

**TÄRKKELYKSEN TILAVUUSOSUUDEN ROOLI
VEHNÄTAIKINAN REOLOGIASSA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Visamäki, 9.10.2009

Kirsi Hakonen



Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Hämeenlinna

Työn nimi Tärkkelyksen tilavuusosuuden rooli vehnätaikin reologiassa

Tekijä Kirsi Hakonen

Ohjaava opettaja Maritta Kymäläinen

Hyväksytty _____ . _____ . 20 _____

Hyväksyjä

VISAMÄKI

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Elintarviketeknologian suuntautumisvaihtoehto

Tekijä Kirsi Hakonen **Vuosi** 2009

Työn nimi Tärkkelyksen tilavuusosuuden rooli vehnätaikinan reologiassa

TIIVISTELMÄ

Työssä tutkittiin tärkkelyksen tilavuusosuuden reologista merkitystä vehnäleivonnan taikinavaiheessa. Tärkkelysjuvästen on perinteisesti ajateltu täyttävän gluteeniverkoston aukot passiivisesti taikinassa. Tärkkelyksen tutkiminen vehnätaikinoissa on ollut vähäistä ja sen roolia taikinan reologiassa ei täysin tunneta, sillä tutkimuksessa on keskitytty pääosin gluteenin merkityksen selvittämiseen. Työn toimeksiantaja oli Helsingin yliopiston elintarviketeknologian laitos.

Tärkkelyksen tilavuusosuuden roolia vehnätaikinoissa tutkittiin valmistamalla synteettisiä taikinoita vehnätkätkelyksestä, gluteenista ja vedestä. Eri tärkkelysosuuksilla valmistettujen taikinoiden reologisia ominaisuuksia, kuten konsistenssia, ja vedensidontakykyä, mitattiin farinografilla. Tuloksia verrattiin vehnäjauhoista valmistettujen taikinoiden tuloksiin. Tuloksia tarkasteltiin graafisesti ja tilastollisten menetelmien avulla.

Taikinan tilavuuden ja tiheyden määrittämiseksi kehitettiin Arkhimedeen lakiin perustuva menetelmä. Pyknometrimittauksilla osoitettiin, että tärkkelysjuvästen tilavuus ei muuttunut taikinanteon aikana. Siten tärkkelyksen tilavuus taikinassa voitiin laskea sen lähtötilanteessa mitatun massan ja tiheyden perusteella. Tärkkelyksen tilavuusosuuden kasvu nosti taikinan tiheyttä, kun taas sekoitus kevensi taikinaa. Vesiosuuden kasvulla todettiin olevan taikinan tiheyttä nostava vaikutus, kun leivottiin vahvoista, paljon hyvälaatuisista gluteenia sisältävistä jauhoista. Tärkkelyksen massaosuuden kasvaessa sen tilavuusosuuden kasvu hidastui. Tämä osoittaa, että tärkkelyksen massaosuuden kasvaessa ilman sitoutuminen taikinaan heikkenee. Tärkkelyksen massaosuudella oli sen tilavuusosuutta lineaarisempi yhteys taikinan reologisten ominaisuuksien kanssa. Tästä pääteltiin, että ilma voi aiheuttaa epälineaarisuutta taikinan reologiseen käyttäytymiseen.

Avainsanat Reologia, vedensidonta, ei-newtoninen fluidi, elastis-plastisuus, vehnätkätkelys.

Sivut 56 s. + liitteet 29 s.

Visamäki
Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering
Food Technology

Author Kirsi Hakonen **Year** 2009

Subject of Bachelor's thesis The Role of Starch Volume Fraction in Wheat Dough Rheology

ABSTRACT

The purpose of this project was to study the role of starch volume fraction during the moist dough stage. The starch granules have traditionally been thought to fill the holes in the gluten network passively in the dough. The study of starch has been minor and its role is not fully known, since researchers have concentrated on solving the importance of gluten in the dough study. The commissioner of the study was the Department of Food Technology at Helsinki University.

The role of starch volume fraction in wheat dough was studied by making synthetic doughs of wheat starch, gluten and water. The rheology of the doughs with changing starch volume fractions was measured by a farinograph. The results were compared with the results of the doughs made of wheat flour. The results were studied graphically and statistically.

A method based on the Archimedes law was developed to measure the volume and the density of dough. It was proved with the pycnometer that the volume of the starch granules didn't change during the dough mixing. So the volume of the starch could be calculated on the basis of its mass and density in the beginning. The increase in the volume fraction of starch increased the density of the dough, whereas mixing lightened the dough. The growth of the water fraction had an increasing impact on the density of the dough, when baking of flours including plenty of gluten. When the mass fraction of the starch increased, its volume fraction growth retarded. This indicates that the air inclusion in the dough weakens when the mass fraction of the starch grows. The starch mass fraction had a more linear interconnection with the rheological characteristics of the dough than the starch volume fraction. This indicates that air may increase the nonlinearity in the rheological behaviour of the dough.

Keywords Rheology, water binding, non-newtonian fluid, elastic-plasticity, wheat starch.

Pages 56 p. + appendices 29 p.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö toteutettiin 1.5. - 30.9.2009 välisenä aikana. Työn toimeksiantaja oli Helsingin yliopiston elintarviketeknologian laitos, jossa suoritettiin työn kokeellinen osio. Aihe saatiin yliopistonlehtori Tuula Sontag-Strohmin kautta ja työn ohjaajana toimi tutkija Fred Gates Helsingin yliopiston fysiikan laitokselta.

Haluan erityisesti kiittää Tuulaa innostavasta opinnäytetyöaiheesta ja työni mahdollistamisesta sekä Frediä kärsivällisestä ohjauksesta. Kiitos laboratorioteknikko Tapio Antilalle menetelmäkehitystyöhön saamastani avusta ja kiitos kaikille mukaville ja avuliaille ihmisille, jotka edesauttoivat viihtymistäni Viikissä. Erityiskiitos myös järjestelykykyiselle ja pitkämieliselle perheelleni, jonka ansiosta ajan käyttäminen tämän työn tekemiseen oli mahdollista.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	1
2. VEHNÄLEIVÄN VALMISTUSPROSESSI JA PROSESSIVAIHEIDEN VAIKUTUS LEIVÄN LAATUUN.....	2
2.1 Raaka-aineiden annostelu ja sekoitus.....	3
2.2 Vaivaaminen.....	3
2.3 Lepo.....	4
2.4 Pyöröriivaus	4
2.5 Välilepo	5
2.6 Pitkärullaus.....	5
2.7 Nostatus.....	5
2.8 Paisto	5
2.9 Raaka-aineet.....	6
2.10 Veden määrä taikinassa.....	6
2.11 Happi.....	7
3. REOLOGIA.....	7
3.1 Viskositeetti, kimmokerroin ja kimmoisuus	8
3.2 Newtoninen ja ei-newtoninen fluidi.....	9
3.3 Elastisuus ja plastisuus	9
3.4 Reologian merkitys teollisen leivonnan laadussa.....	10
3.4.1 Vehnäleipätaikin reologia.....	11
3.4.2 Tuotantomäärien skaalaus	12
3.5 Farinografi ja sen käyttö vehnäleipätaikin tutkimisessa.....	13
3.5.1 Farinogrammi	14
4. TÄRKKELYS	16
4.1 Tärkkelyksen kemiallinen koostumus.....	17
4.2 α - ja β -tärkkelys	18
4.3 Vehnätärkkelysnyväsen rakenne.....	19
4.4 Tärkkelysnyväsen kiteiset ja amorfiset alueet.....	20
4.5 Vahingoittunut tärkkelys	21
4.6 Tärkkelyksen vedensidonta.....	21
4.7 Vehnäleipätaikin reologian kannalta merkittävät tärkkelysnyväsen osat.....	22
5. TUTKIMUSMENETELMÄT, NIIDEN TESTAUS JA KEHITYSTYÖ.....	22
5.1 Materiaalit	22
5.2 Viikin laboratorion farinografi.....	23
5.3 Menetelmättestaustyö tärkkelyksen tilavuusosuuden määrittämiseksi	24
5.4 Menetelmän kehitystyö taikinäytteen tiheyden määrittämiseksi.....	26
5.4.1 Tiheyden määrittäminen ”Arkhimedeen korissa”	27
5.4.2 Taikin teoreettisen tiheyden määrittäminen.....	28
6. ESIKOKEET VEHNÄTAIKINAN REOLOGISIIN OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVISTA TEKIJÖISTÄ	29

6.1	Tausta ja toteutus.....	29
6.1.1	Veden määrä.....	30
6.1.2	Veden lisäystapa.....	30
6.1.3	Sekoitusaika.....	31
6.1.4	Tärkkelyksen tilavuusosuus.....	31
6.2	Tulokset.....	31
6.2.1	Veden määrä.....	31
6.2.2	Veden lisäystapa.....	35
6.2.3	Sekoitusaika.....	36
6.2.4	Tärkkelyksen tilavuusosuus.....	37
7.	TÄRKKELYKSEN TILAVUUSOSUUDEN VAIKUTUKSET VEHNÄTAIKINAN REOLOGIAAN.....	37
7.1	Tausta ja toteutus.....	37
7.2	Koesarja vaihtelevalla veden määrällä.....	40
7.2.1	Tärkkelyksen määritetyn ja teoreettisen tiheyden yhteys.....	40
7.2.2	Taikin tiheys.....	41
7.2.3	Jauhojen vedensidontakyky.....	42
7.2.4	Taikin konsistenssi.....	43
7.2.5	Taikin muodostumisaika ja sekoituskestävyys.....	44
7.3	Koesarja veden määrän pysyessä vakiona.....	44
7.3.1	Taikin määritetyn ja teoreettisen tiheyden yhteys.....	44
7.3.2	Taikin tiheys.....	45
7.3.3	Jauhojen vedensidontakyky.....	46
7.3.4	Taikin konsistenssi.....	47
7.3.5	Taikin muodostumisaika ja sekoituskestävyys.....	47
8.	POHDINTA.....	47
9.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET.....	51
	LÄHTEET.....	54
LIITE 1	Gluteenin ja tärkkelyksen punnitut määrät sekä tärkkelyksen tilavuus	
LIITE 2	Farinogrammit vesimäärän vaihdellessa	
LIITE 3	Farinogrammit vesimäärän pysyessä vakiona	
LIITE 4	Korrelaatiomatriisit vesimäärän vaihdellessa ja pysyessä vakiona	
LIITE 5	Regressioyhteenvedojen pohja-aineistot	
LIITE 6	Regressioyhteenvedot vesimäärän vaihdellessa	
LIITE 7	Regressioyhteenvedot vesimäärän pysyessä vakiona	
LIITE 8	Taikin tiheyden määrittäminen Arkhimedeen korissa	
LIITE 9	Kuvaajia tärkkelyksen massaosuuden vaikutuksista taikin reologiaan	
LIITE 10	Aineiston tilastollisen tarkastelun kuvaus	

1. JOHDANTO

Tärkkelys on kasvien energiavarasto. Ihminen on oppinut käyttämään tärkkelystä hyödykseen lukemattomin eri tavoin. Tärkkelys täyttää lääkekapselit, pehmentää kiisseliä, keittojen ja kastikkeiden suutuntumaa, toimii veteen sekoitettuna muoviluvahana ja lujittaa paperin (Viitanen 2008, 13). Vaikka paljon tärkkelyksen rakenteesta ja toiminnasta on saatu selville, sen hienoin rakenne on yhä tutkijoillekin epäselvä.

Tärkkelyksen käyttäytymisestä vehnäleivonnan taikinavaiheessa tiedetään hyvin vähän, vaikka leivän laatua on pyritty ennustamaan taikinän ominaisuuksien perusteella jo pian sadan vuoden ajan. Leivontatutkimuksessa on keskitytty gluteeniin sekä tärkkelyksen merkittävään toimintaan leivän kypsennysvaiheessa. Tärkkelysjuvästen massaosuus ja siten myös tilavuusosuus vehnätaikinassa on kuitenkin huomattava, joten tärkkelyksellä täytyy olla myös jokin reologinen vaikutus leivän laatuun (Dickinson 1992, 61). Tärkkelysjuväset eivät oletettavasti ole gluteeniverkoston passiivista täytettä myöskään leivonnan taikinavaiheessa.

