmannin asteikossa leivät arvioidaan asteikolla 1–8, ja huokoskooltaan pienet ja tasalaatuiset leivät saavat arvoksi 8. Sekä valmiita leipiä että taikinaa arvioitiin myös aistinvaraisesti. Taikinasta arvioitiin sen koostumusta ja leipoutuvuutta, kun taas valmiista leivästä arvioitiin makua, hajua, väriä ja koostumusta.

5.3 Laaturajojen määrittäminen

Saatujen tulosten perusteella määritettiin ehdotukset myllyn laaturajojen päivityksestä puolikarkealle ja karkealle vehnäjauholle, hiivaleipäjauholle ja mannasuurimoille. Laaturajojen päivitysehdotukset määritettiin kaikille tutkituille arvoille (tuhka- ja kosteuspitoisuus, sakoluku, sitko ja karkeus). Näistä sitkopitoisuusmäärittäminen mylläreiden ei ole mahdollista tehdä ottamilleen näytteille, koska sitkopitoisuuden määrittäminen vie paljon aikaa. Samasta syystä myllärit selvittävät näytteiden tuhka- ja kosteuspitoisuuden käyttäen NIR-laitetta eikä uunia. Laaturajat laskettiin kuitenkin uunissa tehtyjen tulosten perusteella, koska niiden oletettiin olevan lähempänä todellista arvoa kuin NIR-laitteella mitattujen arvojen. Lisäksi NIR-laitetta kalibroidaan tasaisin väliajoin, mikä saattaa vaikuttaa siihen, mitä tuloksia NIR-laite näyttää. Kalibrointi tehdään käyttäen uunikosteuksia ja -

tuhkapitoisuuksia, ja tavoitteena onkin, että NIR-laite näyttää mahdollisimman saman tuloksen kuin uunilla tehdyt kokeet.

Laaturajojen päivitysehdotukset laskettiin saaduista laatutuloksista. Täytyy kuitenkin huomioida, ettei jauhönäytteiden laatu ollut välttämättä tavoitteellinen. Ennen laaturajojen hyväksymistä täytyisikin miettiä, mikä on kunkin jauholaadun tavoitteellinen laatu. Laaturajojen päivitykset määritettiin laskemalla tuloksista saadut keskiarvot ja keskihajonnat. Alarajat saatiin vähentämällä keskiarvosta keskihajonta, ja yläraja lisäämällä keskihajonta keskiarvoon. Laaturajoja laskettaessa kaikkia tuloksia ei otettu mukaan laskuihin: mikäli yksittäinen tulos erosi suuresti muista tuloksista, se jätettiin pois, koska oletettiin suuren eron johtuvan poikkeamasta jauholaadun valmistusprosessissa tai mittausvirheestä. Lisäksi laaturajoja määritettäessä otettiin huomioon tulosten minimi- ja maksimiarvot. Mikäli keskihajonnan erotus keskiarvosta antoi paljon pienemmän tuloksen kuin pienin saatu tulos, laaturajoissa käytettiin minimiarvoa. Päinvastoin, jos keskihajonnan summa keskiarvoon antoi paljon suuremman luvun kuin saatujen tulosten maksimiarvo, käytettiin laaturajojen ylärajana maksimiarvoa. Laaturajojen päivitysehdotuksia määritettäessä huomioitiin myös käytössä olevat laaturajat: päivitettyjen laaturajojen ilmoittamiseen käytettiin samaa tarkkuutta kuin käytössä olevien laaturajojen ilmoittamiseen. Laskennallisesti määritettyjä laaturajoja verrattiin kirjallisuudesta saatuihin tavoitearvoihin.

Vaikka mannasuurimoille ei tehty NIR-mittauksia, määritettiin mannasuurimoidenkin tuhka- ja kosteuspitoisuuksien laaturajojen päivitysehdotukset. Tarkoituksena on, että mannasuurimoille luodaan oma ohjelma NIR-laitteeseen, jolloin myllärit pystyisivät seuraamaan myös mannasuurimoiden laatua nopean NIR-mittauksen avulla. Mannasuurimoiden laaturajat tuhka- ja kosteuspitoisuuden suhteen ovat siis tärkeitä tulevaisuudessa.

5.4 Tilastollinen tarkastelu

Tuotantotapojen tuhka-, kosteus ja sitkopitoisuuksille sekä sakoluvuille tehtiin yksisuuntainen varianssianalyysi. Jos tuotantotapojen välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero, selvitettiin minkä tuotantotapojen välillä kyseinen ero oli Bonferronin testillä. Tilastolliseen tarkasteluun käytettiin Microsoft Excel-laskentataulukko-ohjelmaa. Karkeuden määrittämiselle ei tehty tilastollista tarkastelua, koska seulonnoille ei tehty

rinnakkaismääriytyksiä. Tuloksia ei siis ollut tarpeeksi tilastolliseen tarkasteluun, koska osasta valmistustapoja oli vain yksi näyte.

6 Tulokset ja tulosten tarkastelu

6.1 Yleistä

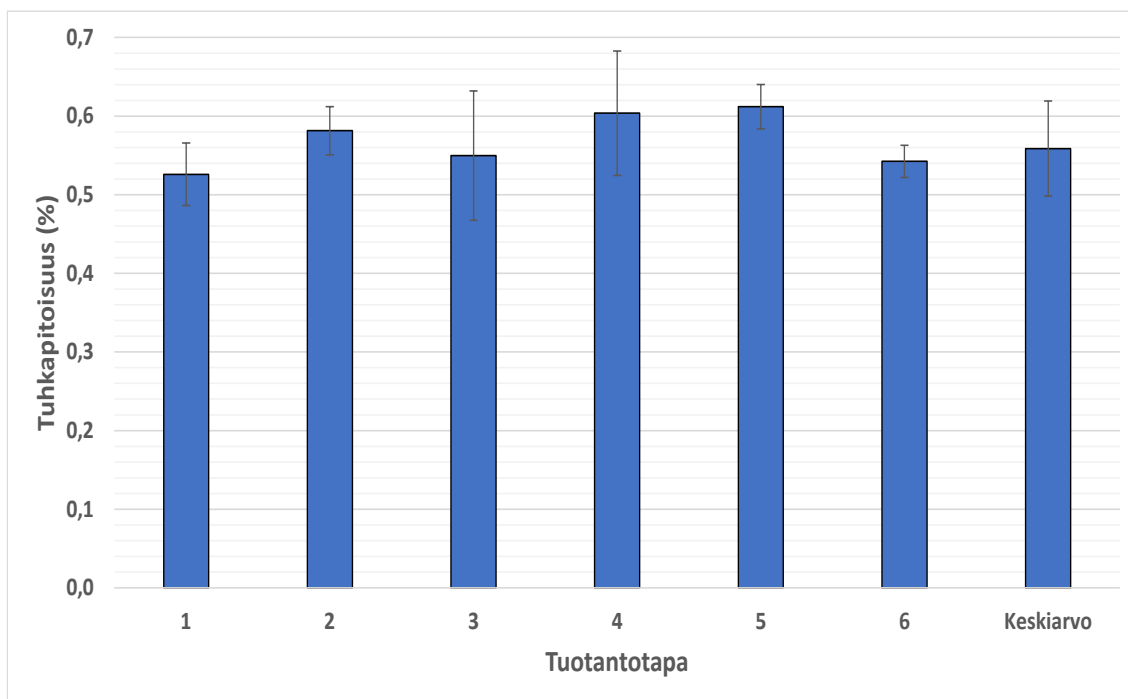
Eri tuotantotavoilla valmistettuja näytteitä oli eri määrät, mikä vaikutti tulosten luotettavuuteen. Joistain tuotantotavoista oli vain yksi näyte. Kuvissa esitetyt keskihajonnat laskettiin kaikkien saatujen tulosten (myös rinnakkaismääriytysten) perusteella. Tämän seurauksena myös tuotantotavoille, joista oli vain yksi näyte, on esitetty keskihajonnat.

Tuloksissa ei otettu kantaa siihen, paljonko mitäkin jauholaatua tuotettiin ajojen aikana. Tuloksissa ei myöskään huomioitu sitä, että jauho sekoittuu vielä siilossa, vaan näytteet otettiin valmistuksen yhteydessä, ennen jauhon päätymistä siiloon. Työssä on otettu näytteitä kaikista mahdollisista tuotantotavoista, riippumatta siitä, ovatko kyseiset tuotantotavat kannattavia tai käytetäänkö niitä yleensä myllyssä. Saatut tulokset olivat siis suuntaa antavia. Saatuja tuloksia tulisikin verrata optimaalisiin jauholaatuihin ja miettiä, onko havaituilla laadullisilla eroilla tuotantotapojen välillä käytännön merkitystä. Tuloksia tarkasteltaessa tuotantotavalla tarkoitetaan sitä, mitä jauholaatuja on valmistettu samanaikaisesti.

6.2 Puolikarkea vehnäjauho

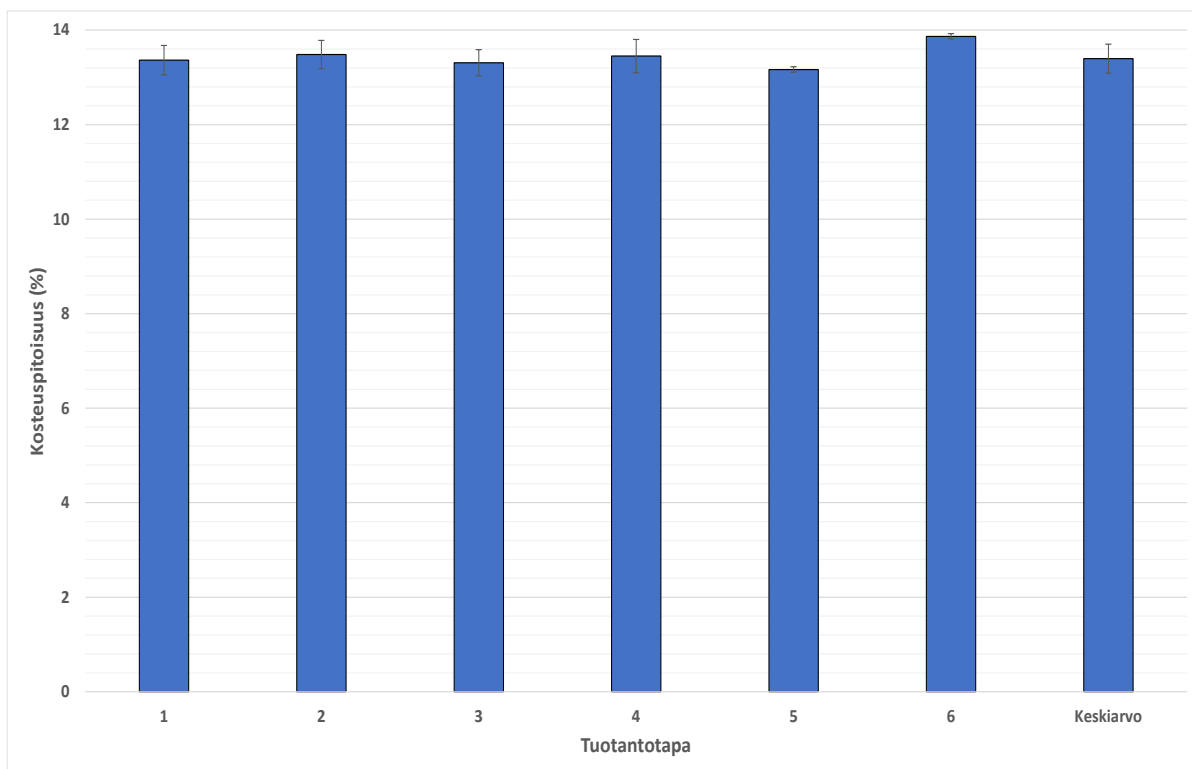
6.2.1 Tuhka- ja kosteuspitoisuus, sakoluku ja sitko

Puolikarkean vehnäjauhon tuhkapitoisuuden huomattiin pysyvän melko tasaisena: tuhkapitoisuuksien keskiarvot vaihtelivat alueella 0,53–0,61 % (kuva 4). Tuloksia tarkasteltaessa huomattiin, että tuotantotavalla 1 valmistettujen näytteiden tuhkapitoisuudet olivat keskimäärin matalampia kuin muiden näytteiden. Erot tuhkapitoisuuksissa eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä (p-arvo = 0,150) (liite 1).



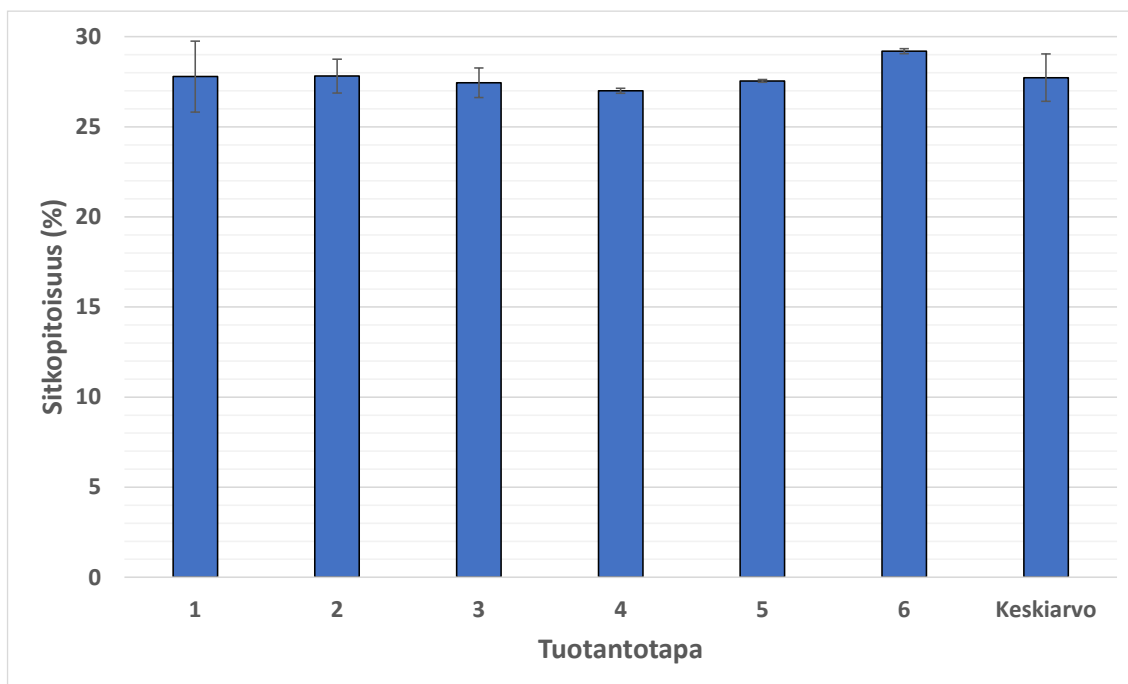
Kuva 4. Eri tuotantotavoilla valmistettujen puolikarkeiden vehnäjauhonäytteiden tuhkapitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo.