Taikina on kolmen faasin seos. Tärkkelysjuväset ja muut veteen liukenevat komponentit, joita ympäröi gluteeniverkosto, kuuluvat taikinän kiinteään faasiin. Nestefaasin muodostavat vesi ja siihen lienneet komponentit. Sekoituksen aikana taikinän raaka-aineisiin imeytyneet kaasut ovat taikinän kolmas faasi. (Stear 1990, 7). Valmistamalla synteettisiä taikinoita gluteenista, tärkkelyksestä ja vedestä on saatu paljon selville esim. veden määrän ja sekoitusajan vaikutuksista taikinän reologiaan (Letang, Piau & Verdier 1999, 121). Aiemmin tehtyjä tutkimuksia käytettiin hyväksi pohjatietona tässä tutkimuksessa. Saatuja tutkimustuloksia myös verrattiin aiemmissa tutkimuksissa saatuihin tuloksiin.

Partikkeleiden tilavuusosuudella on ratkaiseva reologinen merkitys ruokia suunniteltaessa ja niiden reologista käyttäytymistä ennustettaessa (Manski, Kretzers, van Brenk, van der Goot & Boom 2007, 83). Tästä syystä haluttiin tutkia nimenomaan tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutuksia taikinän reologisiin ominaisuuksiin ja verrata tuloksia tärkkelyksen massaosuuteen perustuviin tuloksiin.

Tämän työn tavoitteena oli testata pyknometrin soveltuvuus tärkkelyksen tilavuusosuuden määrittämiseen taikinasta, kehittää taikinän tiheyden määrittämenetelmä ja tutkia tärkkelyksen tilavuusosuuden vaihtelun vaikutuksia vehnäleipätaikinän reologisiin ominaisuuksiin.

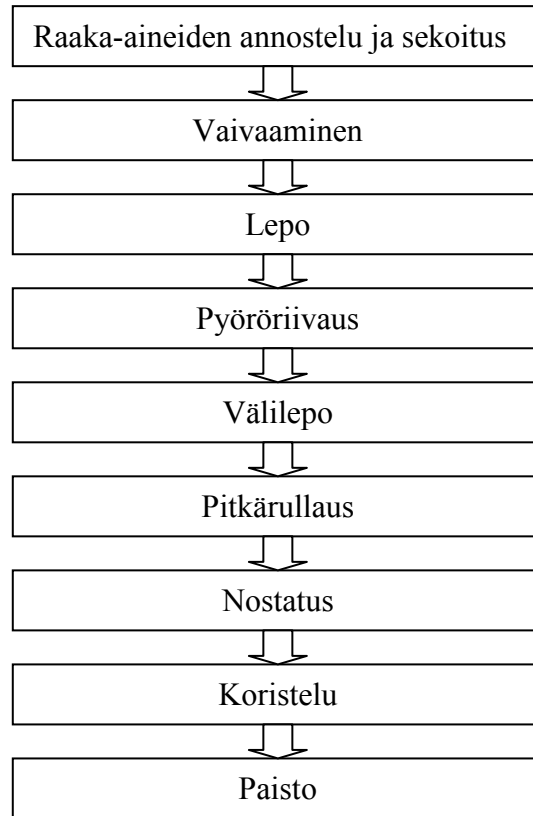
2. VEHNÄLEIVÄN VALMISTUSPROSESSI JA PROSESSIVAIHEIDEN VAIKUTUS LEIVÄN LAATUUN

Vehnäleipätaikina sisältää vettä, vehnä jauhoja sekä suolaa ja hiivaa. Tätä reseptiä voi muunnella loputtomasti. Taikinaan voi lisätä esim. rasvaa, siirappia, hunajaa, leseitä, siemeniä tai yrttejä. Laadukas vehnäleipä mielletään, lukuun ottamatta joitakin paikallisia erikoisuuksia, kevyeksi ja ilmaksi leivonnaiseksi, jonka ilmakuplat ovat tasakokoisia. Kuori on nautittavimmillaan rapeana ja kuivana, kun taas leivän sisuksen odotetaan olevan miellyttävän pehmeä. Leivän ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa monien keinojen, kuten raskituksen, gluteenin tai vahingoittuneen tärkkelyksen avulla.

Leipää valmistettaessa taikina kokee useita muutoksia prosessin eri vaiheissa. Sekoitettaessa taikinan muodonmuutos hipoo romahduksen rajoja; lepojen aikana muodonmuutokset ovat paljon sekoituksesta aiheutuneita pienempiä. Riivauksen ja muotoilun aiheuttamat muodonmuutokset ovat jotain tältä väliltä. Nostatuksen ja paiston aiheuttamat muodonmuutokset ovat taas huomattavia. (Faridi & Faubion 1989, 29). Vehnätaikinan ristisidokset ovat ei-kovalentteja ja siten hajoavat ja muodostuvat uudelleen jatkuvasti (Hoseney 1994, 223). Tästä johtuen taikinan reologiset ominaisuudet muuttuvat jatkuvasti. Taikinalla on reologinen muisti, mutta jatkuvasta molekyyllisidosten hajoamisesta ja uusien sidosten syntymisestä johtuen se muistaa vain yhden edellisen prosessivaiheen. Tämän muistin vuoksi taikinan prosessointi- ja lepovaiheiden täytyy vuorotella. Vehnäleivän valmistusprosessi on esitetty kuvassa 1.

Taikinan kypsymisprosessilla tarkoitetaan kostuneiden proteiinisäikeiden sattumanvaraisen verkoston ja kaasualkioiden muodostumista. Tämän prosessin aikana taikinaan muodostuu lopputuotteen laadun määräävä rakenne ja aromi. Kaikki prosessivaiheet tehdään siten, että taikinaan muodostuu mahdollisimman paljon kaasualkioita (Faridi & Faubion 1989, 33). Näistä alkioista muodostuu huokosia, joihin prosessivaiheiden aikana taikinaan syntyvät ja sitoutuvat kaasut päätyvät. Kaikissa prosessivaiheissa pyritään siihen, että mahdollisimman suuri osa hiivan muodostamasta hiilidioksidista ja taikinaan sekoituksen aikana sitoutuvasta ilmasta saadaan jäämään taikinaan, jotta lopputuotteesta tulee ilmava ja maukas.

Vehnäleivän valmistusprosessi



KUVA 1 Vehnäleivän valmistusprosessi suoraleivontamenetelmällä.

2.1 Raaka-aineiden annostelu ja sekoitus

Jauhojen, veden, hiivan, suolan ym. raaka-aineiden reseptin mukainen annostelu on tärkeää, jotta saadaan aikaan maultaan ja rakenteeltaan totutunlainen tuote. Vehnäleipätaikinaan vettä tulee n. 65 % ja suolaa sekä kuiva-hiivaa n. 2 % jauhojen painosta. Raaka-aineiden huolellinen sekoitus on tärkeää, jotta koko tuote-erästä tulee tasalaatuinen. Tasalaatuisuutta edistävät myös leipomon tasainen kosteus ja lämpötila. Hiivan toiminta alkaa heti raaka-aineiden sekoituksen jälkeen. Siten alkoholikäymisen seurauksena taikinaan alkaa muodostua hiilihydraateista alkoholia, hiilidioksidia ja energiaa. (Stear 1990, 480 - 483).

2.2 Vaivaaminen

Vehnäleipätaikinaa vaivataan, jotta gluteeniproteiinit eli gluteeniini ja gliadiini turpoavat, polymeroituvat ja muodostavat ristikkäissidoksia toistensa kanssa (Stear 1990, 4). Erilliset gluteeniproteiinimassat tuhoutuvat ja gluteeniproteiinit muuttuvat jatkuvaksi visko-elastiseksi gluteeniproteiiniverkostoksi (Goesaert, Brijs, Veraverbeke, Courtin, Gebruers & Delcour 2004, 19). Gluteeniproteiinien liukenevuus ja molekyyli-paino lisääntyvät taikinaa sekoitettaessa. Ylisekoitus taas aiheuttaa polymeerien hajoamista. (Faridi & Faubion 1989, 83). Optimivaivausaika on taikinakoneen tyypistä riippuen 2 - 20 minuuttia. Nopeat spiraalisekoittajat tuottavat taikinaan enemmän lämpöä kuin hitaat lapasekoittajat. (Faridi & Faubion 1989,

221). Taikinakoneen korkea teho nopeuttaa proteiinien ja hiilihydraattien pehmenemistä poistamalla jauhopartikkeleiden uloimpia kerroksia sitä mukaa kun ne hydratoituvat. Samalla paljastuu lisää uutta hydratoitumis-pintaa. (Faridi & Faubion 1989, 347).

Gluteeniproteiinit määräävät suurimmaksi osaksi leivän laadun. Gluteenin määrä ja laatu määräävät taikinan sekoitustarpeen ja ylisekoitusherkyyden sekä optimiinsa sekoitetun taikinan reologiset ominaisuudet. Siten gluteeni vaikuttaa myös taikinan kaasunpidätyskykyyn, joka taas määrää leivän tilavuuden ja rakenteen. (Goesaert ym. 2004, 19). Keskimäärin ilmaa on 10 % taikinan tilavuudesta normaalissa ilmakehän paineessa (Lentang ym. 1999, 129). Hyvälaatuinen ja runsas gluteeni antaa taikinalle sekoituskestävyyttä ja kun taikinaa sekoitetaan pitkään, sitoutuu sinne paljon ilmaa. Sekoituksen, ilmastuksen ja reologian välillä on tiivis yhteys: Sekoittimen muotoilu ja toiminta muuttavat tuotteen rakennetta, ilman määrää ja tuotteen reologiaa. Toisaalta ruuan reologia vaikuttaa aikaan ja energiaan, jotka tarvitaan toivotun kehityksen aikaansaamiseksi. (Wrigley ym. 2004, 412). Taikinan sekoittamisen aikana tapahtuvan taikinakomponenttien pehmenemisen voidaan olettaa tekevän valmiista tuotteesta helpommin ruuansulatuselimistössä hajoavan ja siten ravitsemuksellisesti arvokkaamman.

2.3 Lepo

Levon aikana taikinaan syntyneet jännitykset osittain relaxoituvat, jolloin taikinan muokattavuus helpottuu elastisten ominaisuuksien vähetessä (Hoseney 1994, 223). Vastasekoitettu taikina on tarttuva ja se vastustaa laajentumista. Kun taikinan annetaan levätä, vastus romahtaa nopeasti ja tuloksena on erittäin laajentumiskykyinen materiaali. (Faridi & Faubion 1989, 38). Pitkän relaxoitumisajan tarvitsevien vehniä on osoitettu olevan leivontalaadultaan hyviä. Relaxoitumisaika on itsenäinen ominaisuus eikä riipu veden määrästä, sekoitusajasta tai lämpötilasta. Pienet polymeerimolekyylit relaxoituvat nopeasti, kun taas pitkä relaxoitumisaika liitetään gluteenista löytyviin, molekyylipainoltaan suuriin polymeereihin. (Wrigley ym. 2004, 410; Dobraszczyk & Morgenstern 2003, 229 - 245). Vehnätaikinan optimilepoaika on n. 20 minuuttia ja se vaihtelee jauhojen leivontalaadun mukaan. Jännitysten relaxoitumisen lisäksi taikinaan syntyy levon aikana huomattava määrä kaasua. Kaasu on pääasiassa hiivan toiminnan tuloksena muodostunutta hiilidioksidia. Soluille käyttökelpoista tyyppiä syntyy taikinaan jauhojen proteiinien hajotessa. Elävät solut, kuten hiiva, tarvitsevat typen lisäksi hiiltä ja mineraaleja toimiakseen (Aittomäki, Eerikäinen, Leisola, Ojamo, Suominen ja von Weymarn 2002, 123).