Kuvasta 5 havaitaan, että tuotantotapojen kosteuspitoisuuksien välillä ei ollut suurta vaihtelua. Vaikka puolikarkeasta vehnäjauhosta oli eniten näytteitä, sen näytteiden kosteuspitoisuuksissa oli vähiten vaihtelua verrattuna muihin jauholaatuihin. Se, mitä jauholaatuja valmistettiin puolikarkean vehnäjauhon kanssa samaan aikaan, ei siis vaikuttanut kosteuspitoisuuteen. Tulosten tilastollinen tarkastelu tuki tätä päätelmää, sillä tuloksille tehdyn yksisuuntaisen varianssianalyysin p-arvo oli 0,052 (liite 1).



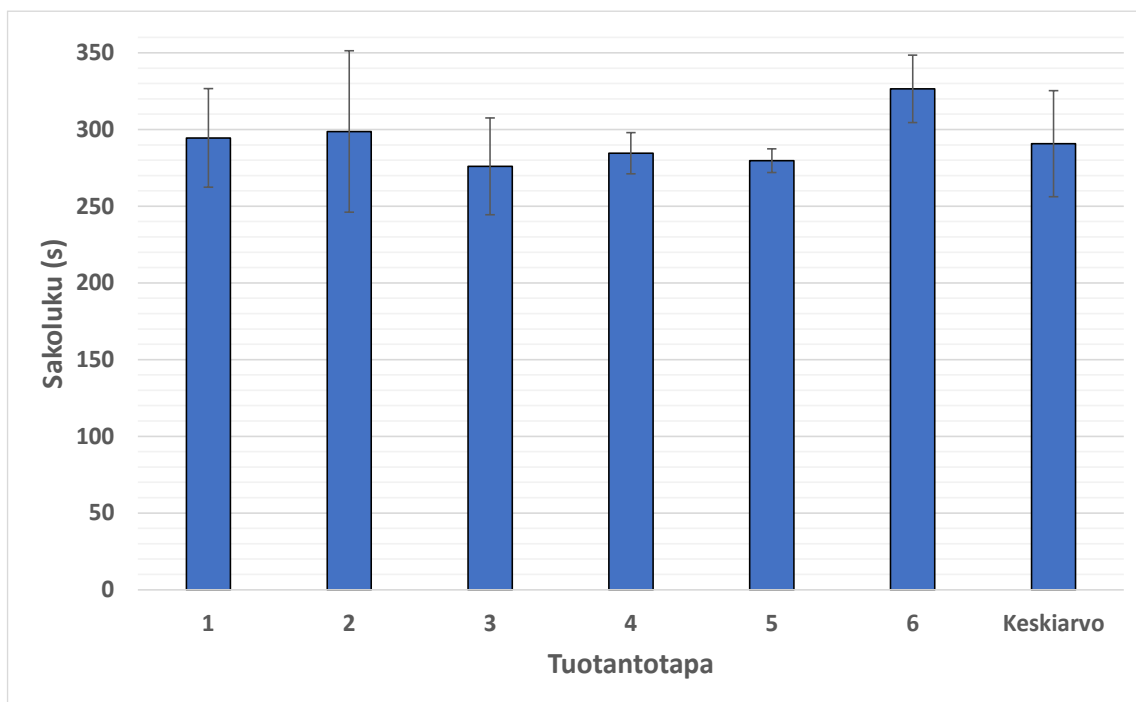
Kuva 5. Eri tuotantotavoilla valmistettujen puolikarkeiden vehnäjauhonäytteiden kosteuspitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo.

Kuvassa 6 on esitetty eri tuotantotavoilla valmistettujen puolikarkeiden vehnäjauhonäytteiden sitkopitoisuuksien keskiarvot. Tuloksista havaitaan puolikarkean vehnäjauhon sitkopitoisuuksien olleen melko samalla tasolla kaikilla tuotantotavoilla. Tuloksista ei voida havaita riippuvuutta sitkopitoisuuden ja puolikarkean vehnäjauhon tuotantotavan välillä. Myös tulosten tilastollisessa tarkastelussa havaittiin, ettei sitkopitoisuuden vaihtelu eri tuotantotapojen välillä ollut tilastollisesti merkitsevää (p -arvo = 0,649) (liite 1).



Kuva 6. Eri tuotantotavoilla valmistettujen puolikarkeiden vehnäjäuhonäytteiden sitkopitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo.

Kuvasta 7 nähdään, että puolikarkean vehnäjäuhon sakoluvut vaihtelivat melko suuresti: eri tuotantotavoilla valmistettujen näytteiden sakolukujen keskiarvo vaihteli alueella 276–327 s. Jauhojen sakolukujen tyypilliset laaturajat vaihtelevat kuitenkin laajalla alueella (taulukko 2), koska kyseisellä välillä oleva sakoluku ei vaikuta merkittävästi jauhon leivontaominaisuuksiin. Vaikka sakoluvut vaihtelivat melko paljon, ei pystytty havaitsemaan yhden valmistustavan antavan erilaisia tuloksia kuin toisen. Tulosten hajonta oli suurta eri valmistustapojen sisällä. Eri tuotantomenetelmillä valmistettujen jauhojen sakoluvut eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (p -arvo = 0,307) (liite 1).

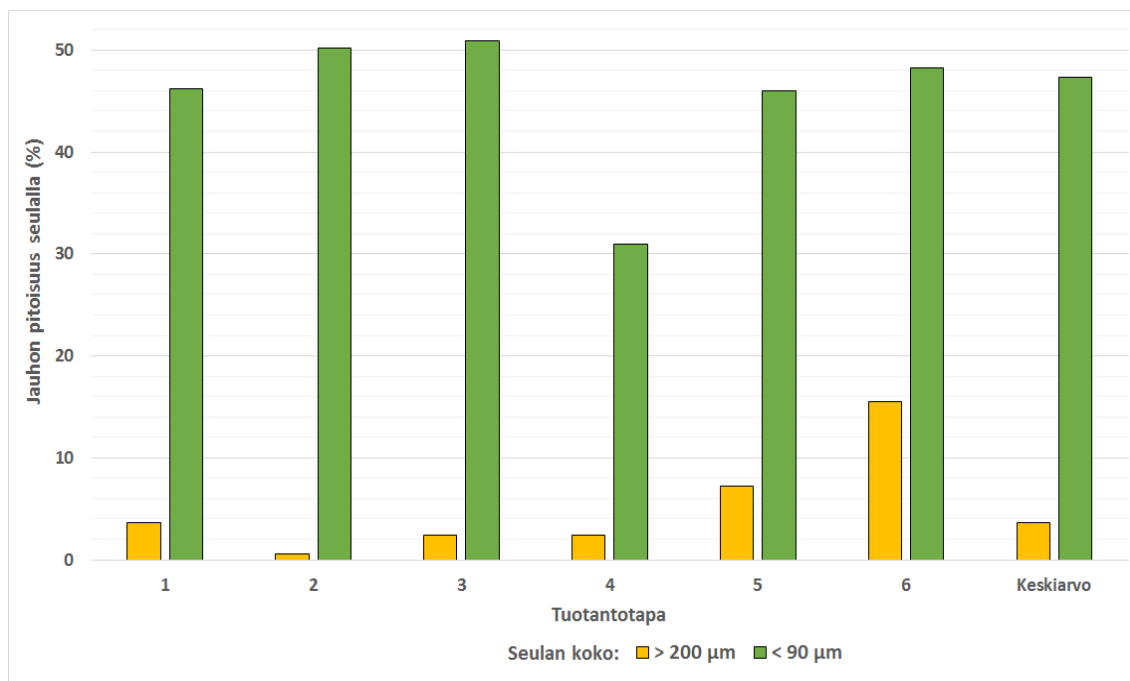


Kuva 7. Eri tuotantotavoilla valmistettujen puolikarkeiden vehnäjäuhonäytteiden sakolukujen keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo.

Puolikarkean vehnäjäuhon näytteiden laadunseurannan tuloksista huomattiin, että puolikarkean vehnäjäuhon tuhka- ja sitkopitoisuus sekä sakoluku vaihtelivat jonkin verran, kosteuspitoisuuden pysyessä tasaisena. Laatuarvojen vaihtelu ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää. Tulosten perusteella ei havaittu, että yksi puolikarkean vehnäjäuhon tuotantotapa antaisi erilaisen tuloksen kuin muut.

6.2.2 Karkeus

Karkeuden kannalta tärkeimmät tulokset ovat suurimmalle seulalle sekä pohjalle jääneen jauhon määrä. Nämä ovat tärkeimpiä tietoja, koska ne kertovat, onko tuote laadullisesti karkeaa vai hienoa. Puolikarkean vehnäjäuhon valmistustavoista tavalla 6 valmistetut näytteet olivat karkeimpia, sillä niitä oli jäänyt eniten suurimmalle (200 µm) seulalle (kuva 8). Puolestaan tuotantotapa 2 antoi karkeudeltaan hienojakoisinta jauhoa, sillä suurimmalle seulalle oli jäänyt vähiten partikkeleita.



Kuva 8. Eri tuotantotavoilla valmistettujen puolikarkeiden vehnäjauhonäytteiden seuloille jääneiden partikkeleiden keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo.

Tuloksia tarkastelemalla huomataan, että puolikarkean vehnäjauhon näytteiden karkeuksien välillä oli suuria eroja. Tuotantotavoilla 5 ja 6 saatiin koostumukseltaan karkeaa jauhoa, kun taas tuotantotavoilla 2 ja 3 valmistettiin hienojakoista puolikarkeaa vehnäjauhoa. Myös eri tuotantotavoilla valmistettujen näytteiden välisissä karkeuksissa oli eroja. Tämä tulee ottaa huomioon käytettäviä tuotantotapoja arvioitaessa.

6.2.3 Koeleivonnat

Näytteen P5 paistohäviö oli suurin (16,5 %), eli siitä haihtui eniten kosteutta paistamisen aikana (taulukko 4). Pienin paistohäviö oli puolestaan näytteestä P12 valmistetulla leivällä (13,5 %). Lisäksi kyseisen leivän tilavuus (1065 ml) oli huomattavasti pienempi kuin muiden. Näytteestä P12 valmistetun leivän korkeus oli myös pienin (6,2 cm), joskaan se ei eronnut huomattavasti näytteestä P8 valmistetun leivän korkeudesta (6,4 cm). Jauhon kosteuspitoisuus voi vaikuttaa paistohäviöön [46]. Kaikkien näytteiden kosteuspitoisuudet olivat kuitenkin samalla tasolla (kuva 5), joten tässä tapauksessa kosteuspitoisuus ei vaikuttanut eroihin paistohäviössä. Jauhon vedensitomiskyky ja karkeus vaikuttavat leivän kohoamiseen ja tilavuuteen. Karkeasta jauhosta valmistettu leipä on

tilavuudeltaan pienempi kuin hienosta jauhosta leivottu leipä [46]. Näytteen P12 karkeus ei kuitenkaan merkittävästi eronnut muiden näytteiden karkeudesta (kuva 7), joten näytteen karkeus ei selittänyt sen pientä tilavuutta. Näytteiden vedensitomiskyky ei myöskään selittänyt tilavuuksien eroja, koska näytteellä P15 oli pienin vedensitomiskyky (56,4 %), vaikka siitä valmistettu leipä oli korkeudeltaan suuri. Kirjallisuuslähteiden mukaan matala vedensidonta saa aikaan pienemmän leivän kuin korkea [46].

Korkein leipä valmistui näytteestä P15 (7,0 cm). Leivonnan kannalta korkea ja tilavuudeltaan suuri leipä on usein toivottu tulos. Koeleivonnan tulosten perusteella näytteistä P5, P8 ja P15 tuli tilavuudeltaan suurimmat leivät, joten puolikarkeaa vehnäjauhoa olisi kannattavaa valmistaa samalla tavoin kuin kyseisiä näytteitä. Näytteestä P12 tuli selkeästi pienin leipä, joten tätä valmistustapaa kannattaa välttää. Näytteen P12 sitkopitoisuus on hieman pienempi kuin muiden näytteiden, mikä luultavasti vaikutti leivontatulokseen. Muilta ominaisuuksiltaan näyte oli melko samanlainen kuin muut näytteet.

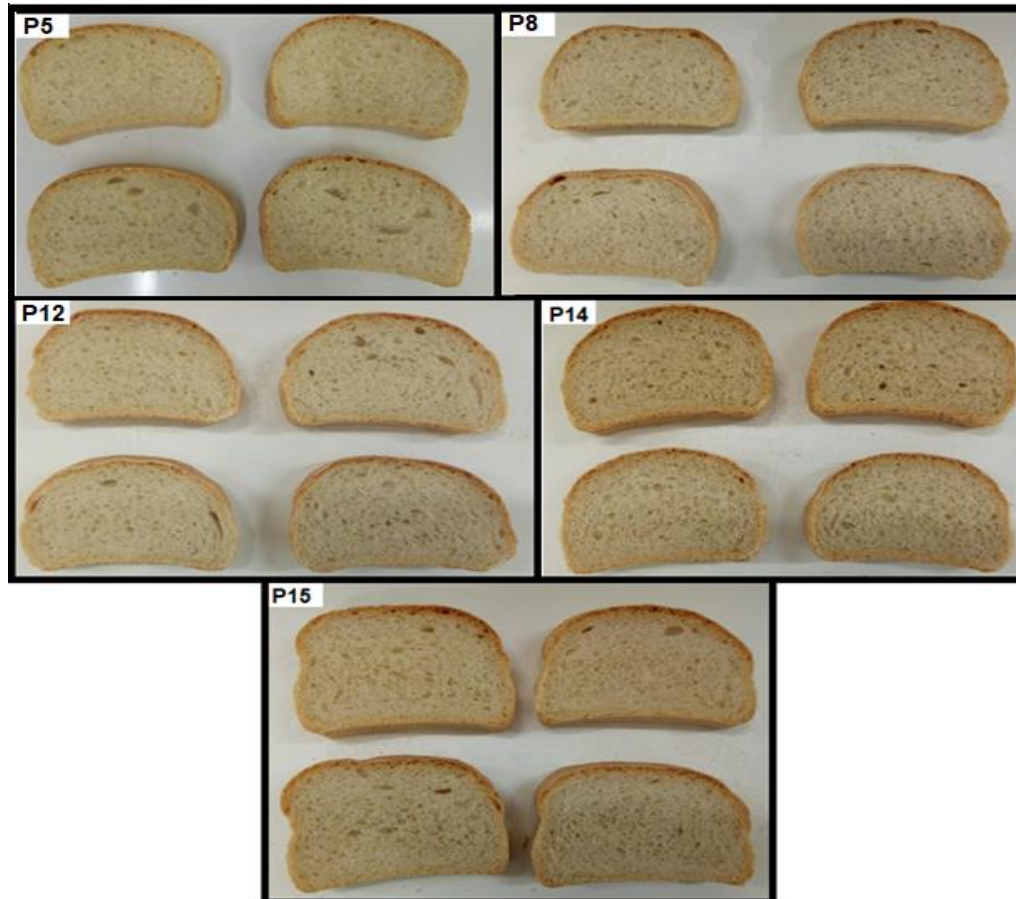
Taulukko 4. Koeleivonnan tulokset, sekä näytteiden säilytysajat ennen koeleivontoja. Koeleivonnat tehtiin viidelle näytteelle, jotka oli kaikki valmistettu eri tavalla.

Näyte	Tuotantotapa	Säilytysaika (pv)	Paistohäviö (%)	Tilavuus (ml)	Korkeus (cm)
P5	1	30	16,5 ± 0,7	1388 ± 26	6,6 ± 0,2
P8	2	28	13,5 ± 0,5	1376 ± 30	6,4 ± 0,1
P12	3	30	12,8 ± 0,6	1065 ± 12	6,2 ± 0,1
P14	5	12	14,0 ± 0,5	1241 ± 15	6,6 ± 0,1
P15	4	6	14,1 ± 0,7	1334 ± 25	7,0 ± 0,2

Valmiista leivistä otettiin kuvia (kuva 9), joita verrattiin Dallmannin asteikkoon huokoskoon selvittämiseksi (liite 2). Huokoskoossa ei havaittu olevan eroja leipien välillä, vaan kaikkien huokoskoko oli melko pieni ja tasalaatuinen. Näytteistä P5 ja P12 leivotuissa leivissä oli havaittavissa suurempaa vaihtelua huokoskoon välillä kuin muista näytteistä leivotuissa leivissä. Dallmannin asteikolla leipien huokoskoko oli 4–5. Se, mitä jauholaatuja oli ajettu samaan aikaan puolikarkean vehnäjauhon kanssa, ei siis vaikuttanut valmiiden leipien huokoskokoon.

Kuvan 9 leipäviipaleista havaitaan, että leipä, joka oli valmistettu näytteestä P15, oli muodoltaan erilainen kuin muista näytteistä valmistetut leivät. Näytteestä P15 valmistetun leivän reunoilla näkyy halkeama, mikä kertoo ärhäkästä kohoamisesta uunissa. Näyte

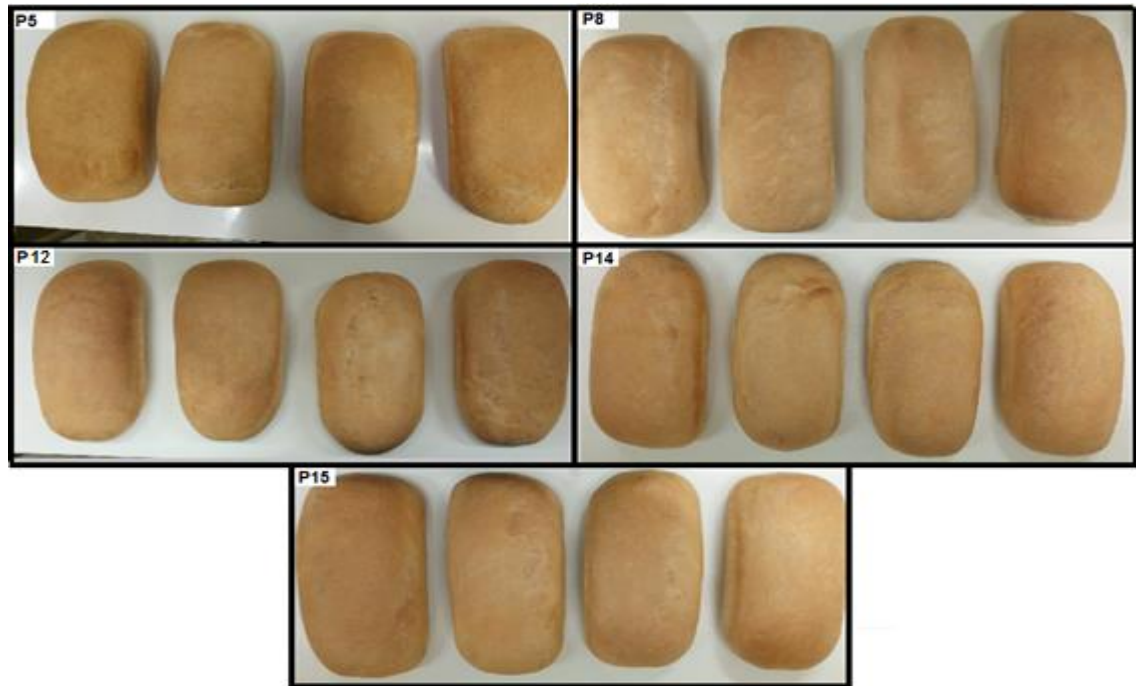
P15 oli tuorein kaikista näytteistä, mikä luultavasti vaikutti näytteen leipoutuvuuteen. Jauhon tuoreus vaikuttaa vedensidontaan: vanhemmat jauhot sitovat enemmän vettä kuin tuoreet jauhot [47]. Leipiä valmistettaessa vettä lisättiin aina sama määrä jauhon tuoreudesta riippumatta, minkä seurauksena tuoreimmasta näytteestä (P15) valmistettu taikina saattoi jäädä liian löysäksi.



Kuva 9. Näytteistä P5, P8, P12, P14 ja P15 tehtiin koeleivontaa. Valmiit leivät leikattiin viipaleiksi ja kuvattiin. Kuvaa verrattiin Dallmannin asteikkoon, jonka avulla määritettiin leipien huokoskoot.

Aistinvaraisesti arvioiden mukaan kaikki taikinat sekä niistä paistetut leivät olivat melko samanlaisia (kuva 10). Näytteistä P8 ja P12 valmistettujen leipien pinnat olivat halkeilleet enemmän kuin muista näytteistä valmistetut leivät. Halkeamat muodostuvat, kun leivän kuori kovettuu uunissa, mutta leipä jatkaa kohoamista [48]. Kaikkia taikinoita oli helppo käsitellä ja ne tuntuivat sitkeiltä. Kohotuksen jälkeen kaikki taikinat olivat kohonneet suunnilleen vuokien korkuisiksi, vaikka näytteestä P12 valmistettu taikina ei kohonnut

yhtä paljon kuin muut. Lisäksi huomattiin, että näytteestä P14 valmistettu taikina oli väriltään harmaampaa kuin muut taikinat.



Kuva 10. Viidestä eri vehnäjäuhonäytteestä tehtiin koeleivonnat. Leivonnat tehtiin näytteille P5, P8, P12, P14 ja P15. Koeleivät olivat ulkoisilta ominaisuuksiltaan melko samanlaisia. Suurin ero ilmeni leipien koossa, sillä näytteestä P12 leivotut leivät olivat tilavuudeltaan pienimpiä.

Valmiiden leipien aistinvaraisessa arvioinnissa ei havaittu poikkeavaa hajua eikä makua, ja kaikki leivät olivat keskenään samankaltaisia. Näytteestä P14 valmistettu leipä oli paisuttamisenkin jälkeen väriltään harmaampi kuin muut leivät. Näytteen P14 tuhkapitoisuus oli suurempi kuin muissa näytteissä, mikä selittää leipien harmaamman värin. Näytteestä P12 valmistetut leivät näyttivät litteämmiltä kuin muut leivät, ja niiden kuoren ja sisuksen väliin oli jäänyt kuplia, mistä voidaan päätellä, etteivät leivät olleet kohonneet normaalisti. Luultavasti kyseisen näytteen sitko oli koostumukseltaan heikompi kuin muiden näytteiden, ja sen sitkopitoisuus olikin matalin tutkituista näytteistä. Aistinvaraista arviointia ei tehty koulutetun raadin avulla, sillä todettiin leivonnan yhteydessä suoritettavan arvioinnin olevan riittävä.

6.2.4 Farino- ja ekstensogrammi

Samat näytteet, joille suoritettiin koeleivonnat, lähetettiin myös ulkopuoliseen laboratorioon farino- ja ekstensografimäärittäyksiin. Farino- ja ekstensografi piirtävät käyrät (farino- ja ekstensogrammin), joista saadaan luettua taikinan ominaisuuksia kuvaavat tulokset. Saadut tulokset on esitetty taulukoissa 5 (farinogrammi) ja 6 (ekstensogrammi). Taikinan pehmenemistä ja venytysvastusta kuvataan yksiköllä BU (Brabender Unit), joka on taikinan konsistenssia kuvaava yksikkö [7, s. 56].

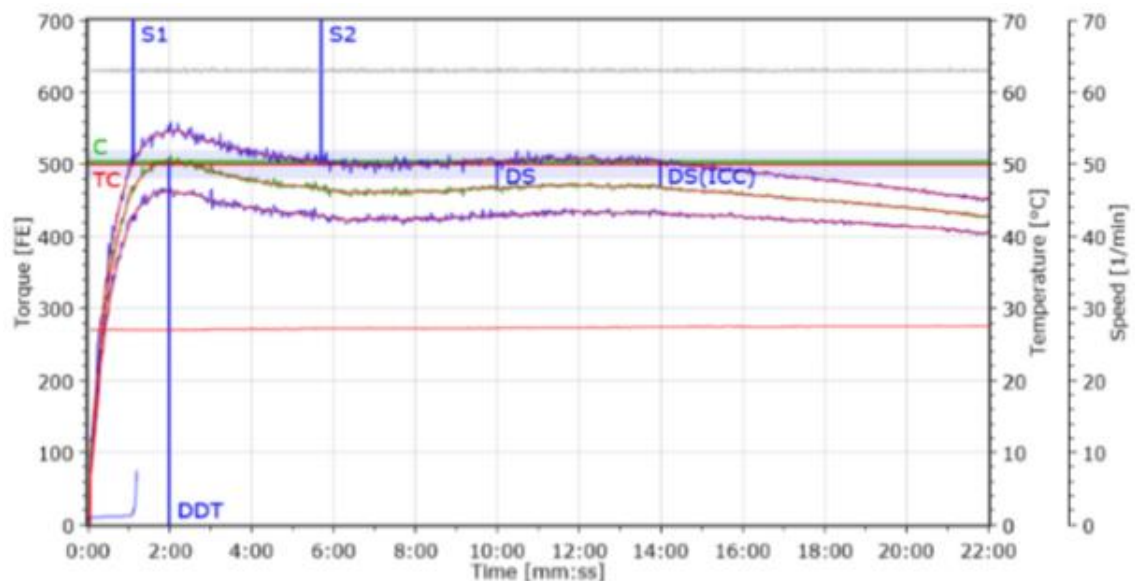
Taulukko 5. Farinogrammilta saadut tulokset näytteille P5, P8, P12, P14 ja P15.

Näyte	Tuotantotapa	Kosteus (%)	Vedensidonta (%)	Muodostumisaika (min)	Stabiiliteetti (min)	Pehmeneminen (BU)
P5	1	13,7 ± 0,2	59,1 ± 0,1	1,46	4,10	46
P8	2	13,6 ± 0,2	60,2 ± 0,5	1,59	4,36	36
P12	3	13,7 ± 0,2	58,5 ± 0,5	1,56	5,20	44
P14	5	13,4 ± 0,2	57,3 ± 0,5	1,50	8,24	62
P15	4	14,1 ± 0,2	56,4 ± 0,5	7,53	11,41	69

Näytteen P15 kosteus oli korkein, mikä oli odotettavissa, koska sitä säilytettiin lyhyin aika (6 päivää) ennen farinografimäärittystä. Näytteen P14 kosteus oli matalin, mikä oli melko yllättävä tulos, sillä sitä säilytettiin toiseksi lyhyin aika (12 päivää) ennen farinografimäärittäyksiin lähettämistä. Vedensidontan vaihtelu oli pientä eri näytteiden välillä. Vedensidontaan vaikuttaa mm. sitkoproteiinien määrä ja laatu, tärkkelyksen vaurioituminen ja leseeseen määrä [46]. Näytteiden tuhkapitoisuudet olivat melko matalat, joten leseeseen määrä tuskin vaikutti vedensidontaan. Vedensidonta vaikuttaa siihen, paljonko taikinaan tulisi lisätä vettä [46]. Koeleivonnassa kaikkiin leipiin lisättiin sama määrä vettä, vaikka näytteiden vedensidonta vaihteli. Tämä saattoi vaikuttaa koeleipien kokoon. Mikäli vettä lisätään liikaa tai liian vähän, leivästä tulee tilavuudeltaan pienempi.

Taikinan muodostumisaika korreloi proteiinipitoisuuden kanssa ja vahvalle jauholle taikinan muodostumisaika on pitkä [7, s. 57]. Näytteiden P5, P8, P12 ja P14 muodostumisaika oli lähes samalla tasolla (1,46–1,59 min). Näytteen P15 muodostumisaika (7,53 min) poikkesi näistä huomattavasti. Muodostumisaikaan vaikuttaa mm. sitkoproteiinien laatu ja jauhon karkeus. Kuvasta 8 nähdäänkin, että tuotantotavalla 4 (Näyte P15) saatiin karkeaa jauhoa, mikä luultavasti vaikutti sen pitkään muodostumisaikaan.

Jos farinogrammi laskee nopeasti huippukohtaan jälkeen, jauholla on huono sekoituskestävyys eli stabiliteetti [7, s. 57]. Stabiliteetti korreloi usein muodostumisajan kanssa; mikäli muodostumisaika on pitkä; myös stabiliteetti on pitkä. Näytteen P15 stabiliteetti olikin suurin (11,41 min). Muiden näytteiden stabiliteetissa oli havaittavissa enemmän eroa kuin muodostumisajalla, sillä näytteen P14 stabiliteetti oli 8,24 min muiden näytteiden stabiliteettien ollessa 4,10–5,20 min. Käyrän nopea lasku voi johtua alhaisesta sitkoproteiinien määrästä tai heikosta laadusta. Stabiliteettiin vaikuttaakin sitkoproteiinien laatu sekä leseen määrä [46]. Kuvassa 11 on esitetty esimerkki farinogrammista.