2.4 Pyöröriivaus

Voidaan olettaa, että levon aikana tärkkelysjyväset vetävät toisiaan puoleensa ja muodostavat heikkoja rykelmiä. Kun taikinaa levon jälkeen sekoitetaan, rykelmät hajoavat. Tämän seurauksena taikinan viskositeetti alenee. (Windhab 2000, 141). Pyöröriivaus on eräänlainen tuotteen esimuotoiluvaihe. On helpompi muotoilla tasalaatuisia tuotteita pyöröriiva-

tuista, säännöllisistä taikinapalloista kuin vaihtelevan muotoisista taikinapaloista. Pyöröriivauksen aikana kaasukuplat edelleen jakaantuvat ja muodostavat kaasulle uusia paikkoja.

2.5 Välilepo

Välilevon aikana pyöröriivauksen aikana syntyneet jännitykset jälleen relaxoituvat, jolloin taikinan muotoiltavuus paranee. Pyöröriivaus on suhteellisen kevyt toimenpide, jonka aikana taikinaan ei synny paljon jännityksiä. Siksi välilepoon tarvitaan vain noin seitsemän minuuttia. Leipomossa välilepo tapahtuu yleensä kuljetushihnalla taikinapalan matkatessa pyöröriivaajalta pitkärullajalle.

2.6 Pitkärullaus

Pitkärullauksessa pyöreä taikinapala muokataan pitkäksi. Pyöreälle leivälle tätä toimenpidettä ei tehdä. Myös pitkärullauksen aikana taikinan kaasukuplat jakaantuvat. Kun leipätaikinaa muokataan toistuvasti, gluteeni muodostaa taikinan elastisuutta lisäävän verkoston (Dobraszczyk & Morgenstern 2003, 229 - 245). Pitkärullauksen jälkeen taikina muotoillaan tarpeen vaatiessa lopulliseen muotoonsa.

2.7 Nostatus

Nostatuksen aikana hiiva muodostaa hiilihydraateista, kuten tärkkelyksestä ja lisätystä sokerista, hiilidioksidia sitä varten ylöslyönnin aikana muodostettuihin kaasualkioihin. Gluteeniproteiiniverkostolla on ratkaiseva tehtävä leivontaprosessin aikana sitoutuneiden kaasujen pidättämisessä taikinaan (Goesaert ym. 2004, 19). Nostatuksen aikana taikinan tarttuvuus vähenee ja sen laajentumiskyky pienenee. Lisäksi taikinan jännitykset vähenevät sekä tiheys ja muoto muuttuvat. (Faridi & Faubion 1989, 39). Riittävästi hapetettu ja nostatettu taikina ei leviä liikaa (Faridi & Faubion 1989, 40), vaan säilyttää muotonsa. Taikinan pH on nostatuksen alussa n. kuusi, josta laskee nostatuksen aikana n. viiteen. Hiivan toiminnan kannalta tämä on optimiarvo. (Stear 1990, 482). Nostatus tapahtuu n. +37 °C:n lämpötilassa, 80 %:n kosteudessa ja siihen kuluu aikaa n. yksi tunti. Kosteutta tarvitaan, jotta taikinan pinta ei kuivu ja leivän kohoaminen tästä syystä esty. Pinnan tulee joustaa repeämättä niin paljon kuin hiiva lisää leivän tilavuutta.

2.8 Paisto

Ennen paistamista leivän pinnalle voidaan ripotella esimerkiksi siemeniä, hiutaleita tai jauhoja. Leipä voidaan myös pistellä tai viillellä sen ulkonäön parantamiseksi. Kuoren rapeutta ja paksuutta voidaan haluttaessa lisätä paiston alussa höyryttämällä. Paiston aikana taikinasta haihtuu siihen muodostunut alkoholi. Myös vesihöyryä haihtuu, eli taikina kuivuu. Taikinan pinnalla tapahtuu proteiinien ja hiilihydraattien välinen Maillard -reaktio, jonka seurauksena kuoren väri muuttuu ruskeaksi. Myös sokerei-

den karamelisoituminen tummentaa leivän kuoren väriä ja antaa sille makean maun.

Lämpötilan aiheuttamat reologiset muutokset taikinassa ovat erittäin merkittäviä. Tästä kertoo se, että erilaatuisista jauhoista tehdyistä, samanpainoisista taikinoista paistuu tilavuudeltaan erilainen leipä. Erityisen tärkeäksi on havaittu noin +55 °C:ssa tapahtuvat muutokset. Leivän paistuessa tärkkelys kypsyy eli gelatinoituu. (Faridi & Faubion 1989, 58). Tämä muutos tärkkelyksen muodossa on palautumaton. Gelatinoituessaan tärkkelysjyväset ovat aktiivisia imien itseensä kosteutta gluteenilta. Ilmeisin paistossa tapahtuva muutos on taikinän muuttuminen leiväksi. Keskkokoinen vehnäleipä kypsyy noin 200 °C:ssa 20 minuutin aikana. Paiston jälkeen leipä jäähdytetään ja pakataan.

2.9 Raaka-aineet

Kaikki taikinän raaka-aineet vaikuttavat taikinän reologiaan. Suurimmaksi osaksi jauhot, vesi, hiiva ja ilma määräävät taikinän reologiset ominaisuudet. Lisäksi esim. jauhoparanteet, suola, rasva, entsyymit ja emulgointiaineet vaikuttavat taikinän reologiaan. (Faridi & Faubion 1989, 344).

Raaka-aineiden tulee olla tasalaatuisia, jotta saadaan aikaan tasalaatuinen lopputuote. Leipä on suurimmaksi osaksi vehnäjauhoa, joten jauhojen laatu on erittäin olennainen valvottava seikka. Vehnäjauhosta seurattavia laatuksiteereitä ovat mm. sen itämisastetta kuvaava sakoluku, proteiinin määrä ja laatu, vedensidontakyky, kosteuspitoisuus sekä sekoitusvastus ja sekoituskestävyys. Vehnäjauhojen vedensidontan, elastisuuden ja viskositeetin on todettu olevan toisistaan riippumattomia jauhon laadun määrääviä osatekijöitä. Lisäksi sinällään itsenäisten elastisen ja viskoosin komponentin suhteen on todettu määräävän jauhojen leivontalaadun. (Faridi & Faubion 1989, 53). Tärkkelyksen lisäksi vehnän muut polysakkaridit, gluteeni ja vehnän rasvat eli lipidit vaikuttavat suuresti taikinän käsiteltävyyteen ja lopputuotteiden laatuun (Goesaert ym. 2004, 12).

Vesi on talousveden laatuvaatimukset täyttävää vesijohtovettä. Suola on useimmiten tavallista ruokasuolaa tai merisuolaa. Hiiva on tyypillisesti hiivakermaa tai kuivahiivaa. Hiiva tarvitsee ravinnokseen typpeä. Typpeä hiiva saa orgaanisista typpeä sisältävistä proteiineista. Jauhatusasteeltaan 80 % vehnäjauhoissa, joissa on vähintään 1 % tuhkaa, on riittävästi typpeä hiivalle. Tätä alemman jauhatusasteen jauhoista leivottaessa taikinaan on hyvä lisätä typpisuoloja hiivan toiminnan vahvistamiseksi. (Stear 1990, 484).

2.10 Veden määrä taikinassa

Vedellä on tärkeä rooli amorfisten polymeeristen (esim. amyloosi) ja monomeeristen yhdisteiden pehmentimenä taikinoissa ja paistetuissa tuotteissa. Taikinän vesipitoisuuden lisääminen, ja siten taikinän polymeerien kuten rikkoutuneen tärkkelyksen, gluteenin ja eripituisten hiilihydraattien pehmentämisen lisääminen, alentaa viskositeettia ja jäykkyyttä. Näin tai-

kinan jäykkyys ja sekoitusvastus alenevat, kun taas sen laajentumiskyky lisääntyy. Taikinan vedellä pehmentäminen suunnilleen huoneenlämmössä saattaa olla hyödyllistä tuotteiden prosessoitavuuden kannalta, koska tärkkelyksen gelatinoituminen on tässä lämpötilassa vähäistä. (Faridi & Faubion 1989, 160).

Taikinan korkea vesipitoisuus pidentää sekoitusaikaa, joka tarvitaan optimaaliseen pääsemiseksi (Stear 1990, 5). Taikinan, jossa on liikaa vettä jauhojen vedensidontaan nähden, on havaittu muistuttavan ylisekoitettua, tarttuvaa taikinaa, josta vesi erottuu. (Faridi & Faubion 1989, 51). Liian suuri veden osuus taikinassa lisää sen virtausta, pienentää laajenemismistä ja tekee taikinasta tarttuvan. Jos vettä on liian vähän kaikkien taikinan raaka-aineiden hydratoimiseksi, gluteeni ei pehmene täydellisesti ja taikinan elastisuus ei kehity kunnolla. (Faridi & Faubion 1989, 345).

2.11 Happi

Kun happea on saatavilla taikinaa sekoitettaessa, taikinasta tulee elastisempi ja siinä on enemmän laajentumismistä kuin hapettomissa olosuhteissa sekoitetuissa taikinoissa. Hapettomissa oloissa sekoitetut taikinat eivät romahda ylisekoittumisen johdosta. Kuitenkin hapettomissa oloissa sekoitetuista taikinoista erottuu vettä ja siten ne näyttävät ylisekoitetuilta. (Faridi & Faubion 1989, 346). Sekä hapellisissa että hapettomissa oloissa on hyvät ja huonot puolensa, ja olosuhteet hapen suhteen voidaan valita tilanteen ja tarpeiden mukaan.

3. REOLOGIA

Reologia on fluidien virtauksia käsittelevä oppi. Se tutkii, miten materiaalit muuttavat muotoaan, virtaavat tai heikentyvät, kun niihin kohdistetaan tietty voima. Joidenkin materiaalien reologiset arvot voidaan kuvata yhdellä suureella (Hoseney 1994, 214), jolloin niiden reologinen kuvailu on helppoa. Esim. veden virtaus kuvataan sen viskositeetin avulla, koska vesi on puhtaasti viskoosi fluidi (Faridi & Faubion 1989, 7). Teräsjousen muodonmuutos kuvataan Hooken lakiolla, joka on elastisuusmoduli (Hoseney 1994, 214). Hooken lakiolla voidaan kuvata puhtaasti elastisia, kiinteitä aineita. Moduleita on monenlaisia. Yleensä moduli viittaa materiaalin jäykkyyteen ja on verrannollisuusvakio voiman ja testattavan materiaalin muodonmuutoksen välillä. (Faridi & Faubion 1989, 7). Esim. elastisuusmoduli kuvaa, miten paljon aine varastoi energiaa. Häviömoduli puolestaan kuvaa lämmön tuottamiseen ja muodonmuutoksiin kuluvan energian määrää (Tiivistelmä polymeeritekniikasta n.d., 8). Useimmat materiaalit, kuten taikina, eivät ole kuvattavissa yhden modulin avulla, vaan ovat paljon monimutkaisempia reologisilta ominaisuuksiltaan ja käyttäytymiseltään (Hoseney 1994, 214).

Makromolekyylien reologinen käyttäytyminen liuoksissa riippuu polymeerin liukoisuudesta ja liuotin-polymeeri yhteistoiminnasta. Lisäksi makromolekyylliliuosten on näytetty liittyvän suoraan makromolekyyliin

ominaisuuksiin, kuten molekyylipainoon ja hydrodynaamiseen tilavuuteen. (Faridi & Faubion 1989, 111). Hydrodynaaminen tilavuus kuvaa polymeerin tilavuutta sen joutuessa tekemisiin veden kanssa (Viitanen 2008, 39). Taikina voidaan ajatella liuoksena, jossa polymeereinä toimivat tärkkelys-hiilihydraatti ja gluteeni-proteiini. Liuottimena on vesi. Toisaalta taikinan on todettu käyttäytyvän enemmän elastisen materiaalin kuin nesteen tavoin (Letang, Piau, & Verdier 1999, 122).

3.1 Viskositeetti, kimmokerroin ja kimmoisuus

Viskositeetti (engl. viscosity), kimmokerroin (engl. modulus) ja kimmoisuus (engl. compliance) (Teknillinen korkeakoulu, englanti-suomi ja suomi-englanti materiaali- ja hitsaustekniikan sanasto n.d.; Seppänen n.d.) ovat keskeisiä käsitteitä, joilla materiaalien reologisia ominaisuuksia kuvataan. Kaikki nämä käsitteet saadaan materiaaliin kohdistuvan voiman (engl. stress) ja tämän voiman aiheuttaman suhteellisen muodonmuutoksen eli venymän (engl. strain) tai suhteellisen muodonmuutoksen ja ajan yhteisvaikutuksesta syntyneen venymäasteen (engl. strain rate) avulla. Yksi etu, joka saavutetaan kun määritetään muodonmuutoksia ja virtausprosesseja voiman ja suhteellisen muodonmuutoksen avulla, on keskeisten reologisten ominaisuuksien kokeellisen määrittämisen mahdollistaminen. (Faridi & Faubion 1989, 6).

Virtaavan aineen virtausnopeus on materiaalin keskellä suurempi kuin sen reunoilla. Viskositeetti on molekyylien välisistä vetovoimista aiheutuva materiaalin sisäinen kitka, joka aiheuttaa virtauksien nopeuserot. (Inkinen ja Tuohi 2006, 333 - 334). Leikkausviskositeetti kuvaa materiaalin kykyä siirtää liikemäärää kohtisuoraan nopeuden suuntaan nähden tilavuusviskositeetin kuvatessa materiaalin kykyä vastustaa kokoonpuristamista (Airaksinen 2006, 34).

Useimmat todelliset aineet ovat kimmoisia, eli ne muokkautuvat kun niihin kohdistuu esim. venyttävä, puristava tai leikkaava voima. Kimmoisuus on aineen alkuperäisen muodon ja tilavuuden palauttamaan pyrkivä ominaisuus. On osoitettu, että pienillä voimilla, jotka eivät aiheuta pysyvää muodonmuutosta, voima ja suhteellinen muodonmuutos ovat suoraan verrannollisia toisiinsa. Suuren kimmokertoimen omaava materiaali muuttaa muotoaan vähemmän saman jännityksen alaisena kuin pienen kimmokertoimen omaava materiaali. Mitä sitkeämpää materiaali on, sen suurempi sen venymäarvo on. Materiaalit, joiden venymäarvo on pieni, ovat hauraita. (Inkinen ja Tuohi 2006, 287 - 289). Taulukossa 1 kuvataan, miten kolme yleistä reologian käsitettä -viskositeetti, kimmokerroin ja kimmoisuus määritetään.

TAULUKKO 1 *Viskositeetin, kimmokertoimen ja kimmoisuuden määrittäminen (Faridi & Faubion 1989,6).*

viskositeetti (Pa s)	=	voima/venymäaste
kimmokerroin (Pa)	=	voima/suhteellinen muodonmuutos
kimmoisuus (Pa ⁻¹)	=	suhteellinen muodonmuutos/voima

3.2 Newtoninen ja ei-newtoninen fluidi

Newtonisen fluidin viskositeetti on vakio riippumatta sekoitus- tai virtausnopeudesta. Sen käyttäytymistä voidaan siten kuvata yhdellä viskositeetti-*tiarvolla*. (Hoseney 1994, 214). Newtonisessa nesteessä kaikki energia, joka on lisätty siihen, jotta se on saatu virtaamaan, poistuu nesteestä lämpönä (Faridi & Faubion 1989, 7).

Kun newtonisesta nesteestä valmistetaan suspensio sekoittamalla siihen kiinteitä partikkeleita, saattaa suspensio olla virtausominaisuuksiltaan ei-newtoninen (Windhab 2000, 135). Newtonisten nesteiden viskositeettiin voidaan vaikuttaa muuttamalla sen lämpötilaa tai happamuutta (Aittomäki ym. 2002, 120). Ei-newtonisen fluidin viskositeetti muuttuu, kun fluidiin kohdistuva voima muuttuu. Siten sen viskositeettia kuvatakseen täytyy määrittää jokaista fluidiin kohdistuvaa voimaa vastaava viskositeetti. (Hoseney 1994, 214). Myös lämpötila vaikuttaa ei-newtonisen fluidin viskositeettiin (Inkinen ja Tuohi 2006, 334).

Useimmiten ei-newtoniset ruuat ovat pseudoplastisia, eli niiden viskositeetti alenee niihin vaikuttavan voiman kasvaessa. Pysyvä viskositeetin minimiarvo saavutetaan vaikuttavan voiman ollessa riittävän suuri. (Dickinson 1992, 55). Taikina on ei-newtoninen fluidi, jonka viskositeetti pienenee, kun siihen kohdistuva voima kasvaa (Hoseney 1994, 214). Taikina muuttaa muotoaan välittömästi voiman kohdistuessa siihen, mutta se ei kuitenkaan palaudu entiselleen välittömästi vaikuttavan voiman lakattua (Eliasson 2004, 221).

Erilaisten teekkareiden ja myytinmurtajien suosiossa ovat klassiset ”Kävele vetten päällä” -tempaukset. Nämä perustuvat paksuihin tärkkelys-vesiseoksiin (tärkkelystä yli 50 tilavuusprosenttia), joiden viskositeetti kasvaa niihin kohdistuvan voiman kasvaessa. Tällaisia fluideja kutsutaan dilatanttisiksi (Dickinson 1992, 55). Tällaisen seoksen pinnalla voi hyppiä ja juosta, mutta vauhdin hidastuessa vajoaa pohjaan.

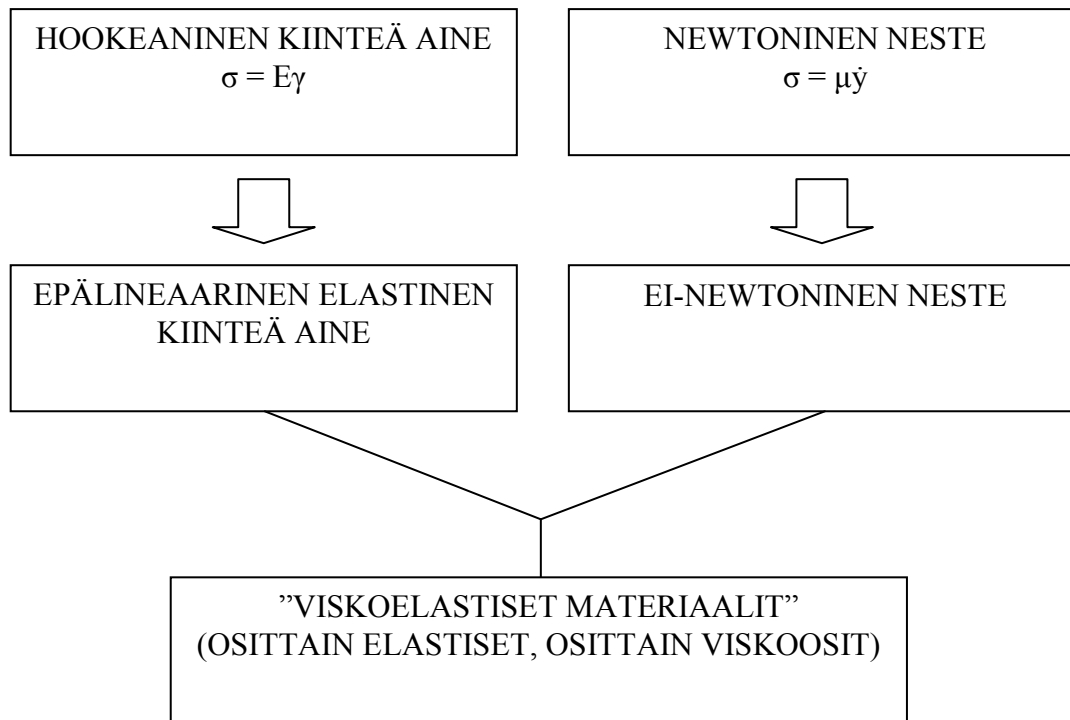
Windhabin (2000, 136) mukaan on ilmeistä, että tällaiset erot viskoosissa virtauksessa liittyvät suspension kiinteiden partikkeleiden rakenteellisiin ominaisuuksiin. Virtauskäyttäytymiseen vaikuttavia ominaisuuksia ovat oletettavasti partikkelikoko, kokojakauma, kokojakauman laajuus, muoto, partikkelin pinnan rosoisuus, huokoisuus ja huokoskoko. Lisäksi kiinteiden partikkeleiden ja niitä ympäröivän nestefaasin rajapintojen väliset reaktiot vaikuttavat virtausominaisuuksiin. (Windhab 2000, 136).

3.3 Elastisuus ja plastisuus

Elastinen materiaali palautuu ennalleen niin kooltaan kuin muodoltaankin välittömästi siihen vaikuttaneen voiman lakattua (Hoseney 1994, 222). Puhtaasti elastinen, hookeaninen kiinteä aine sitoo itseensä muodonmuutokseen vaaditun energian potentiaalienergiaksi (Faridi & Faubion 1989, 7).

Plastiseen materiaaliin jää voiman poistuttua pysyvä muodonmuutos. Viskoplastinen muodonmuutos on ajasta riippuva pysyvä muodonmuutos. (Larkiola 2006). Taikina on viskoelastinen, viskoplastinen ja elastisplastinen materiaali. Taikina on tiettyyn rajaan asti elastinen, mutta kun kriittinen taikinaan kohdistuva voima ylittää tämän rajan, se muuttuu plastiseksi ja muodonmuutos jää pysyväksi.

Viskoelastisten materiaalien muodonmuutos ja palautuminen alkuperäiseen muotoon ovat ajasta riippuvia ilmiöitä (Seppälä 1997, 58). Viskoelastisilla materiaaleilla on kyky käyttää niihin kohdistunut energia yhtä hyvin lämmön tuottamiseen viskoosissa prosessissa kuin energian varastoimiseen elastisessa prosessissa. Vehnätaikinan ainutlaatuinen kyky toimia leipomosovelluksissa liitetään usein sen viskoelastisiin ominaisuuksiin. Kuitenkin vehnätaikinassa riittää vielä paljon tutkittavaa. Fluidien yksinkertaistettu elastinen ja viskoosi käytös on esitetty kuvassa 2. (Faridi & Faubion 1989, 8).



KUVA 2 Materiaalin ideaali elastinen ja viskoosi käytös. Kuvassa σ =jännitys, E =elastisuusmoduli, μ =newtoninen viskositeetti, γ =venymä, $\dot{\gamma}$ =venymätaso (Faridi & Faubion 1989, 9).

3.4 Reologian merkitys teollisen leivonnan laadussa

Reologian periaatteita ja teoriaa voidaan käyttää esim. ennustamaan materiaalin käyttäytymistä monimutkaisissa virtaus- ja muodonmuutosolosuhteissa. Reologisten mittausten päätavoitteet ovat numerotiedon saaminen materiaalin mekaanisista ominaisuuksista, tiedon saaminen materiaalin molekyyliarakenteesta ja koostumuksesta sen reologisen käyttäytymisen perusteella sekä materiaalin käyttäytymisen luonnehtiminen ja simulointi prosessoinnin aikana ja laadunvalvontaa varten. (Dobraszczyk & Morgenstern 2003, 229 - 245).