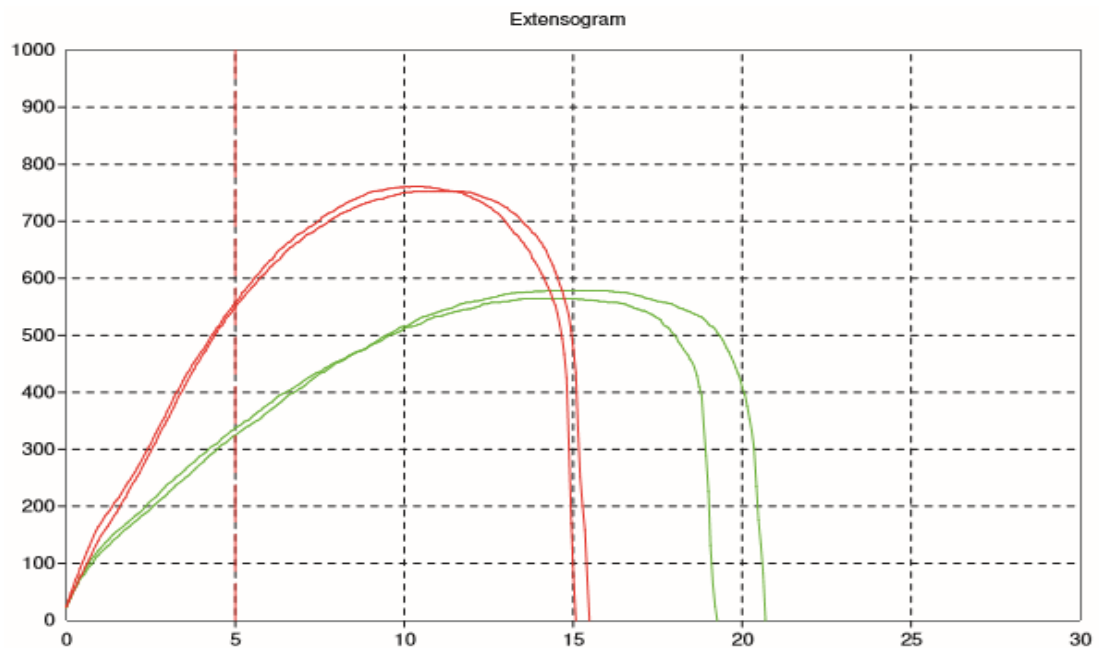
Kuva 11. Näytteestä P8 piirretty farinogrammi. Farinogrammista voidaan lukea taikinan ominaisuuksia kuvaavia tuloksia, kuten muodostumisaika, stabiliteetti ja pehmeneminen.

Farinogrammista määritetty pieni pehmenemisluku tarkoittaa, että taikinan konsistenssi ei juurikaan muutu pitkänkään sekoituksen vaikutuksesta. Korkean pehmenemisluvun omaava taikina löystyy nopeasti sekoitettaessa. Yleensä pehmenemisluvun ollessa pieni myös stabiliteetti on matala. Saadut tulokset olivat osittain ristiriidassa kirjallisen tiedon kanssa, sillä näytteellä P15 oli korkeimman stabiliteetin lisäksi myös korkein pehmenemisaste (69 BU). Toisaalta korkeana pehmenemisasteena voidaan pitää yli 100 BU, ja kaikkien näytteiden pehmenemisluku oli alle tämän. Pehmenemislukuun vaikuttaa näytteen sitkoproteiinien laatuun. [7, s. 56, 46.]

Taulukko 6. Ekstensogrammita saadut tulokset näytteille P10, P12, P13, P14 ja P15.

Näyte	Tuotanto-tapa	Venytysvastus 45 min (BU)	Venytysvastus 90 min (BU)	Pinta-ala (cm ²)
P5	1	454	659	152
P8	2	571	757	151
P12	3	582	809	154
P14	5	466	598	119
P15	4	559	810	165

Ekstensogrammista saadut tulokset antavat tietoa valmistetun taikinan venyvyydestä ja venytystä vastustavasta voimasta (kuva 12) [46]. Venytysvastus kuvaa taikinan kimmoisutta: mitä suurempi venytysvastus on, sitä kimmoisampi siitä valmistettu taikina on [7, s. 57]. Suurimmat venytysvastukset 90 min kuluttua olivat näytteillä P12 (809 BU) ja P15 (810 BU), kun taas pienin oli näytteellä P14 (598 BU). Koeleivonnan yhteydessä valmistettuja taikinoita arvioitiin aistinvaraisesti, mutta kimmoisuudessa ei havaittu eroa.

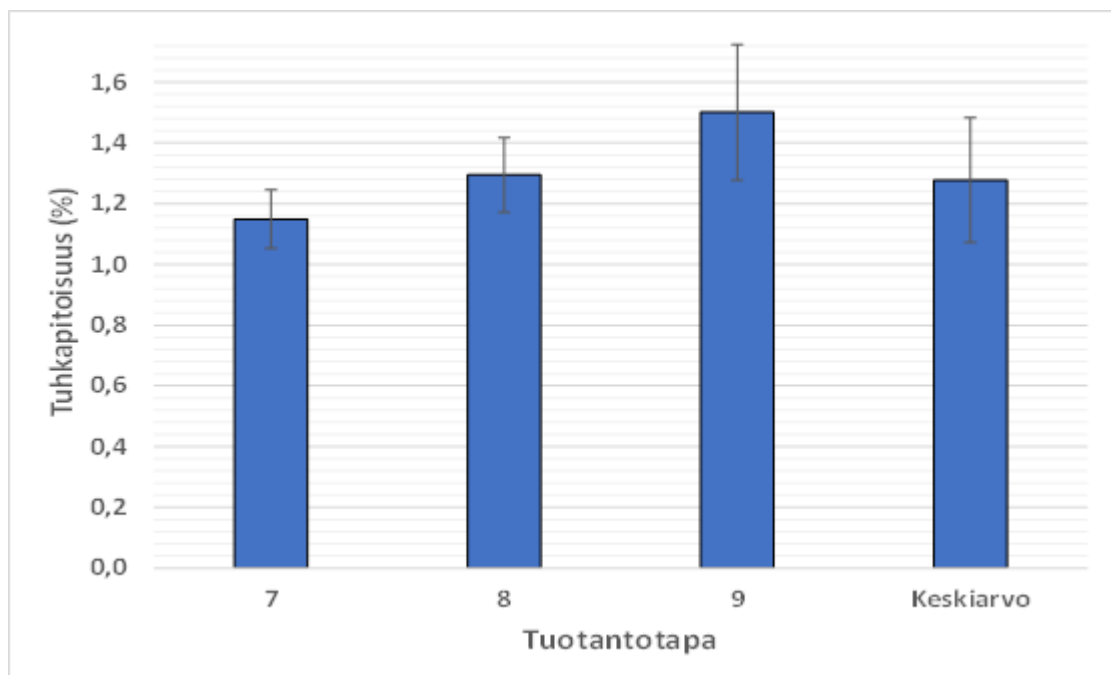


Kuva 12. Näytteestä P8 piirretty ekstensogrammi. Ekstensogrammista saadaan tietää taikinan venytysvastuksesta sekä jauhon vahvuudesta.

Ekstensogrammin alle jäänyt pinta-ala kuvaa jauhon vahvuutta [46]. Mitä suurempi pinta-ala on, sitä vahvempi on jauho. Näytteiden P5, P8 ja P12 pinta-ala oli lähes samalla tasolla (151–154 cm²). Näytteen P14 pinta-ala oli huomattavasti pienempi kuin muiden (119 cm²) ja näytteen P15 oli suurin (165 cm²).

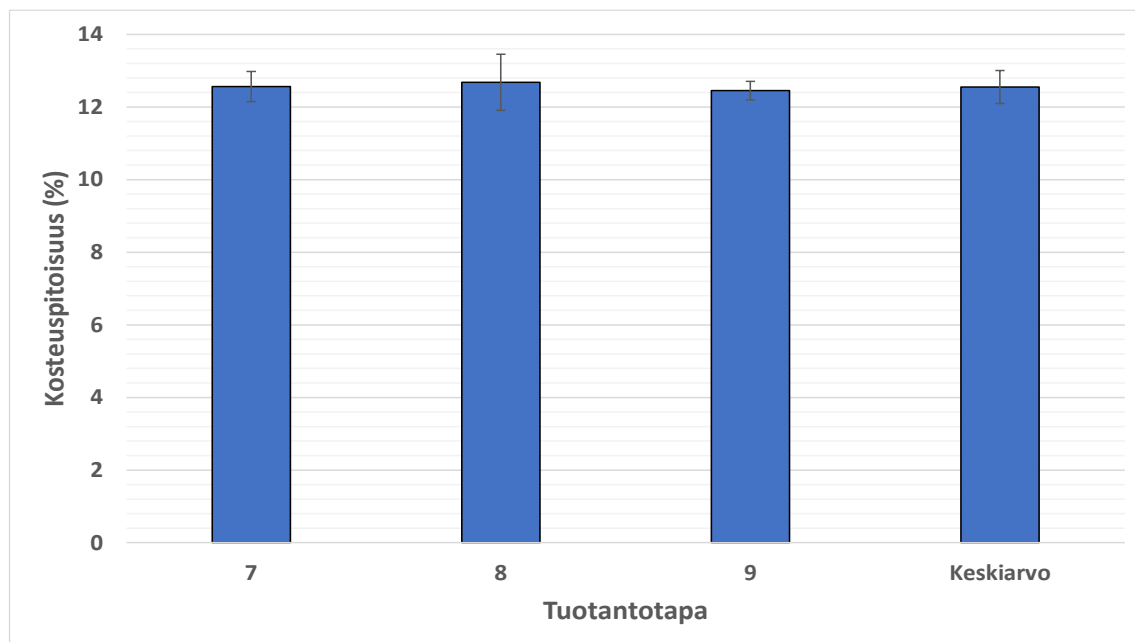
6.3 Hiivaleipäjauho

Hiivaleipäjauhon eri tuotantotavalla valmistettujen näytteiden tuhkapitoisuuksien keskiarvot olivat 1,15–1,50 %. Yksittäisiä tuloksia tutkittaessa havaittiin, että muutamien yksittäisten näytteiden tuhkapitoisuudet olivat korkeita ja matalia, muiden näytteiden tuhkapitoisuuksien pysyessä melko tasaisina. Yksittäiset korkeat tai matalat arvot vaikuttivat tulosten keskiarvoihin. Kuvasta 13 nähdään, että tuotantotavalla 7 valmistettujen näytteiden tuhkapitoisuuksien keskiarvo oli matala, kun taas tuotantotavalla 9 valmistettujen näytteiden tuhkapitoisuuksien keskiarvo oli korkea. Eri tavalla valmistettujen hiivaleipäjauhonäytteiden tuhkapitoisuuksien väliset erot olivat tilastollisesti merkitseviä (p -arvo = $1,43 \cdot 10^{-4}$) (liite 1). Vertaamalla eri tuotantotapojen välisiä eroja havaittiin, että tuotantotapojen 7 ja 9 välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä. Tulosten perusteella voidaan siis todeta, että tuotantotavalla 7 valmistetun hiivaleipäjauhon tuhkapitoisuus jää matalammaksi kuin tuotantotavalla 9 valmistetun hiivaleipäjauhon. Puolestaan tuotantotavalla 9 valmistuu tuhkapitoisuudeltaan korkeaa jauhoa.



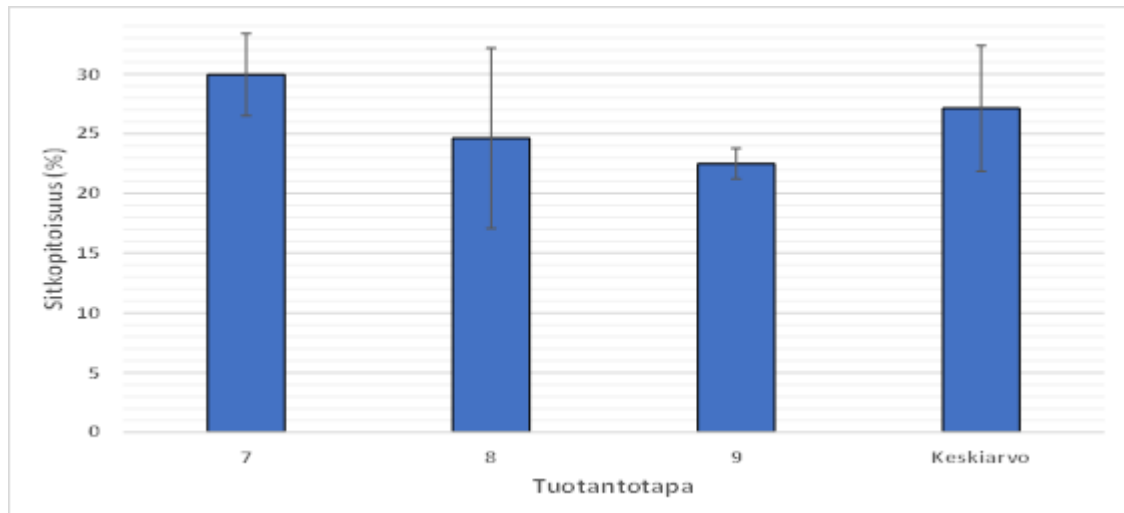
Kuva 13. Eri tuotantotavoilla valmistettujen hiivaleipäjauhonäytteiden tuhkapitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo. Tilastollisen tarkastelun perusteella tuotantotavan 7 ja 9 välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä.

Kuvasta 14 havaitaan, että näytteiden kosteuspitoisuuksien välillä ei ole ollut suurta vaihtelua. Tulosten välillä ei myöskään ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (p -arvo = 0,688) (liite 1). Koska vaihtelu oli pientä eikä tilastollisesti merkitsevää eroa ollut, ei voida todeta minkään valmistustavan olevan toista parempi hiivaleipäjauhon kosteuden kannalta.



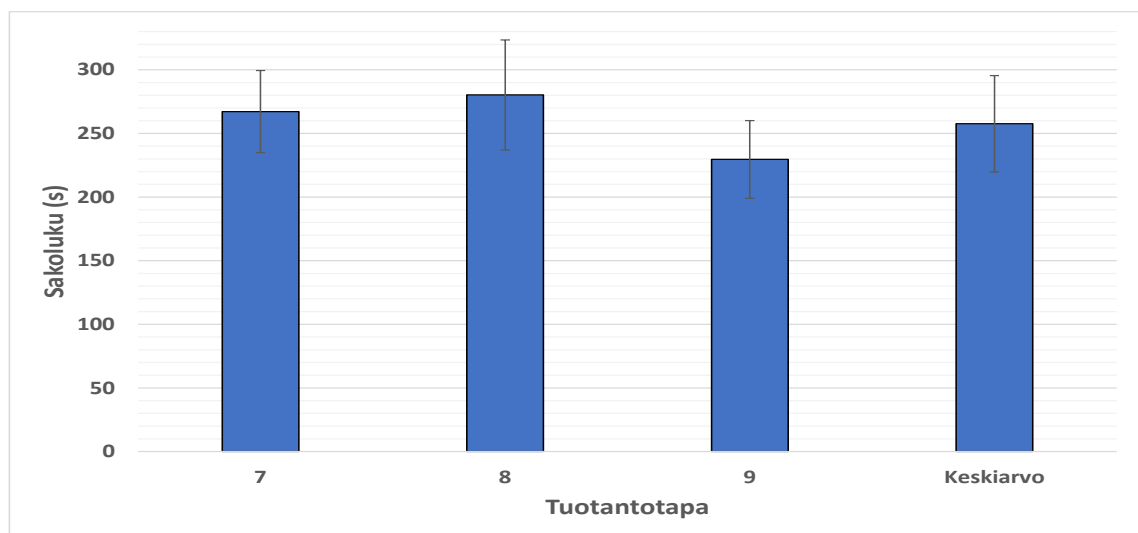
Kuva 14. Eri tuotantotavoilla valmistettujen hiivaleipäjauhonäytteiden kosteuspitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo.

Hiivaleipäjauhonäytteiden sitkopitoisuuksissa oli havaittavissa suurta vaihtelua (kuva 15). Eri tuotantotavoilla valmistettujen hiivaleipäjauhonäytteiden sitkopitoisuuksien keskiarvot olivat 22,5–30,0. Kuvasta 15 nähdään, että suurin sitkopitoisuus oli tuotantotavalla 7 valmistetuilla hiivaleipäjauhonäytteillä. Kahden muun tuotantotavan sitkopitoisuuksien keskiarvot olivat melko lähellä toisiaan. On siis mahdollista, että se, mitä jauholaatuja hiivaleipäjauhon kanssa valmistetaan, vaikuttaisi sen sitkopitoisuuteen. Myös tilastollinen tarkastelu tukee tätä tulosta, sillä yksisuuntaisen varianssianalyysin tuloksena havaittiin eri valmistustapojen sitkopitoisuuksien välillä olevan tilastollisesti merkitsevää ero (p -arvo = 0,021) (liite 1). Tilastollisesta tarkastelusta kävi ilmi myös se, että tuotantotavan 7 tilastollinen ero muihin ryhmiin oli merkitsevää, kun taas tuotantotapojen 8 ja 9 välinen ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Tulosten perusteella voidaan siis todeta tuotantotavalla 7 valmistetulla hiivaleipäjauholla olevan korkeampi sitkopitoisuus kuin muilla tavoilla valmistetulla hiivaleipäjauholla.



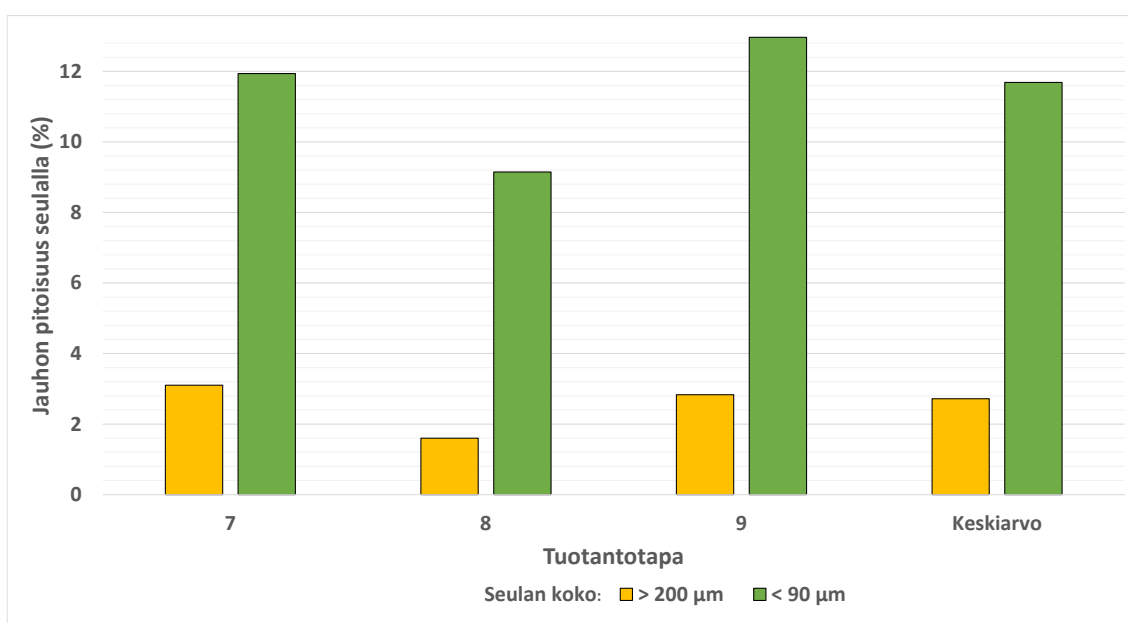
Kuva 15. Eri tuotantotavoilla valmistettujen hiivaleipäjauhonäytteiden sitkopiitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo. Tilastollisen tarkastelun tuloksena havaittiin tuotantotavan 7 eron olevan tilastollisesti merkitsevä muihin tuotantotapoihin verrattaessa.

Kuvasta 16 nähdään, että hiivaleipäjauhon eri tuotantotavoilla valmistettujen näytteiden sakolukujen keskiarvot erosivat toisistaan melko paljon. Tuotantotavalla 9 valmistettujen näytteiden sakoluku oli matalin, kun taas tuotantotavalla 8 saatiin korkein sakoluku. Tulosten välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (p-arvo 0,052) (liite 1). Hiivaleipäjauhon sakoluvun ei siis havaittu tulosten perusteella olevan riippuvainen siitä, mitä jauho- laatuja valmistettiin samanaikaisesti.



Kuva 16. Eri tuotantotavoilla valmistettujen hiivaleipäjauhonäytteiden sakolukujen keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo.

Kuvasta 17 huomataan, tuotantotavalla 8 valmistettu hiivaleipäjauho sisälsi vähiten karkeita partikkeleita ($> 200 \mu\text{m}$), kun taas tuotantotavoilla 7 ja 9 valmistetut hiivaleipäjauhot sisälsivät suunnilleen saman verran karkeimpia partikkeleita. Ei voida kuitenkaan todeta tuotantotavalla 8 valmistetun hiivaleipäjauhon olevan koostumukseltaan hienointa, sillä kyseisellä tuotantotavalla valmistetun jauhon pienimmän seulan ($90 \mu\text{m}$) alle jäänyt prosenttiosuus oli pienin tutkituista valmistustavoista. Tuotantotavalla 9 valmistettu hiivaleipäjauho sisälsi koostumukseltaan eniten hienojakoisia partikkeleita. Hiivaleipäjauhon näytteiden karkeuden määrittämisen tulokset tukevat puolikarkean vehnäjäuhon karkeudesta saatuja tuloksia: sillä, mitä jauholaatuja valmistetaan samanaikaisesti, on vaikutusta vehnäjäuhon karkeuteen.

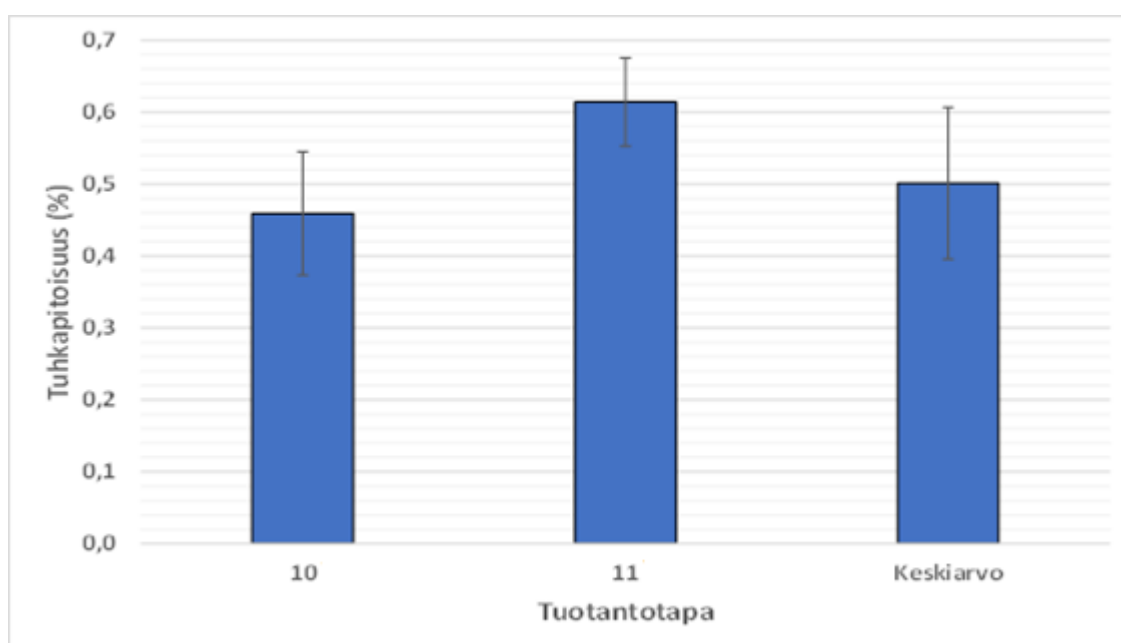


Kuva 17. Eri tuotantotavoilla valmistettujen hiivaleipäjauhonäytteiden seuloille jääneiden partikkeleiden keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo. Karkeuden määrittämiseen käytettiin eri kokoisia seuloja, jotka ovat kuvassa merkattu eri väreillä.

Hiivaleipäjauho oli keskiarvoltaan karkeampaa kuin tyypillisten laaturajojen mukainen valmis hiivaleipäjauho. Voidaan olettaa, että hiivaleipäjauhon koostumus muuttuisi hienommaksi, kun se siirretään myllystä pakkaamoon ja valmiiseen pakkaukseen, koska se jauhautuu hienommaksi kuljettamisen ja pakkaamisen yhteydessä. On siis hyvä, että hiivaleipäjauho on karkeampaa myllyssä, kuin valmiissa pakkauksessa.

6.4 Karkea vehnä jauho

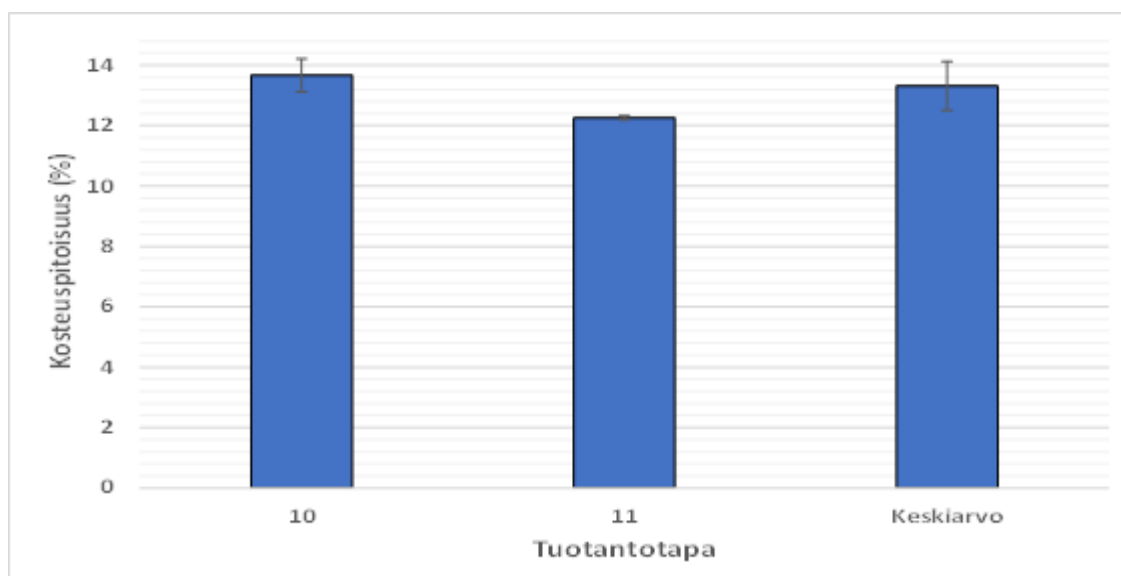
Kuvassa 18 on nähtävissä eri tuotantotavoilla valmistettujen karkean vehnäjauhon näytteiden tuhkapitoisuuksien keskiarvot. Karkean vehnäjauhon tuhkapitoisuus oli alueella 0,46–0,61 %. Tuotantotavalla 10 valmistettujen näytteiden tuhkapitoisuuksien keskiarvo oli matalampi kuin tuotantotavalla 11 valmistettujen näytteiden. Kuitenkin samalla tavalla valmistettujen näytteiden tuhkapitoisuuksissa havaittiin suurta vaihtelua, joten ei pystytty toteamaan toisen valmistustavan olevan tuhkapitoisuuden kannalta parempi kuin toisen. Tuotantotavalla 11 valmistettuja näytteitä oli vain yksi, joten vaikka tulos oli tilastollisesti merkitsevä (p-arvo = 0,020), ei voida luotettavasti todeta karkean vehnäjauhon valmistustavan vaikuttavan tuhkapitoisuuteen (liite 1).



Kuva 18. Eri tuotantotavoilla valmistettujen karkean vehnäjauhon näytteiden tuhkapitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo. Tuotantotapojen välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä.