Leipomoteollisuudessa taikinan reologia vaikuttaa prosessin ja laadun valvontaan, tuotteen muotoiluun, prosessien kehittämiseen ja skaalaukseen sekä prosessioptimointiin. Taikinan reologia on poikkitieteellinen alue, joka sisältää prosessitekniikkaa, reologiaa, fluidien mekaniikkaa, kolloiditiedettä, viljatiedettä ja polymeeritiedettä. Alue on siis laaja ja alan haasteena onkin lisätä reologian ymmärrystä käyttäen hyväksi kaikkia sitä tukevia tieteenaloja. Suurten leipomoiden valtavien tuotantomäärien ja –nopeuksien vuoksi on välttämätöntä tuntea vähintään reologian perusteet. (Faridi & Faubion 1989, 2 - 3). Ilman reologian tuntemusta leipomoiden tuotelaatu olisi sattumanvaraista ja hävikkimäärät voisivat olla merkittävän suuria.

3.4.1 Vehnäleipätaikinan reologia

Vehnäleipätaikinan reologia on kiinnostanut viljakemistejä jo 1930-luvulta lähtien. Taikinoiden virtausominaisuuksien ja muodonmuutosten on huomattu määrävän leipomotuotteiden tuotantolaadun. Reologiaa on tutkittu runsaasti, mutta vieläkin ei silti täysin ymmärretä virtauksia ja muodonmuutoksia määräviä fysikaalisia ominaisuuksia. (Faridi & Faubion 1989, 1). Taikinan, kuten minkä tahansa materiaalin, reologinen käyttäytyminen on sen rakenteellisten elementtien suhteellisen jakautumisen ja elementtien vuorovaikutuksen mekaaninen ilmentymä. Siten reologian tutkiminen tuottaa rakenteiden ja tilan ymmärrystä suhteessa kuluvaan aikaan, työkaluja rakenteen ja koostumuksen tutkimukseen sekä biokemiallisten ja teknologisten prosessien vaikutuksen ymmärtämiseen. (Lefebvre 2008, 262).

Taikina voidaan kuvata matriisina, jossa gluteeni edustaa viskoelastista hydratoitunutta verkostoa. Tärkkelysjyvät ovat jäykkiä partikkeleita, jotka täyttävät gluteeniverkoston. Gluteeni-, tärkkelys- ja vesifaasien jakautumisesta taikinassa tiedetään hyvin vähän, kuin myös niiden yhteistoiminnasta (Stear 1990, 20). Myös taikinaan sitoutuneet kaasut (Stear 1990, 7) vaikuttavat taikinan tiheyteen ja reologiseen käyttäytymiseen. Lisäksi on osoitettu, että taikinan määrällisesti pienet komponentit, erityisesti veteen liukenevat polysakkaridit, vaikuttavat huomattavasti taikinan reologiaan. Sekä matriisin reologia että polymeerin täyte eli tärkkelysjyvät vaikuttavat paljon taikinan virtauskäyttäytymiseen. Suurin ongelma taikinan epälineaarisen reologian – ja erityisesti sen virtauskäyttäytymisen ymmärtämisessä on näiden kahden tekijän samansuuntaisten vaikutusten erottaminen toisistaan. Lefebvren (2008, 270) mukaan gluteenin epälineaaristen reologisten ominaisuuksien vertaaminen taikinan vastaaviin ominaisuuksiin auttaisi selvittämään tätä keskeistä ongelmaa.

Vehnätaikinan korkea viskositeetti, n. 1000 - 10000 Pa s (Wrigley ym. 2004, 400) aiheutuu ainakin osittain gluteenin suuresta molekyylipainosta (Hoseney 1994, 222). Yleensä liuoksen viskositeetti on sitä korkeampi, mitä suurempi on siihen sekoittuneen polymeerin molekyyliaino. Molekyyliainojen ollessa samat, heikosti järjestäytyneet, lineaariset polymeerit (esim. karrageeni) tuottavat korkeamman viskositeetin kuin tiiviit, haaroittuneet polymeerit (esim. amylopektiini). (Dickinson 1992, 66). On myös todettu, että polymeerin molekyyliainoa tärkeämpi vaikuttaja taikinan

leivontaominaisuuksiin on liukenemattoman gluteniinin sekundaarinen molekyylirakenne. (Dobraszczyk & Morgenstern 2003, 229 - 245).

Kaikkein yksinkertaisinkin vehnäleipätaikina on moniulotteinen ja vaikeasti tutkittava materiaali. Fysikaalisen haasteellisuutensa lisäksi taikina on kemiallisesti monimutkainen, monen raaka-aineen seos. (Hoseney 1994, 213). Kahden polysakkaridin, amyloosin ja amylopektiinin, suhteelliset roolit taikinan reologiassa riippuvat näiden kahden biopolymeerin kokonaisosuudesta. Tärkkelyspitoisuuden ollessa pieni, amyloosin gelatinoituminen on suurin reologiaan vaikuttava tekijä. Tärkkelysosuuden kasvaessa jyvästen rajoittunut turpoaminen ja amyloosin vähenevä liukoisuus tekee amylopektiinin vaikutuksen merkittävämmäksi. (Dickinson 1992, 70). Lisäksi hiiva elävänä biologisena systeeminä muuttaa jatkuvasti taikinan reologiaa ja muotoa (Faridi & Faubion 1989, 343).

Taikina on viskoelastinen, koska siinä on nähtävillä sekä viskoosi virtaus että elastinen palautuvuus. Viskoosi virtaus merkitsee, että fluidi virtaa, kun siihen kohdistuu voima. Tällainen fluidi ei palaudu entiselleen välittömästi siihen vaikuttaneen voiman lakattua. Kun taikinapala asetetaan tasaiselle alustalle riittävän kosteassa ympäristössä, se virtaa. Virtauksen määrä riippuu viskoosien ja elastisten ominaisuuksien suhteesta. (Hoseney 1994, 222). Viskoelastisten ominaisuuksien tasapaino on kriittinen tekijä, kun taikina ylöslyödään eli paloitellaan, riivataan ja muotoillaan. Liian viskoosi taikina virtaa liikaa eikä säilytä haluttua muotoa. Jos taikina taas on liian elastinen, se on vaikea saada toivotun muotoiseksi, jolloin lopputuotekkaan ei ole oikean muotoinen. (Faridi & Faubion 1989, 351).

Puhtaasta gluteenista ja vedestä valmistettu ”taikina” on vähemmän elastinen kuin jauhoista ja vedestä valmistettu taikina. Tämä saattaa osoittaa, että tärkkelys ei ole passiivinen komponentti taikinassa. Sen sijaan tärkkelys näyttäisi toimivan gluteenipolymeerin täyteaineena. Täytettyjen polymeerien tiedetään yleensä olevan elastisempia kuin täyttämättömien vastaavien polymeerien. (Hoseney 1994, 223). Toisaalta tiedetään myös, että gluteenin lisääminen vehnäjauho-vesिताikinaan lisää taikinan elastisuutta (Faridi & Faubion 1989, 23). Taikinan tärkkelysmäärän on osoitettu olevan suoraan sidoksissa taikinan elastisuuden lisääntymiseen. Kun suurin osa tärkkelystä on poistettu taikinasta, gluteenin elastisuus ei kasvanut. (Faridi & Faubion 1989, 356). Siten gluteeniverkosto vaatii ilmeisesti tietyn määrän tärkkelystä voidakseen lisätä taikinan elastisuutta.

3.4.2 Tuotantomäärien skaalaus

Materiaalin reologiset ominaisuudet riippuvat esimerkiksi testausmuodoista ja näytteen koosta. Tämä on ollut ja on edelleenkin suuri ongelma vehnätaikinoiden luonnehtimisessa. Tämän seurauksena on vaikeaa verrata keskenään eri laboratorioissa saatuja koetuloksia. Lisäksi on vaikeaa liittää näitä tuloksia muihin tieteenaloihin, kuten fysikaaliseen kemiaan tai kolloidi- ja polymeerifysiikkaan, joista voisi olla merkittävää apua taikinan reologiatutkimukselle. (Faridi & Faubion 1989, 7).

Tuotannon aiheuttamalla muodonmuutoshistorialla on selvä vaikutus vehnäleipätaikinoiden reologiseen käytökseen. Kuitenkaan tätä hyvin tiedettyä seikkaa ei käytetä hyödyksi, kun skaalataan tuotantoa laboratoriomittakaavasta pilotti- ja edelleen tuotantomittakaavaan. Samalla reseptillä valmistetut taikinat tuntuvat erilaisilta eri mittakaavoissa, joten niiden fysikaaliset ominaisuudet ovat myös todennäköisesti erilaiset. Lopputuotekaan ei yleensä ole samanlainen. Eri mittasuhteiden taikinaan kohdistunut muodonmuutoshistoria on erilainen, vaikka käytetyt laitteet ja linjastot näyttäisivät samalta. (Faridi & Faubion 1989, 5).

Taikinan sekoitus on hyvä esimerkki eri prosessointimittasuhteiden aiheuttamista erilaisista muodonmuutoshistorioista. Laboratorio- ja tuotantomittakaavan taikinakoneiden taikinaan aiheuttamat tarinat poikkeavat toisistaan. Tämä johtuu siitä, että yleensä sekoittimen nopeus tiedetään, mutta sekoittimen ja kulhon muoto sekä rakenne voivat vaihdella. Jo nämä tekijät aiheuttavat taikinaan erilaisen muodonmuutoshistorian, vaikka sekoitusnopeus olisi sama. Periaatteessa, mikäli samalla reseptillä valmistettuun taikinaan kohdistuisi sama voima riippumatta taikinakoneen koosta, pitäisi taikinan fysikaalisten ominaisuuksien olla samanlaiset. Valitettavasti voimien laskemiseen ei ole valmiita kaavoja ja niiden laskeminen on hyvin harvinaista. (Faridi & Faubion 1989, 6).

3.5 Farinografi ja sen käyttö vehnäleipätaikinan tutkimisessa

Perinteisesti leipuri tutkii taikinan reologisia ominaisuuksia katsomalla, tunnustelemalla ja venyttelemällä taikinaa käsissään. Näin tehdessään hän saa selville, ”toimiiko” taikina linjastossa. Kokeneen leipurin tekemänä yllä kuvattu tutkimus on tarkoituksenmukainen. Tämän ”näppituntuman” sanallinen kuvailu on kuitenkin hankalaa ja ongelmia ilmaantuu, kun tietoa siirretään eteenpäin vähemmän kokeneelle kollegalle. Tulkinnan virheitä vähentämään on kehitetty erilaisia reologisia tutkimuslaitteita. Näin taikinan ominaisuudet saadaan kuvattua numeroiden avulla, jolloin eri ihmisten tekemien tutkimusten tuloksia voidaan vertailla aiempaa luotettavammin. Monet taikinan reologiaa mittaavat mittalaitteet ovat muunnelmia alun perin muita materiaaleja, kuten muoveja, tutkivista mittalaitteista. Joitakin mittalaitteita on kehitetty taikinallekin. (Hoseney 1994, 213).

Farinografi on yksi jauhojen ja taikinan ominaisuuksia mittaamaan ja kirjaamaan kehitetty, empiirinen mittalaitte. Se mittaa taikinan sekoittamiseen tarvittavaa voimaa tai momenttia (Wrigley ym. 2004, 402). Taikinan koostumuksen vaihteluväli farinografissa on 0 - 1000 Brabender yksikköä (BU). Yleensä pyritään 500 Brabender yksikköön, mikä vastaa 5 Nm:n suuruista vastustavaa momenttia. (Letang ym. 1999, 123). Farinografilla voidaan jäljitellä taikinan valmistusta (Faridi & Faubion 1989, 2). Taikinan valmistusta leipomossa jäljitellään esim. farinografissa vallitsevan lämpötilan ja sekoitustekniikan avulla.

Farinografilla voidaan tutkia esimerkiksi jauhojen vedensidontakykyä sekä jauhoista tehdyn taikinan sekoitustarvetta ja -kestävyyttä. Farinografi on parhaimmillaan, kun verrataan eri jauhoerien ominaisuuksia toisiinsa. Sen avulla voidaan helposti arvioida esimerkiksi erilaisten lisä-

aineiden, kuten hapettavien ja pelkistävien aineiden, entsyymien ja emulgointiaineiden vaikutusta taikinan ominaisuuksiin. (Faridi & Faubion 1989, 2). Farinografin avulla ei saada tarkkaa, absoluuttista tietoa, vaan sillä saadaan selville muutosten suuruusluokka ja suunta.

Empiiriset, fysikaaliset mittalaitteet ovat suosittuja, koska ne ovat usein edullisia, helppokäyttöisiä ja käytännöllisiä. Niiden avulla saadaan perustietoa ilman syvällistä fysikaalisiin tieteisiin perehtymistä. Menetelmät ovat valmiiksi olemassa (Faridi & Faubion 1989, 2), joten taikinaa tutkimaan tulee vain toimia tarkasti menetelmäohjeiden mukaisesti. Empiiriset taikinatutkimukset ovat tuottaneet tämänhetkisen taikinaymmärryksen eikä niitä siten kannata vähätellä. Monissa tapauksissa niiden avulla on tuotettu ensimmäiset ilmiökuvaukset, joiden pohjalta alettiin tehdä reologisia peruskokeita. (Faridi & Faubion 1989, 30). Empiiristen mittalaitteiden tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua kriittisesti, koska taikina on viskoelastinen materiaali, joka relaxoituu nopeasti muodonmuutosten jälkeen. Lisäksi relaxoitumisaika vaihtelee eri jauhoilla. Näiden tekijöiden vuoksi farinografin kaltaiset mittalaitteet saattavat tuottaa harhaanjohtavia tuloksia. Kuplan puhallus ja muut sen tyyppiset menetelmät ovat Wrigleyn ym. (2004, 412 ja 414) mukaan parhaita taikinoiden reologiaa tutkivia menetelmiä.

3.5.1 Farinogrammi

Farinografin piirtämä kuvaaja, farinogrammi, antaa paljon käyttökelpoista tietoa. Farinogrammin korkeus kertoo sekoituskoukkujen pyörimisen aiheuttaman taikinan laajentumisvastuksen. Kuvaajan pituus kertoo taikinan sekoitusajan. Käyrän leveys taas liittyy taikinan kiinteyteen ja elastisuuteen. (Faridi & Faubion 1989, 33). Jauhojen vedensidonta pystytään määrittämään lisäämällä jauhojen joukkoon vettä, kunnes keinotekoisesti valittu konsistenssi, yleensä 500 Brabender yksikköä (BU), saavutetaan. Kun verrataan veden määrää jauhojen määrään, voidaan laskea jauhojen vedensidonta. (Faridi & Faubion 1989, 349).

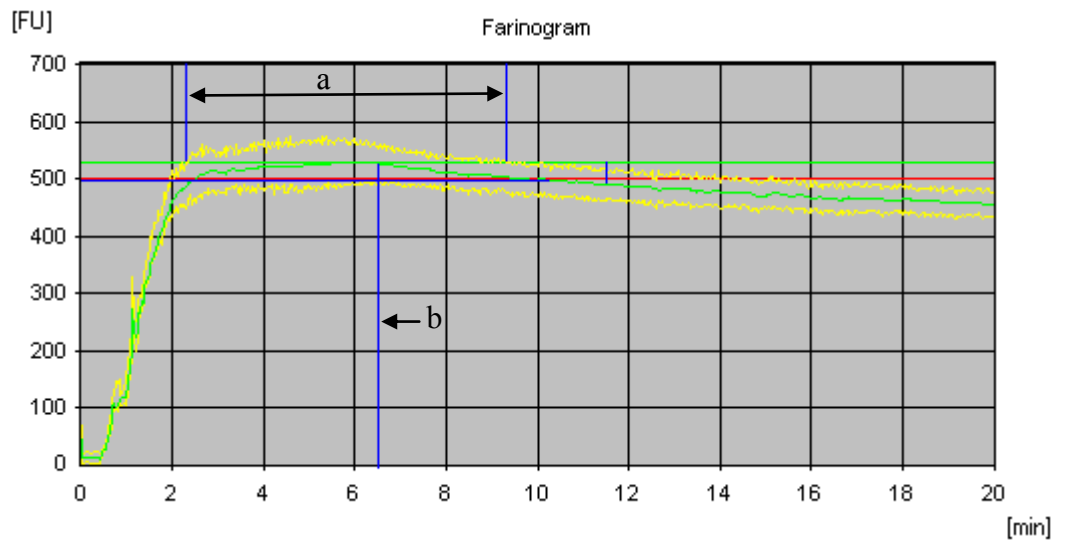
Kun sekoitus alkaa, vesi kastelee nopeasti taikinan partikkeleiden ulkopinnat. Koska partikkeleiden pinta-ala on kuitenkin rajallinen, vettä on tarjolla liikaa. Veden suuri määrä tarkoittaa, että suurin osa vedestä on vapaana ja se lisää jauho-vesiseoksen liikkuvuutta. Systeemin laajentumisvastus on pieni ja farinogrammin kuvaaja kulkee matalalla. Kun sekoitus jatkuu, partikkelin pinnalla olevat pehmenneet proteiinisäikeet pyyhkiytyvät pois koskettaessaan sekoittimen lapoja, kulhon reunoja tai muita partikkeleita. Jäljelle jäävä uusi partikkelipinta hydratoituu siten nopeasti. Tämä on jatkuva prosessi, jossa jauhopartikkelit häviävät nopeasti ja tilalle syntyy hydratoituneista proteiineista ja tärkkelysjuväsistä muodostunut jatkuva systeemi. (Faridi & Faubion 1989, 33).

Yleisesti, kun vesi-jauhoseoksen sekoitus etenee ja vesi sitoutuu systeemiin, taikinan laajentumisvastus kasvaa ja farinogrammin kuvaaja hiljalleen nousee. Tämä prosessi jatkuu kuitenkin vain pisteeseen, jossa kaikki proteiini on hydratoitunut. Tämän jälkeen taikinan laajentumisvastus pienenee ja tästä farinogrammin kohdasta nähdään sekoituspiikki. Tutkimus-

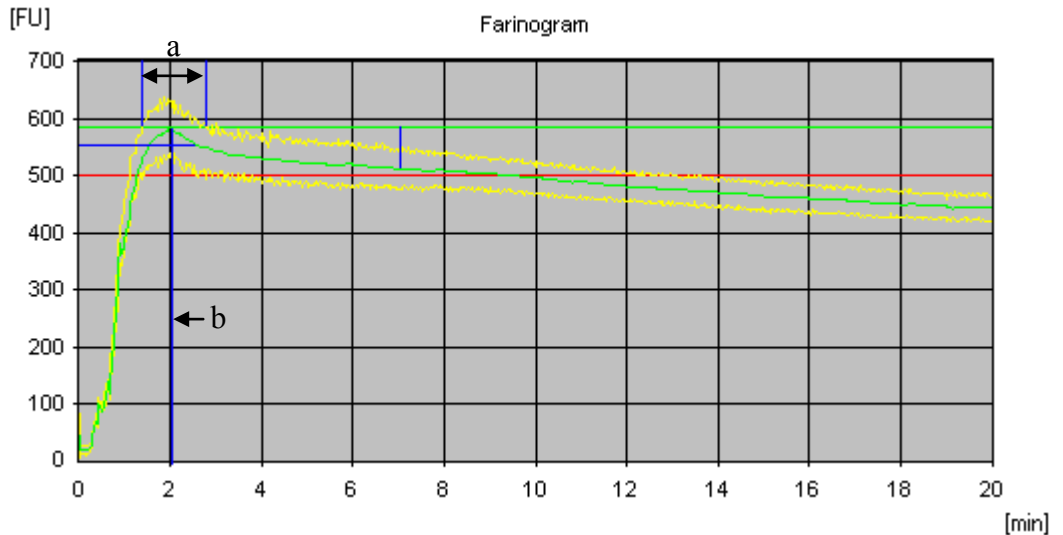
ten avulla on osoitettu, että parhaan leipätilavuuden aikaansaamiseksi taikina tulee sekoittaa tähän sekoituspiikkiin, jossa sekoitusvastus on maksimissaan. Eri jauhojen sekoituspiikki eli optimisekoitusaika vaihtelee erittäin paljon. (Faridi & Faubion 1989, 31 ja 33).

Jotta voi havaita sekoituspiikin, taikina pitää ylisekoittaa. Testattavasta jauhosta riippuu, millaiseksi farinogrammin kuvaaja tämän piikin jälkeen muodostuu. Jotkut jauhot vastustavat ylisekoituksen vaikutuksia hyvin, jolloin kuvaaja muuttuu vain vähän optimisekoitusajan jälkeen. Toisiin taas ylisekoitus aiheuttaa huomattavia muutoksia romahduttaen sekoitusvastuksen hetkessä. Muutosten määrä kertoo jauhojen sekoituskestävyydestä ja siten hyvin ylisekoitusta kestävällä jauholla on hyvä sekoituskestävyys. (Faridi & Faubion 1989, 33 - 34). Gluteeniproteiinien määrä ja laatu määräävät pitkälti taikinan sekoitustarpeen ja ylisekoitusherkyyden sekä optimiinsa sekoitetun taikinan reologiset ominaisuudet (Goesaert ym. 2004, 19).

Esimerkki hyvin sekoitusta kestävästä vehnäjäuhon farinogrammista kuvassa 3. Kuvassa 4 on esimerkki huonosti sekoitusta kestävästä jauhon farinogrammista. Farinogrammeja verratessa havaitaan, että vahvan jauhon kuvaaja muuttaa korkeuttaan hitaammin kuin heikon jauhon kuvaaja.



KUVA 3 Hyvin sekoitusta kestävästä vehnäjäuhon (Fazerin B- jauhonäyte) farinogrammi. a-nuolesta nähdään taikinan sekoituskestävyys. b-nuoli osoittaa taikinan romahtamista edeltävää sekoitushuipun.



KUVA 4 Huonosti sekoitusta kestävän vehnäjauhon (Fazerin A- jauhonäyte), farinogrammi. a-nuolesta nähdään taikinan sekoituskestävyys. b-nuoli osoittaa taikinan romahtamista edeltävän sekoitushuipun.

Yksi taikinan romahtamisen eli murtumisen syy voi olla esimerkiksi monimutkaisen gluteeniverkoston avautuminen. Hapettomassa typpi-ilmastossa sekoitettu taikina ei romahda. Tästä voidaan päätellä, että hapettuminen liittyy ylisekoittumiseen. Veteen liukenevien komponenttien poistaminen on myös ehkäissyt ylisekoittumista, joten vesiliukoisten komponenttien on arveltu osallistuvan hapettumiseen. Toisaalta on epäilty, että romahtamista kontrolloiva tekijä löytyy gluteeni- ja tärkkelysosasista. Kaikkien disulfididosten rikkominen taikinasta kemikaaleilla pienentää taikinan suhteellista viskositeettia. Tämä seikka tukee teoriaa, jonka mukaan disulfididokset rikkoutuvat sekoituksen aikana. (Faridi & Faubion 1989, 36 - 37).

Tärkkelys-gluteenitaikinoiden sekoituspiikin jälkeinen kuvaajan lasku on jyrkkä verrattuna saman verran gluteenia sisältäviin vehnätaikinoihin. Siten synteettisissä taikinoissa ei ole sekoitusvastusta. Tämä viittaa siihen, että sekoitusvastukseen vaikuttaa gluteenin ja tärkkelyksen lisäksi joku muukin komponentti. Taikinat, jotka valmistetaan ilman vesiliukoista fraktiota, ovat elastisempia kuin ne, joissa vesiliukoinen fraktio on mukana. Vesiliukoisen fraktion on myös havaittu lisäävän taikinan velttoutta ja viskoosiutta. (Faridi & Faubion 1989, 61).