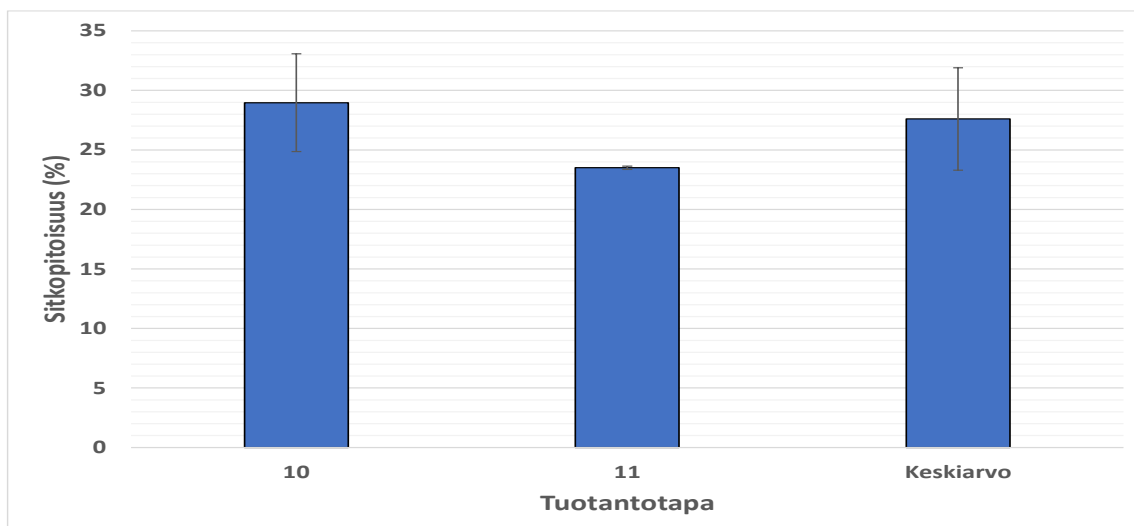
Kuvasta 19 havaitaan, että karkean vehnäjauhon kosteusprosenttien keskiarvojen välillä oli jonkin verran vaihtelua (12,3–13,7 %). Tuotantotavalla 11 valmistettujen näytteiden kosteus oli matalampi kuin tuotantotavalla 10 valmistettujen näytteiden kosteus. Eri tavoilla valmistettujen karkeiden vehnäjauhon näytteiden kosteuksien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero (p-arvo = 0,013) (liite 1). Näytteitä oli kuitenkin niin vähän, ettei voida

varmuudella todeta samaan aikaan valmistettavilla jauholaaduilla olevan merkitystä karkean vehnäjauhon kosteuspitoisuuteen.



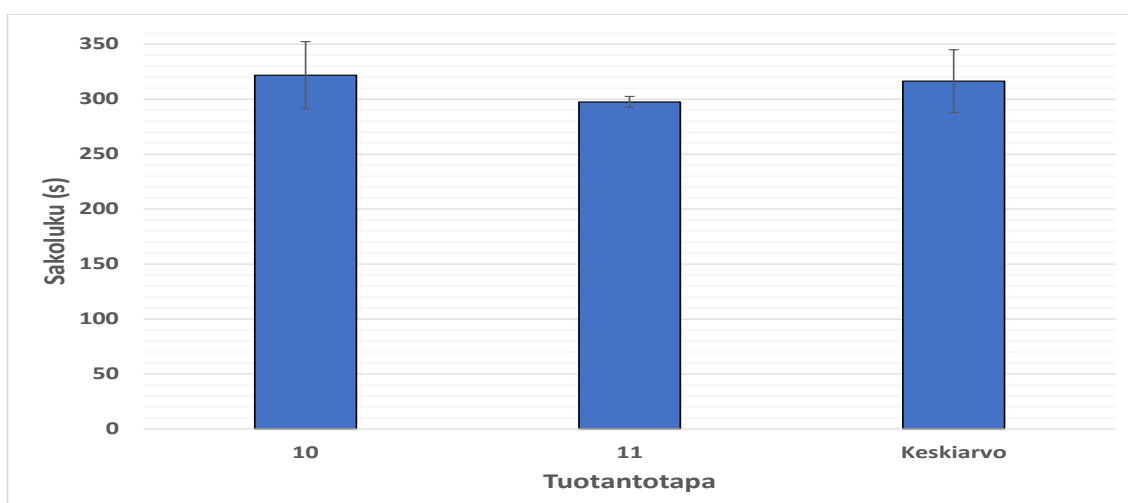
Kuva 19. Eri tuotantotavoilla valmistettujen karkean vehnäjauhon näytteiden kosteuspitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo. Tuotantotapojen välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä.

Karkeiden vehnäjauhonäytteiden sitkopitoisuuksia tutkittaessa huomattiin, että tuotantotavalla 10 valmistettujen näytteiden sitkopitoisuuksien keskiarvo oli korkeampi kuin tuotantotavalla 11 valmistettujen näytteiden (kuva 20). On siis mahdollista, että karkean vehnäjauhon kanssa samaan aikaan ajettavat jauholaadut vaikuttavat sitkon määrään. Valmistustapojen sitkopitoisuuksien välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (p -arvo = 0,125) (liite 1). Todennäköisin syy sitkon vaihtelulle on siis mittausvirhe tai jokin muu muutos jauhon valmistuksessa tai raaka-aineissa kuin se, mitä tuotteita valmistetaan samanaikaisesti.



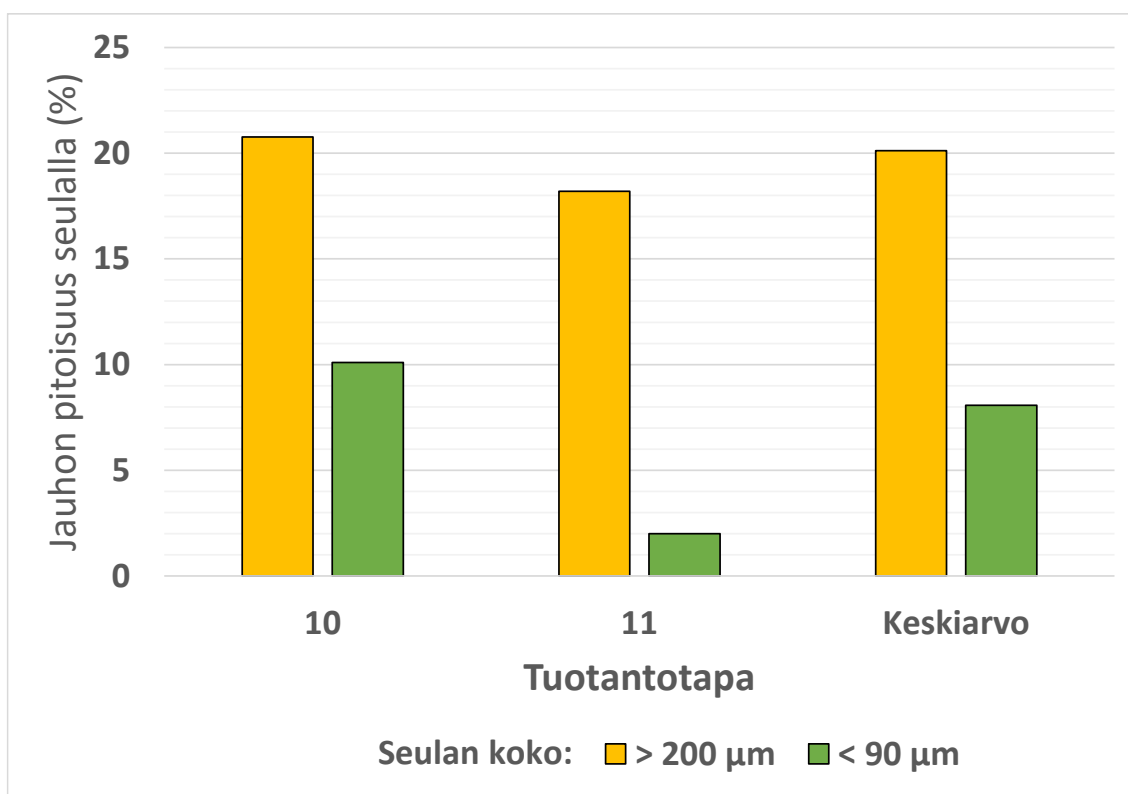
Kuva 20. Eri tuotantotavoilla valmistettujen karkean vehnäjäuhon näytteiden sitkopitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo.

Kuvassa 21 on esitetty eri tuotantotavoilla valmistettujen karkeiden vehnäjäuhonäytteiden sakolukujen keskiarvot. Kuvasta nähdään, että sakolukujen keskiarvot olivat melko lähellä toisiaan. Lisäksi vehnäjäuhojen tyypillinen laaturaja on 250–350 s, mikä sallii sakoluvun suuren vaihtelun. Tulosten perusteella ei voida havaita riippuvuutta karkean vehnäjäuhon sakoluvun sekä tuotantotavan välillä. Yksisuuntaisesta varianssianalyysistä havaittiin, ettei sakolukujen välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (p -arvo = 0,319) (liite 1).



Kuva 21. Eri tuotantotavoilla valmistettujen karkean vehnäjäuhon näytteiden sakolukujen keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo.

Puolikarkean vehnäjäuhon ja hiivaleipäjauhon seulontatuloksista havaittiin riippuvuuksia valmistustavan ja jauhon karkeuden välillä. Karkean vehnäjäuhon seulonnan tuloksista ei voida havaita samanlaista riippuvuutta, koska näytteitä oli vain neljä, ja näistä kolme oli valmistettu samalla tavalla ja vain yksi eri tavalla kuin muut. Karkean vehnäjäuhon otanta ei siis ollut riittävä. Karkean vehnäjäuhon eri tuotantotavalla valmistettujen näytteiden karkeuksien keskiarvot on esitetty kuvassa 22. Kuvasta nähdään, että tuotantotavalla 11 valmistetun karkean vehnäjäuhon partikkelikoko oli suurempaa kuin tuotantotavalla 10 valmistetun karkean vehnäjäuhon.

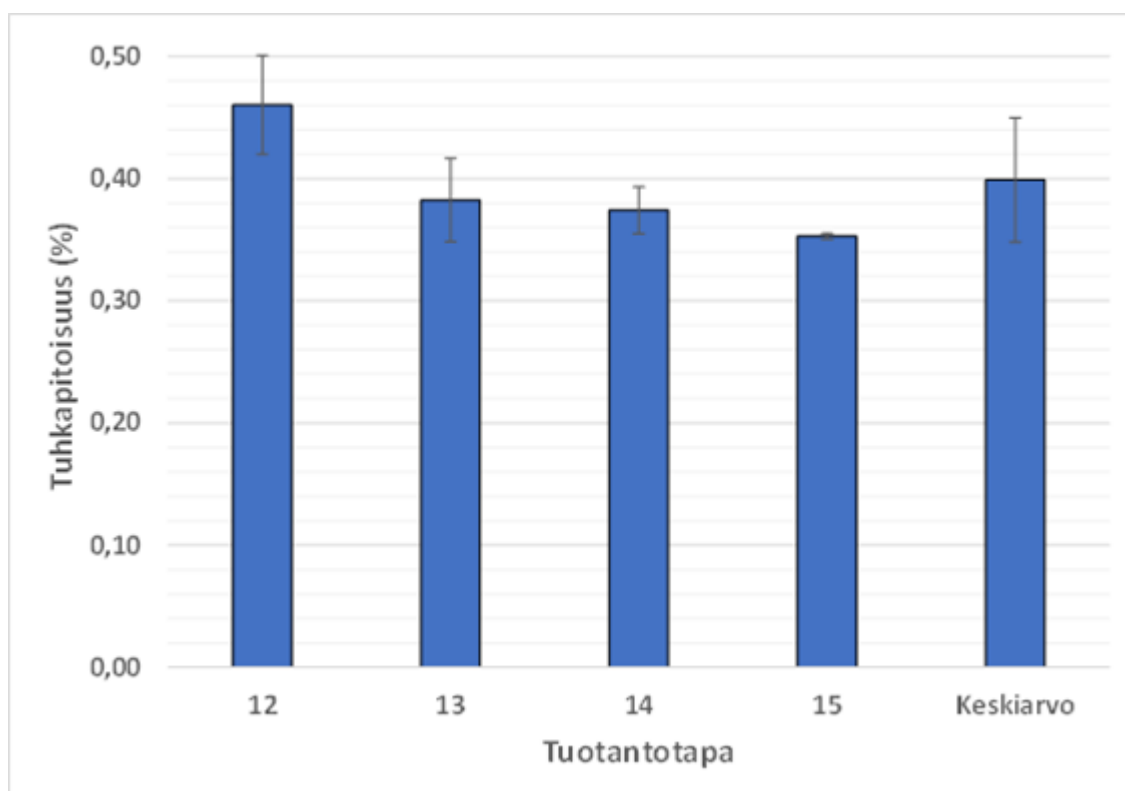


Kuva 22. Eri tuotantotavoilla valmistettujen karkeiden vehnäjäuhonäytteiden seuloille jääneiden partikkeleiden keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo. Karkeuden määrittämiseen käytettiin eri kokoisia seuloja, jotka ovat kuvassa merkattu eri väreillä.

Karkean vehnäjäuhon näytteiden vähäisen määrän takia ei voida todeta tietyllä tuotantotavalla saatavan laadullisesti optimaalisempaa jauhoa verrattuna muihin tuotantotapoihin. Tulokset viittasivat kuitenkin siihen, että tuotantotavalla 10 saataisiin kosteuspitouudeltaan korkeampaa, mutta tuhkapitoisuudeltaan matalampaa karkeaa vehnäjauhoa. Lisäksi tällä tavalla tuotettu karkea vehnäjauho on näytteiden perusteella koostumukseltaan hienojakoisempaa kuin tuotantotavalla 11 tuotettu karkea vehnäjauho.