4. TÄRKKELYS

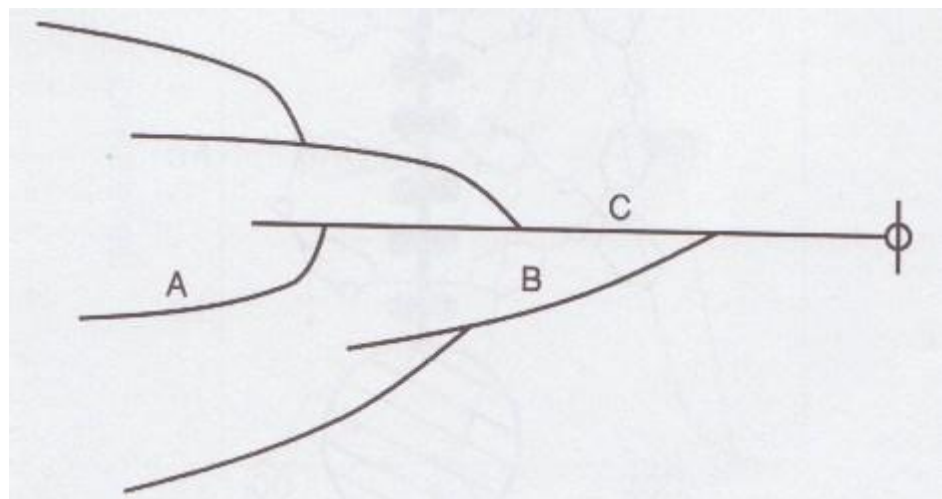
Viljalajit varastoivat energiaa tärkkelysryvysiin. Kasville on edullista varastoida ylimääräinen energia tärkkelyksen muodossa, koska se ei liukene veteen (toisin kuin sakkaroosi) ja on molekyylipainoltaan suuri. Tärkkelysryvys muodostuvat kasvien amyloplasteissa (Hoseney 1994, 29). Vehnäjauho koostuu tärkkelyksestä (n. 70 - 75 %), vedestä (n. 14 %), proteiineista (n. 12 %), muista polysakkarideista, esim. arabinoksyylaaneista (n. 2 %) ja lipideistä (n. 2 %) (Goesaert ym. 2004, 12). Koska tärkkelys täyttää suurimman osan vehnästä ja monista muistakin viljoista, sitä on

runsaasti luonnossa käytettävissämme. Sitä onkin opittu hyödyntämään monipuolisesti. Hyvän ravintokoostumuksensa lisäksi tärkkelyksellä on huomattava merkitys elintarvikkeiden rakenteen ja suutuntuman luojana. Tärkkelysteollisuus tuottaa raaka-ainetta myös esim. paperiteollisuudelle (Hoseney 1994, 29) ja maaliteollisuudelle. Makeisteollisuus suosii tärkkelystä sen hyvien muovautumisominaisuuksien ansiosta, ja lääketieteellisyydessä tärkkelystä käytetään lääketuotteiden täyteaineina (Eliasson 2004, 218).

4.1 Tärkkelyksen kemiallinen koostumus

Kemialliselta koostumukseltaan tärkkelys on miltei kokonaan glukoosia: α -D-glukoosin polymeerejä. Kemiallisesti on erotettavissa ainakin kaksi erilaista polymeeriä: pääosin haaroittumaton ja molekyylipainoltaan pienempi amyloosi (molekyylipainoltaan noin $10^5 - 10^6$), sekä erittäin haaroittunut ja molekyylipainoltaan suurempi amylopektiini (molekyylipainoltaan n. $10^8 - 10^9$) (Faridi & Faubion 1989, 227). Glukoosin lisäksi tärkkelyksessä on havaittavissa pieniä määriä mm. rasvoja, fosforia ja tyypeä. Vaikka näitä ”epäpuhtauksia” on tärkkelyksessä vain noin 1 % verran, ne muokkaavat tärkkelyksen käyttäytymistä prosesseissa.

Amyloosi koostuu yhdestä tai muutamasta glukoosiketjusta, ja on siten lineaarinen tai kevyesti haaroittunut polymeeri (Eliasson 2004, 57). Amyloosissa glukoosimolekyylit ovat liittyneet toisiinsa α -1 \rightarrow 4-sidoksin n. 500 - 6000 glukoosiyksikön ketjuiksi. Amylopektiinissä tällaisia glukoosiketjuja on liittynyt toisiinsa α -1 \rightarrow 6-sidoksin, jolloin glukoosiyksiköitä voi olla yhdessä molekyylissä n. $3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$. Amylopektiini on erittäin haaroittunut molekyylit. (Goesaert ym. 2004, 13). Amylopektiinin kaavamainen rakennekuva on esitetty kuvassa 5.

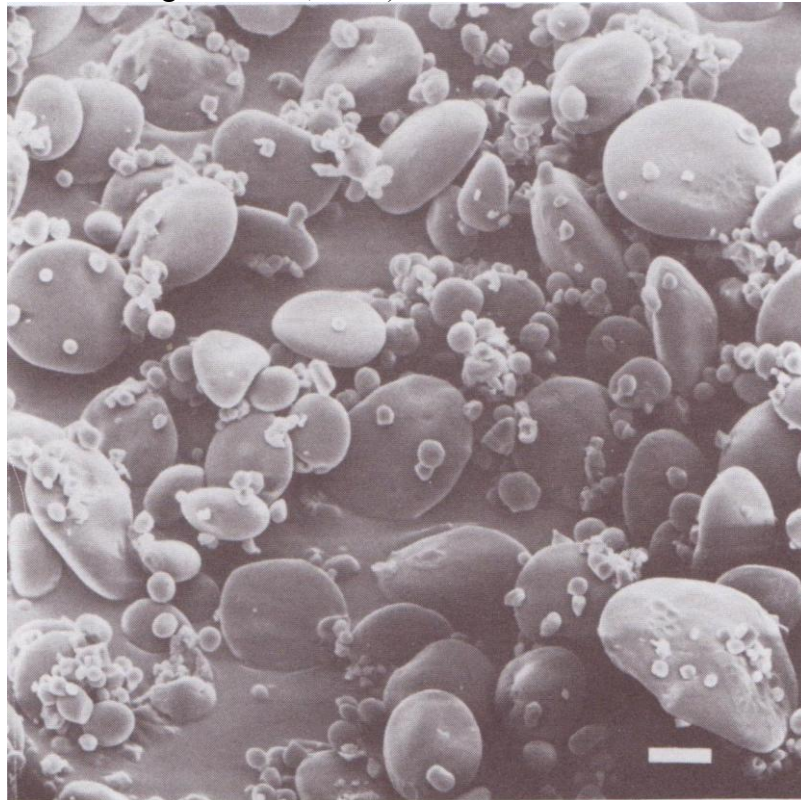


KUVA 5 Amylopektiinin kaavamainen rakennekuva. Kirjaimet A, B ja C kuvaavat erityyppisiä glukoosiketjuja. A-ketjun glukoosimolekyylit ovat liittyneet toisiinsa α -1 \rightarrow 4-sidoksin, B-ketjun molekyylit liittyvät toisiinsa α -1 \rightarrow 4- ja α -1 \rightarrow 6-sidoksin ja C-ketjun molekyylit liittyvät toisiinsa α -1 \rightarrow 4- ja α -1 \rightarrow 6-sidoksin sekä sisältävät pelkistävän yksikön (Hoseney 1994, 36).

Amyloosia on vehnätärkkelyksessä noin 25 % eikä sen määrä vehnässä vaihtele suuresti (Hoseney 1994, 40 - 44); Normaalin viljatärkkelyksen amyloosiosuus on huomattavan vakio (Faridi & Faubion 1989, 112). Tiettyissä mutanttikasveissa on kuitenkin paljon vähemmän amyloosia tai se voi puuttua kokonaan. Näitä mutanteja kutsutaan nimellä ”waxy” niiden jyvän endospermin vahamaisen ulkonäön vuoksi. Tunnetaan myös mutanteja, joissa amyloosiosuus on todella suuri. Tällaiset tärkkelysjyväset ovat epämuodostuneita ja ne saattavat sisältää polysakkaridikomponenttia, joka on amyloosin ja amylopektiinin välimuoto. (Eliasson 2004, 57). Amyloosin ja amylopektiinin sijainti tärkkelysjyväsessä on edelleen epäselvä (Myllärinen 2002, 18).

4.2 α - ja β -tärkkelys

Vehnä muodostaa kahdenlaisia tärkkelysjyväsiä: suuria, halkaisijaltaan n. 25 - 40 μm , linssinmuotoisia α -tärkkelysjyväsiä ja pieniä, halkaisijaltaan n. 5 - 10 μm , pyöreitä β -tärkkelysjyväsiä (kuva 6). Kemialliselta koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan nämä erikokoiset jyväset eivät eroa toisistaan. (Hoseney 1994, 40). Kuitenkin paljon vehnän tärkkelystä muistuttavan ohran erikokoisten tärkkelysjyvästen on todettu eroavan toisistaan niin kemiallisesti kuin fysikaalisestikin (Myllärinen, Autio, Schulman & Poutanen 1998, 343). Vehnän tärkkelysjyvästen koostumus, rakenne sekä amyloosi- ja amylopektiinimolekyylien järjestäytyminen, amylopektiinin haaroittumisrakenne ja jyväsien kiteisyysaste kuitenkin vaihtelevat paljon. Siten myös tärkkelyksen toiminta eri sovelluksissa vaihtelee. (Copeland, Blazek, Salman & Chiming Tan 2008, 1528).

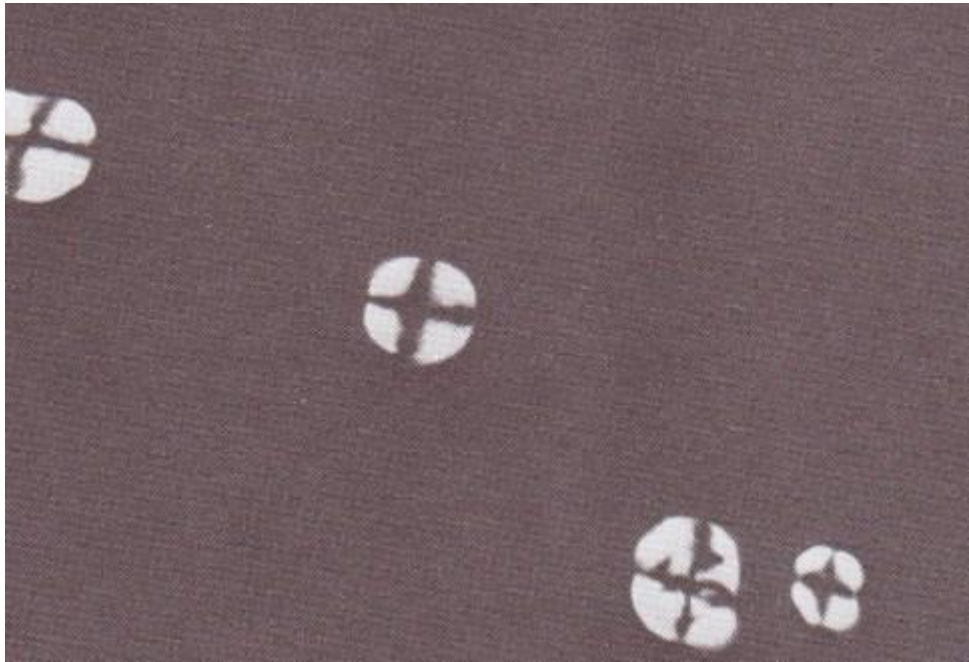


KUVA 6 Mikroskooppikuva vehnätärkkelyksestä. Isot, linssimäiset jyväset ovat α -tärkkelystä ja pienet, pyöreät jyväset β -tärkkelystä. Valkoisen palkin pituus on 10 μm . (Hoseney 1994, 42).