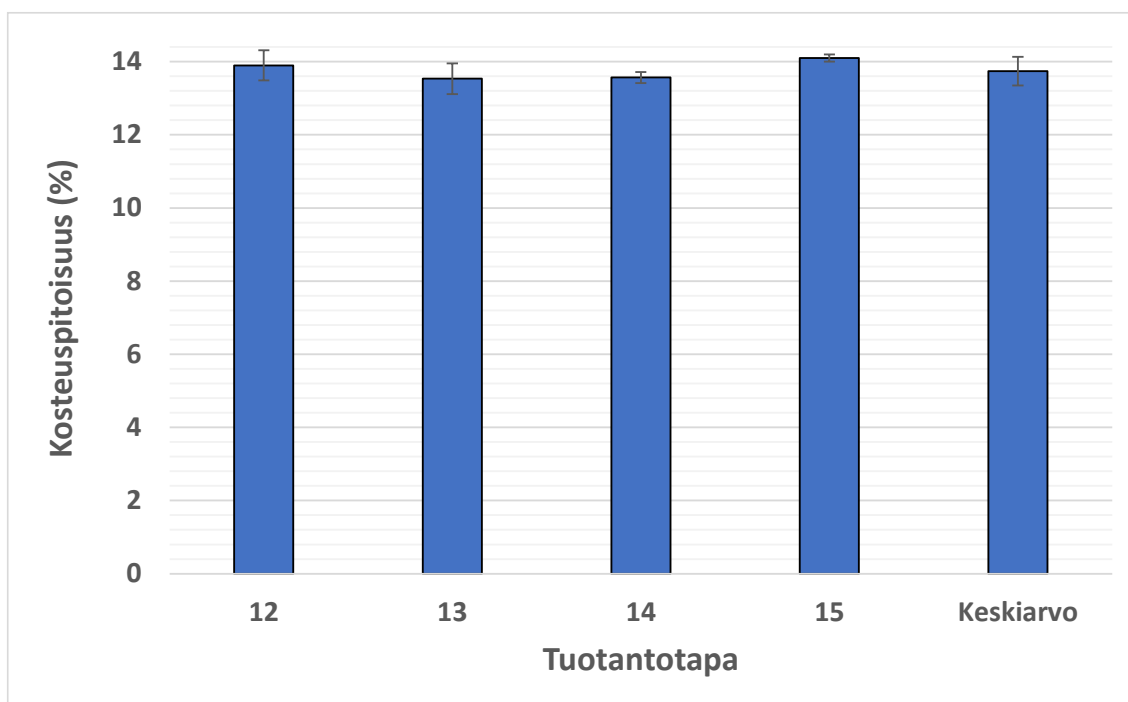
6.5 Mannasuurimot

Kuvassa 23 on nähtävissä eri tuotantotavoilla valmistettujen mannasuurimonäytteiden tuhkapitoisuuksien keskiarvot. Eri tuotantotavoilla valmistettujen tuhkapitoisuuksien välillä ei havaittu suurta vaihtelua: tuhkapitoisuus vaihteli alueella 0,35–0,46 %. Vaikka tuhkapitoisuuksissa ei ollut suurta vaihtelua, voidaan kuvasta 23 havaita, että tuotantotavalla 12 valmistettujen näytteiden tuhkapitoisuudet olivat korkeammat kuin muiden näytteiden. On siis mahdollista, että se, mitä jauholaatuja valmistetaan samaan aikaan mannasuurimoiden kanssa, vaikuttaisi näiden tuhkapitoisuuteen. Valmistustapojen tuhkapitoisuuksien välillä olikin tilastollisesti merkitsevä ero (p-arvo = 0,003) (liite 1). Tilastollisesti merkitsevä ero oli tuotantotapojen 12 ja 15 valmistettujen näytteiden tuhkapitoisuuksien välillä.



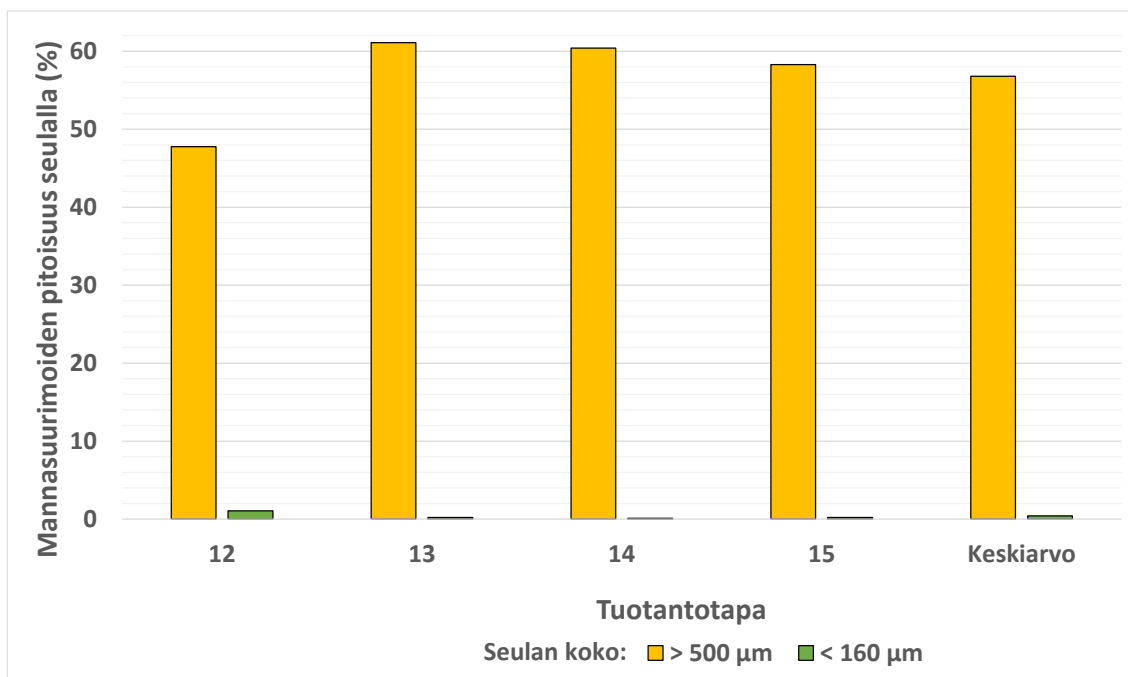
Kuva 23. Eri tuotantotavoilla valmistettujen mannasuurimonäytteiden tuhkapitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo. Tilastollisen tarkastelun tuloksena havaittiin, että tuotantotapojen 12 ja 15 välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä.

Kuvasta 24 havaitaan, että mannasuurimonäytteiden kosteuspitoisuuksien välillä ei ole ollut suurta vaihtelua (kosteuspitoisuus 13,5–14,1 %). Koska tuloksissa ei ollut paljon vaihtelua, mannasuurimoiden kanssa samaan aikaan valmistettavien jauholaatujen ei huomattu vaikuttavan mannasuurimoiden kosteuspitoisuuteen. Tulosten välillä ei myöskään ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (p -arvo = 0,165) (liite 1).



Kuva 24. Eri tuotantotavoilla valmistettujen mannasuurimonäytteiden kosteuspitoisuuksien keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo.

Mannasuurimoiden karkeus vaihteli jonkin verran eri tuotantotapojen välillä (kuva 25). Alimman seulan (160 μm) alle seuloutuneiden partikkelien pitoisuuksien välillä ei havaittu suurta vaihtelua. Suurimmalle seulalle (500 μm) jääneiden partikkeleiden pitoisuus vaihteli enemmän. Tuotantotavalla 12 valmistetut näytteet olivat koostumukseltaan hienompia kuin muilla tuotantotavoilla valmistetut näytteet.



Kuva 25. Eri tuotantotavoilla valmistettujen mannasuurimonäytteiden seuloille jääneiden partikkeleiden keskiarvot sekä kaikkien näytteiden keskiarvo. Karkeuden määrittämiseen käytettiin eri kokoisia seuloja, jotka ovat kuvassa merkattu eri väreillä.

Mannasuurimoiden karkeutta verrattiin laadunvalvonnan määrittämiin laaturajoihin. Huomattiin suurimman osan mannasuurimonäytteistä olleen koostumukseltaan melko karkeita. Voidaan olettaa, että mannasuurimot jauhaantuvat pienemmäksi, kun ne siirretään myllystä pakkaamoon ja pakataan valmiiksi tuotteeksi. Luultavasti lopputuotteen kannalta olisi siis hyvä, että myllyltä lähtevä tuote on karkeudeltaan suurempi kuin valmiille tuotteille asetetut laaturajat. Tulosten perusteella tuotantotavalla 12 valmistettujen mannasuurimoiden tuhkapitoisuus oli korkeampi ja partikkelikoko pienempi kuin muilla tuotantotavoilla valmistettujen mannasuurimoiden.

6.6 Laaturajat

Saatujen tulosten pohjalta määritettiin ehdotus päivitetystä laaturajoista puolikarkealle ja karkealle vehnäjäuholle, hiivaleipäjauholla ja mannasuurimoille. Oletusten mukaisesti määritetyt laaturajat erosivat jonkin verran laadunvalvonnan laboratorion valmiille tuotteille määritetyistä laaturajoista. Ehdotukseen myllyn laaturajojen päivityksestä käytettiin samoja tarkkuuksia kuin käytössä olevien laaturajojen tarkkuudet. Ehdotukset

päivitetystä laaturajoista olivat melko lähellä hiivaleipäjauhon ja puolikarkean vehnäjauhon tyypillisimpiä laaturajoja. Koska laaturajat määritettiin näytteiden analysoinnista saatujen tulosten perusteella, ehdotetut päivitykset tulisi käydä läpi ja varmistaa, ovatko ne arvoja, joilla voidaan saavuttaa entistä laadukkaampaa jauhoa.

6.7 Tuloksiin vaikuttavat tekijät

Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava se, että vehnä on luonnosta saatava tuote, minkä seurauksena sen laatu vaihtelee satokauden mukaan. Vehnäjyvän laatuun vaikuttaa mm. kunkin satokauden ilmasto, kuten lämpötila ja kosteus. Jyvistä saatavan jauhon laatuun vaikuttaa myös esimerkiksi jyvän koko. Raaka-aineella on siis suuri merkitys jauhon laadun kannalta. Vaikka saapuva vilja lajitellaankin myllyllä tiettyjen ominaisuuksien perusteella, raaka-aineen laatu voi aiheuttaa laadunvaihtelua eri jauhoerien välille.

Esitettyihin tuloksiin saattoi vaikuttaa se, että näytteitä säilytettiin eri ajat ennen analyysien tekoa. Vaikka säilytysolosuhteet pyrittiin pitämään mahdollisimman tasaisina ja näytteitä säilytettiin tiiviissä pusseissa, jottei kosteus pääsisi haihtumaan ja näyte kuivumaan, säilytysajan vaihtelu saattoi silti vaikuttaa tuloksiin.

Puolikarkealle ja karkealle vehnäjauholle sekä hiivaleipäjauholle tehtiin NIR-mittaukset. Tulokseksi saatiin näytteiden kosteus- ja tuhkapitoisuudet, joita verrattiin uunikosteuteen ja -tuhkapitoisuuteen. Oletettiin uunista saatujen tulosten olevan tarkempia, joten käytettiin niitä kosteus- ja tuhkapitoisuuksien seurantaan. NIR-määrittelyssä saatiin selville myös näytteiden proteiinipitoisuus, vedensidonta ja zeleny-luku. Tuloksia ei kuitenkaan pidetty kovin luotettavina, koska NIR-laitetta ei ollut kalibroitu kyseisten parametrien suhteen. Proteiinipitoisuus ja vedensidonta määritettiin puolikarkealle vehnäjauholle farinografilla, jolla saatu tulos oli luotettavampi.

Näytteiden karkeuksia tutkittaessa on huomioitava, että seulontamäärittelyille ei tehty rinnakkaistestejä. Jokainen näyte seulottiin vain kerran, koska varastosta haettuja vastanäytteitä ei riittänyt toiseen seulontakertaan. Tarkemmat tulokset olisi saanut, jos jokainen näyte olisi seulottu vähintään kahdesti, ja tämän jälkeen käytetty saatujen tulosten keskiarvoja. Lisäksi sakolukujen tuloksia verratessa on huomioitava, että näytteen sakoluku voi vaihdella riippuen siitä, mistä kohtaa näytettä (esim. keskeltä tai reunasta)

punnitaan sakolukumittauksia varten. Sakoluvut mitattiin vähintään kahdesti, jotta tämä virhe saatiin minimoitua.

Koeleivonnat sekä farino- ja ekstensografi tehtiin vain yhdelle näytteelle tietystä valmistustavasta. Tästä näytteestä leivottiin neljä leipää, eli tehtiin rinnakkaismääritykset, jotta tulokset olisivat mahdollisimman tarkat. Luotettavimmat tulokset olisi saatu, jos jokaisesta valmistustavasta olisi ollut useampi näyte. Lisäksi koeleivonnan tilavuusmittaus ei ollut kovin tarkka, koska käytetty pahvilaatikko antoi vähän periksi, jolloin sen tilavuus ei pysynyt täysin vakiona. Myös leipien kuorten väriin ja koostumukseen saattoi vaikuttaa se, että vesihöyryä lisättiin uuniin manuaalisesti. Vesihöyryä pyrittiin lisäämään joka paiston aikana yhtä paljon (6 s), mutta koska tätä ei ollut automatisoitu, saattoi vesihöyryn määrään tulla eroja. Vesihöyryn määrä vaikuttaa kuoren rakenteeseen ja ulkonäköön.

7 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli selvittää, mitä jauholaatuja on optimaalista tuottaa vehnämyllyssä samaan aikaan ja mitä ei. Tähän pyrittiin vertaamalla eri tavoilla valmistettujen jauhotyyppien laatuaroja toisiinsa. Koska vehnämyllyssä tuotetaan useita eri jauholaatuja, päätettiin keskittyä neljään eri jauholaatuun, joista kaksi (puolikarkea vehnäjauho ja hiivaleipäjauho) olivat jauhoja, joita valmistetaan myllyssä usein ja suuria määriä ja kaksi (karkea vehnäjauho ja mannasuurimot) harvinaisempia jauholaatuja. Lisäksi kyseisille jauholaaduille oli tarkoitus määrittää myllyn tuotannon käyttöön soveltuvat ehdotukset laaturajojen päivityksistä.

Näytteiden laaduntarkkailun tuloksista havaittiin, että sillä, mitä jauholaatuja valmistetaan samanaikaisesti, ei ollut merkitystä jauholaatujen kosteuspitoisuuteen eikä sakoluukuun. Samaan aikaan valmistettavien jauholaatujen huomattiin kuitenkin mahdollisesti vaikuttavan jauholaatujen tuhka- ja sitkopitoisuuteen. Tulosten perusteella yksi hiivaleipäjauhon tuotantotapa antoi korkeampia sitkopitoisuuksia kuin muut valmistustavat. Lisäksi samaan aikaan valmistettavilla jauholaaduilla havaittiin olevan vaikutusta jauhon karkeuteen.

Saatuja tuloksia voidaan hyödyntää jauhomyllyssä, kun valmistetaan tiettyjä jauholaatuja. Kun analysoidaan, miten valmistettavat jauhotyypit vaikuttavat jauhon laatuominaisuuksiin, voidaan jauhon valmistuksen asetuksia muuttaa ennakoivasti niin, että saadaan laadullisesti mahdollisimman tasalaatuista jauhoa. Tässä insinööriyössä määritettiin myös ehdotus päivitetystä laaturajoista puolikarkealle ja karkealle vehnäjauholla, hii-valeipäjauhoille ja mannasuurimoille. Laaturajoista on hyötyä mylläreille, jotka voivat rajojen avulla varmistaa, että valmistettavan jauhon laatu on kunnossa. Ehdotus laaturajojen päivityksistä määritettiin työn aikana kerättyjen näytteiden analysoinnista saatujen tulosten perusteella. Jatkossa olisi syytä pohtia, vastaavatko jauholaatujen nykyiset arvot tavoitteellisia arvoja, vai kannattaako laaturajoja muokata edelleen ihanteellisen laadun saavuttamiseksi.

Työssä keskityttiin neljään eri jauholaatuun. Myllyssä valmistetaan kuitenkin useampia jauholaatuja, joten työtä voidaan jatkaa muiden jauholaatujen laaturajojen päivittämiseen. Lisäksi työtä voitaisiin jatkaa selvittämällä vaikuttaako samaan aikaan valmistettavat jauholaadut kyseisten jauhotyyppien laadullisiin ominaisuuksiin.

Lähteet

- 1 Tietoa yrityksestä. Verkkoaineisto. Myllyn Paras Oy. <<https://www.myllynparas.fi/yritys>>. Luettu 13.2.2020.
- 2 Sato ja viljasadon laatu 2019, ennako. Verkkoaineisto. Luonnonvarakeskus. <<https://stat.luke.fi/satotilasto>>. Luettu 25.2.2020.
- 3 Viljasadon laatu muuttujina Vuosi, Laji, Muuttuja ja ELY-keskus. Verkkoaineisto. Luonnonvarakeskus. <http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__14%20Satotilasto/02_Viljasadon_laatu.px/table/table-ViewLayout1/?rxid=9eb73904-e1eb-4aa5-830e-36609a33b615>. Luettu 25.2.2020.
- 4 Viljan tuotanto Suomessa. Verkkoaineisto. Leipätiedotus ry. <<https://www.leipatiedotus.fi/tietoa-leivasta/pelloilta-poytaan/viljan-tuotanto/suomessa.html>>. Luettu 25.2.2020.
- 5 Vehnä (*Triticum aestivum*). Verkkoaineisto. Leipätiedotus ry. <<https://www.leipatiedotus.fi/tietoa-leivasta/vilja/kotimaiset-viljat/vehna>>. Luettu 25.2.2020.
- 6 Syysvehnä. Verkkoaineisto. Farmit Website Oy. <<https://www.farmit.net/syysvehna>>. Luettu 20.4.2020.
- 7 Hurri-Martikainen, M; Ignatius, A; Jussila, A & Salovaara; H. 2017. Leivonnan teknologia - Ruokaleipä. Helsinki: Bookwell Oy 2017.
- 8 Wheat grain. Verkkoaineisto. Baking industry research trust. <<https://www.bakeinfo.co.nz/Facts/Wheat-Milling/Wheat/Wheat-grain>>. Luettu 25.2.2020.
- 9 Jauhot ja niiden käyttötarkoitus. Verkkoaineisto. Leipätiedotus ry. <<https://www.leipatiedotus.fi/tietoa-leivasta/pelloilta-poytaan/myllytuotteet/jauhot-ja-niiden-kayttotarkoitus.html>>. Luettu 25.2.2020.
- 10 Starch and Cellulose. Verkkoaineisto. MindTouch. <[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Map%3A_Organic_Chemistry_\(Smith\)/Chapter_05%3A_Stereochemistry/5.01_Starch_and_Cellulose](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Map%3A_Organic_Chemistry_(Smith)/Chapter_05%3A_Stereochemistry/5.01_Starch_and_Cellulose)>. Luettu 31.5.2020.
- 11 Cox M. & Nelson D., 2008. Lehninger Principles of Biochemistry. 5. painos. New York: W. H. Freeman and Company.

- 12 Biomolekyylejä. Verkkoaineisto. Peda.net. <https://peda.net/sievi/sievin-lukio/oppiaineet2/kemia/kemia2/tkapp/luku-5-1:file/download/7aab27e65ee61932c2116e0e405a0144f4f7e425/lhminen_ja_elinymp%C3%A4rist%C3%B6n_kemiaa_KE2_LUKU_5.1.pdf>. Luettu 4.4.2020.
- 13 Ravintokuidun määritelmä. Verkkoaineisto. Leipätiedotus ry. <<https://www.leipatiedotus.fi/leipa-ravitsemuksessa/mita-viljatuotteista-saa/kuitu/ravintokuidun-maaritelma.html>>. Luettu 4.4.2020.
- 14 Rasvat. Verkkoaineisto. Ruokatieto. <<https://www.ruokatieto.fi/sv/node/795>>. Luettu 4.4.2020.
- 15 Ravintotekijä: rasvahappo 18:2 cis,cis n-6 (linolihappo). Verkkoaineisto. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. <<https://fineli.fi/fineli/fi/ravintotekijat/2095>>. Luettu 8.4.2020.
- 16 Savola, Päivikki. 1999. KAHVILEIPÄÄ – käsikirja leipurille. 4. painos. Helsinki: Leipomoalan Edistämisseätiö.
- 17 Jauho, vehnä jauho, puolikarkea. Verkkoaineisto. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. <<https://fineli.fi/fineli/fi/elintarvikkeet/110>>. Luettu 8.4.2020.
- 18 Ravintotekijä: fosfori. Verkkoaineisto. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. <<https://fineli.fi/fineli/fi/ravintotekijat/2223>>. Luettu 8.4.2020.
- 19 Coultate, T.P. 2001. Food the chemistry of its components. E-kirja. The royal society of chemistry.
- 20 Emännän Puolikarkea Vehnäjauho 2 kg. Verkkoaineisto. Myllyn Paras Oy. <<https://www.myllynparas.fi/tuotteet/emannan-puolikarkea-vehnajuho-2-kg>>. Luettu 22.3.2020.
- 21 Mannasuurimot. Verkkoaineisto. Myllyn Paras Oy. <<https://www.myllynparas.fi/tuotteet/mannasuurimot>>. Luettu 22.3.2020.
- 22 Karkea vehnä jauho. Verkkoaineisto. Kinnusen Mylly Oy. <<https://kinnusenmylly.fi/jauho/karkea-vehnajuho/>>. Luettu 22.3.2020.
- 23 Lisää kuitua leivontaan ja ruuanlaittoon hiivaleipävehnäjauholla. Verkkoaineisto. Kinnusen Mylly Oy. <<https://kinnusenmylly.fi/makuja-ja-mahdollisuuksia/hiivaleipavehnajuhoista-kuitua/>>. Luettu 25.2.2020.

- 24 Kulhomäki, S. & Salovaara, H. 1992. LAATULEIPÄÄ – käsikirja leipurille. 3. painos. Helsinki: Vesanpaino Oy.
- 25 Laatumäärä. Verkkoaineisto. Vilja-alan yhteistyöryhmä VYR ry. <<https://www.vyr.fi/rukiin-viljelyopas/sadon-markkinointi/laatumäärä/>>. Luettu 29.3.2020.
- 26 Viljan laatumäärä. Verkkoaineisto. Leipätiedotus ry. <<https://www.leipätiedotus.fi/tietoa-leivasta/pelloilta-pöytäan/viljan-laatumäärä.html>>. Luettu 29.3.2020.
- 27 Complete moisture analysis for wheat. Verkkoaineisto. Wiley Company. <<https://www.foodqualityandsafety.com/article/complete-moisture-analysis-for-wheat/>>. Luettu 31.5.2020.
- 28 Veden aktiivisuuden vaikutus elintarvikkeiden pilaantumiseen. Verkkoaineisto. <<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/hygieniaosaaminen/vedenaktiivisuus.htm>>. Luettu 29.3.2020.
- 29 Jauhainen, Lauri, Salo, Yrjö ja Sieviläinen Elina. 2010. Vehnälajikkeiden leivontalaatu. Verkkoaineisto. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote nro 26. <<https://journal.fi/smst/article/view/76915/38073>>. Luettu 20.4.2020.
- 30 Myllytuotteiden laaturajat. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Myllyn Paras
- 31 Vastaanotettavien viljojen laatu, raja-arvot. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Myllyn Paras Oy.
- 32 Viljapassi. Verkkoaineisto. Myllyn Paras Oy. <<https://www.myllynparas.fi/viljapassi/>>. Luettu 9.3.2020.
- 33 Laatuvaatimukset ja hinnoitteluperusteet. Verkkoaineisto. Myllyn Paras Oy. <<https://www.myllynparas.fi/laatuvaatimukset-ja-hinnoitteluperusteet/>>. Luettu 9.3.2020.
- 34 Vehnä. 2016. Yrityksen sisäinen dokumentti. Myllyn Paras Oy.
- 35 VEHNÄN laatumäärä. Verkkoaineisto. Myllyn Paras Oy. <https://www.myllynparas.fi/sites/default/files/atoms/files/VEHN%C3%84N%20laatumäärä_telu_0.pdf>. Luettu 9.3.2020.
- 36 Vehnä ja vehnämylly. 2011. Yrityksen sisäinen dokumentti. Myllyn Paras Oy.
- 37 Myllyn toiminta. Verkkoaineisto. Leipätiedotus ry. <<https://www.leipätiedotus.fi/tietoa-leivasta/pelloilta-pöytäan/myllyn-toiminta.html>>. Luettu 1.4.2020.

- 38 Types of screw conveyors. Verkkoaineisto. KWS Manufacturing Company Ltd. <<https://www.kwsmfg.com/engineering-guides/screw-conveyor/types-of-screw-conveyors/>>. Luettu 20.4.2020.
- 39 Triööri. Verkkoaineisto. Baltik Agro Service Oy. <<http://www.petkus.fi/Tri%C3%B6ri>>. Luettu 8.3.2020.
- 40 Torajyvä. Verkkoaineisto. Farmit Website Oy. <<https://www.farmit.net/kasvinviljely/kasvinsuojelu/kasvitaudit/tunnistuskuvat/torajyva>>. Luettu 8.3.2020.
- 41 Vehnämyllyn valmistusohjeet (yleisohje). 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Myllyn Paras Oy.
- 42 Vehnämyllyn työohjeet 201904. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Myllyn Paras Oy.
- 43 NIR Introduction. Verkkoaineisto. Perten Instruments. <<https://www.perten.com/Publications/Articles/NIR-Introduction1/>>. Luettu 5.5.2020.
- 44 Falling Number® in flour milling and baking. Verkkoaineisto. Perten Instruments. <<https://www.perten.com/Products/Falling-Number/Applications/Flour-milling-and-baking/>>. Luettu 26.3.2020.
- 45 Glutomatic System 2200. Verkkoaineisto. Perten Instruments. <<http://gsilab.com/wp-content/uploads/2016/10/Perten-Glutomatic-Gluten-Index-Analyser.pdf>>. Luettu 26.3.2020.
- 46 Fundamentals of Rheology and Spectrometry. Verkkoaineisto. Mühlenchemie GmbH & Co, KG. <http://www.mehlverbesserung.de/downloads-future-of-flour/FoF_Kap_13-1.pdf>. Luettu 6.5.2020.
- 47 Pulla. Verkkoaineisto. Myllyn Paras Oy. <<https://www.myllynparas.fi/reseptit/pulla>>. Luettu 25.5.2020.
- 48 Leivontapulmia. Verkkoaineisto. Maa- ja kotitalousnaiset. <<https://www.maajakotalousnaiset.fi/sisalto/leivontapulmia-1757>>. Luettu 25.5.2020.
- 49 Laine, Juhana. 2011. Ruismallasuute vähägluteenisessa kauraleivonnassa. Maisterin tutkielma. Helsingin Yliopisto. Helda – digitaalinen arkisto.

Yksisuuntaisen varianssianalyysin tulokset

Eri tuotantotavoilla valmistettujen jauholaatujen (puolikarkea vehnä jauho, karkea vehnä jauho, hiivaleipäjauho ja mannasuurimot) yksisuuntaisten varianssianalyysien tulokset eri ominaisuuksille (tuhka-, kosteus ja sitkopitoisuus sekä sakoluku).

Puolikarkea vehnä jauho

Tuhkapitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	0,03243	5	0,00649	1,77106	0,15022	2,545386
Ryhmissä	0,10619	29	0,00366			
Yhteensä	0,13862	34				

Sitkopitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	6,16067	5	1,23213	0,67204	0,64853	2,620654
Ryhmissä	44,0023	24	1,83343			
Yhteensä	50,163	29				

Hiivaleipäjauho

Tuhkapitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	0,56637	2	0,28318	13,3387	0,00014	3,422132
Ryhmissä	0,4883	23	0,02123			
Yhteensä	1,05467	25				

Sitkopitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	190,365	2	95,1826	5,0807	0,02066	3,68232
Ryhmissä	281,013	15	18,7342			
Yhteensä	471,378	17				

Karkea vehnä jauho

Tuhkapitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	0,0523	1	0,0523	7,97312	0,01993	5,117355
Ryhmissä	0,05903	9	0,00656			
Yhteensä	0,11133	10				

Sitkopitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	44,8267	1	44,8267	3,18396	0,12462	5,987378
Ryhmissä	84,4733	6	14,0789			
Yhteensä	129,3	7				

Mannasuurimot

Tuhkapitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	0,02754	3	0,00918	7,84965	0,00258	3,343889
Ryhmissä	0,01637	14	0,00117			
Yhteensä	0,04391	17				

Kosteuspitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	0,96851	5	0,1937	2,50346	0,05219	2,533555
Ryhmissä	2,32121	30	0,07737			
Yhteensä	3,28972	35				

Sakoluku						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	7445,2	5	1489,04	1,26357	0,30711	2,558128
Ryhmissä	32996,3	28	1178,44			
Yhteensä	40441,5	33				

Kosteuspitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	0,16655	2	0,08327	0,3807	0,688	3,4668
Ryhmissä	4,59345	21	0,21874			
Yhteensä	4,76	23				

Sakoluku						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	8428,49	2	4214,24	3,51244	0,05154	3,554557
Ryhmissä	21596,5	18	1199,8			
Yhteensä	30025	20				

Kosteuspitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	3,01042	1	3,01042	12,0551	0,01327	5,987378
Ryhmissä	1,49833	6	0,24972			
Yhteensä	4,50875	7				

Sakoluku						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	922,865	1	922,865	1,15084	0,31896	5,591448
Ryhmissä	5613,36	7	801,908			
Yhteensä	6536,22	8				

Kosteuspitoisuus						
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	0,76736	3	0,25579	1,97256	0,1645	3,343889
Ryhmissä	1,81542	14	0,12967			
Yhteensä	2,58278	17				

Dallmannin huokoskokotaulukko

Tässä työssä huokoskokotaulukkoa käytettiin vertaamaan koeleipien huokoskokoa. Huokoskokoa arvioidaan asteikolla 1–8, jossa 1 kuvaa suurinta ja epätasaisinta huokoskokoa (kuvassa oikea yläkulma), kun taas 8 kuvaa pienintä ja tasaisinta huokoskokoa (kuvassa vasen alakulma). Asteikko kulkee oikeasta yläkulmasta alaspäin (1– 4) ja vasemmasta yläkulmasta alaspäin (5– 8). [49.]