4.3 Vehnätärkkelysjyväsien rakenne

Tärkkelysjyvänen kasvaa sipulin tavoin kerros kerrallaan. Kerrosten luonne ja tarkoitus ovat vielä epävarmoja, mutta niiden oletetaan olevan kasvurenkaita. Uusien, tärkkelysjyväsien pintaan kasvavien kerrosten paksuus vaihtelee ja paksuus riippuu kulloinkin käytettävissä olevien hiilihydraattien määrästä. (Hoseney 1994, 30).

Tärkkelys on osaksi kiteinen materiaali (Hoseney 1994, 30). Noin 30 % tärkkelysjyvästä on kiteistä. Kun natiivia tärkkelysjyvästä katsoo mikroskoopilla polarisoidussa valossa, siinä näkyy ns. maltan risti (kuva 7). Tällainen kahtaistaittuvuuden näkyminen johtuu siitä, että tärkkelysjyvänen on molekyylitasolla erittäin korkeasti järjestäytynyt. (Hoseney 1994, 31). Maltan risti kertoo myös makromolekyylien asettuvan kohtisuoraan jyväsien pintaan verrattuna. Tärkkelyksen osittainen kiteisyys ei muutu kylmässä, alle +50 °C vedessä (Mylläinen 2002, 18).



KUVA 7 *Polarisoidussa valossa otettu mikroskooppikuva, jossa näkyy tärkkelysjyväsien maltan risti (Hoseney 1994, 33).*

Kiteisyys ja järjestäytyneisyys ovat toisistaan erilliset ominaisuudet; materiaali voi olla hyvin järjestäytynyt, vaikka ei ole kiteinen (Hoseney 1994, 32). Tärkkelysjyväsien kiteisyys on helppo tuhota mekaanisesti. Valssimyllytys huoneenlämmössä tuhoaa kahtaistaittuvuuden ja sen myötä maltan ristin. (Hoseney 1994, 39). Nämä ominaisuudet eivät ole nähtävillä myöskään muuten vahingoittuneessa, esim. kuumenneessa tai kostuneessa tärkkelyksessä.

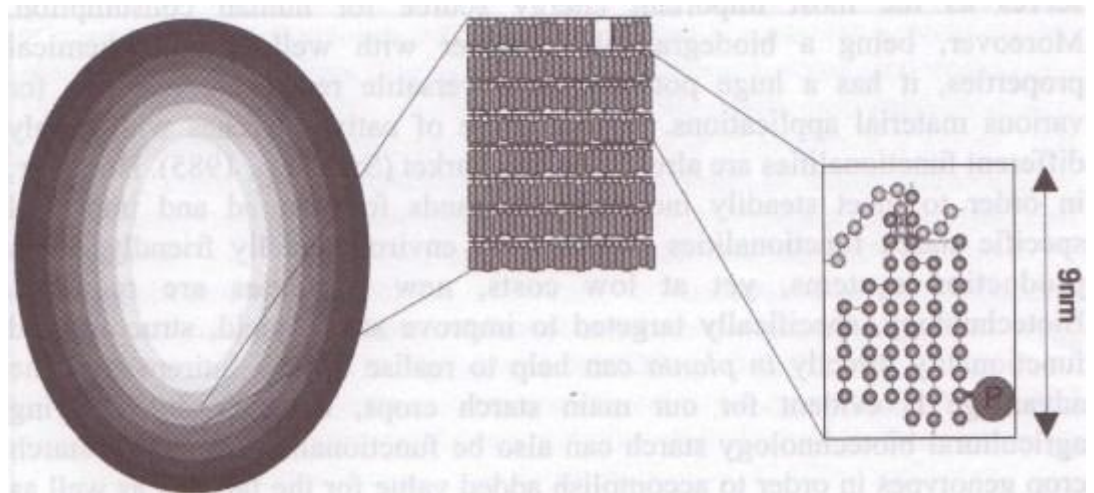
Tärkkelyskomponenttien kemiallinen koostumus on hyvin yksinkertainen. Kuitenkin niiden rakenteen analysoiminen on todella haastavaa, koska hiilihydraattien sisältämien kemiallisten yksiköiden järjestyksen selvittäminen on mahdotonta. Esimerkiksi proteiinit kuvataan helposti niiden sisältämien 20 aminohapon järjestyksen mukaan. Tärkkelys sen sijaan kuva-

taan nykyisin useimmiten Hizukuri-mallin avulla. Malli kuvaa tärkkelyksen sisältämien polymeerien pituutta, sijaintia ja haaroittumista. (Eliasson 2004, 58).

4.4 Tärkkelysjyväsän kiteiset ja amorfiset alueet

Tärkkelysjyväsän kasvattaa vuorotellen amorfisen ja puolikiteisen n. 120 - 400 nm paksuisen kasvurenkaan tai kuoren. Amorfiset kuoret ovat vähemmän tiheitä ja sisältävät amyloosia ja luultavasti vähemmän järjestäytyntä, ei kiteistä, amylopektiiniä. Puolikiteiset kuoret koostuvat vuorottelevista 9 -10 nm paksuisista, amorfisista ja kiteisistä lamellikerroksista. (Goesaert ym. 2004, 13). Kerrokset ovat kohtisuoraan verrattuna kasvurenkaisuun. (Eliasson 2004, 214). Amorfiset alueet ovat jyväsän jatkuva faasi. Kovalenttisesti sitoutuneet, järjestäytyneet amylopektiinihaarat ja erilliset amyloosi-lipidikiteet edustavat ei-jatkuvaa faasia (Faridi & Faubion 1989, 234) ja esiintyvät klustereina (Mylläinen 2002, 19).

Kuvassa 8 on kaavamaisesti esitetty tärkkelysjyväsän rakenne.



KUVA 8 Tärkkelysjyväsän kasvurenkaat ja kaksoiskierteiset, järjestäytyneet sekä kiteiset α -glukaaniketjut, joista kasvurenkaat muodostuvat. 9 nm pituinen osanen kuvaa amyloosin (vaaleanharmaat pallot) ja amylopektiiniketjujen (tummanharmat pallot) oletettua järjestystä α -glukaaniketjun sisällä. Iso pallo kuvaa amylopektiiniketjun fosforoitumista. (Eliasson 2004, 98).

Kuvassa 8 näkyy 9 nm korkuinen klusterin osa. Sen yläosa amylooseineen ja amylopektiiniketjujen haaroittumiskohtineen kuvaa tärkkelysjyväsän amorfista lamellikerrosta. Klusterin alaosassa on ainoastaan samansuuntaisesti järjestäytyneitä, amylopektiiniketjuista muodostuneita kaksoiskierkeitä ja se kuvaa jyväsän kiteistä lamellikerrosta. (Goesaert ym. 2004, 13).

Amyloosin määrällä ja sen molekyyli-tason ominaisuuksilla on suuri vaikutus tärkkelyksen toimintaan: amyloosi vaikuttaa amylopektiinin kiteiseen järjestäytymiseen ja kiteisten lamellikerrosten järjestäytymiseen tärkkelysjyväsässä (Copeland ym. 2008, 1529). Korkea amyloosipitoisuus alentaa jyväsän turpoamisvoimaa. Toisaalta amyloosipitoisuuden kasvattaminen alentaa geelin tarttuvuutta, mutta lisää sen lujutta. Amyloosipitoisuutta

voidaan analysoida mm. jodin avulla. Amyloosi muodostaa jodin kanssa syvän sinisen värin. (Wrigley ym. 2004, 203). Amylopektiinin pienet rakennemuutokset aiheuttavat kuitenkin epävarmuutta amyloosipitoisuuden perusteella ennustettaviin tärkkelyksen reologisiin ominaisuuksiin. Lisäksi suurin osa tärkkelyksestä hajoaa prosessoinnin aikana, jolloin molekyylien välillä tapahtuu uudenlaisia reaktioita. (Copeland ym. 2008, 1529). Nämä tekijät aiheuttavat sen, että tärkkelyksen reologinen ennustettavuus on vaikeaa.

Amylopektiini mahdollistaa tärkkelysjyväsen järjestäytymisen (Eliasson 2004, 98). Amyloosin arvellaan esiintyvän myttyinä amylopektiiniklustereiden väleissä tai satunnaisesti jakautuneena eri puolille jyvistä (Eliasson 2004, 395). Siten amyloosi häiritsisi amylopektiinin kiteistä järjestäytymistä. Toisaalta pisimpien, kiteisiltä alueilta lähtevien amylopektiinihaarojen oletetaan ulottuvan amorfisille kerroksille asti. (Copeland ym. 2008, 1529). Amyloosin ja amylopektiinin ryhmittely eri molekyyleiksi on suurelta osin keinotekoisia, ihmisen järjestelynhalusta johtuvaa luokittelua. Tietyissä mielessä nämä polymeerit eivät eroa toisistaan kovin paljon (Eliasson 2004, 173).

4.5 Vahingoittunut tärkkelys

Tärkkelyksen rikkominen esimerkiksi valssimyllyllä paitsi hajottaa jyväsen, aiheuttaa myös sisäisiä muutoksia kuten kiteisyyden vähentymistä. Rikkominen lisää tärkkelyksen turpoamista vedessä. (Eliasson 2004, 174). Useimmiten partikkelikoon pienentäminen lisää suspension viskositeettia (Windhab 2000, 135). Rikottu tärkkelys sitoo vettä jopa viisi kertaa enemmän kuin natiivi tärkkelys. Yhden ehjän tärkkelysgramman sitoessa 0,4 grammaa vettä sitoo gramma rikottua tärkkelystä 2,0 grammaa vettä. (Cauvain & Young 1998, 269). Entsyymit vaikuttavat vahingoittuneeseen tärkkelykseen voimakkaammin kuin kokonaisuun tärkkelysjyväsiin (Goesaert ym. 2004, 14). Vahingoittunut tärkkelys hajoaa taikinan nostatuksen aikana n. 1000 kertaa ehjiä tärkkelysjyväsiä nopeammin. Siten taikinaan syntyvän kaasun määrä riippuu paljolti vahingoittuneen tärkkelyksen määrästä. (Stear 1990, 484). Kovia vehniä jauhettaessa tärkkelystä hajoaa enemmän kuin pehmeitä vehniä jauhettaessa, koska pehmeän vehnän jyvä hajoaa yleensä soluseiniä pitkin (Stear 1990, 53). Tärkkelyksen rikkoutumista pystytään hallitsemaan valssimyllyissä säätämällä käyttöpainetta (Wrigley, Corke, & Walker 2004, 399), syöttönopeutta ja valssien välystä (Stear 1990, 53).

4.6 Tärkkelyksen vedensidonta

Viljan hiilihydraatit ovat vesiliukoisia lukuun ottamatta tärkkelystä, joka on vain osittain veteen liukeneva (Faridi & Faubion 1989, 111). Natiivit tärkkelysjyväset eivät liukene veteen. Vaikka pieniä määriä vettä saattaa imeytyä jyväsiin huoneenlämmössä, ehjien jyvästen turpoaminen on rajoittunutta. (Wrigley ym. 2004, 209). Koska veden imeytyminen on pientä, sillä ei ole näkyvää reologista vaikutusta. (Faridi & Faubion 1989, 112). Veden imeytyminen tärkkelysjyväsen sisään on huoneenlämmössä palau-

tuva prosessi (Goesaert ym. 2004, 14) ja vasta gelatinisoitumislämpötilan yläpuolella tapahtuvat huomattavimmat tärkkelyksen aiheuttamat reologiset muutokset (Faridi & Faubion 1989, 112). Näitä muutoksia ovat mm. molekyylijärjestyksen ja kiteisyyden väheneminen, jyvästen turpoaminen ja muodonmuutos (Goesaert ym. 2004, 14).

4.7 Vehnäleipätaikinän reologian kannalta merkittävät tärkkelysjyväsen osat

Tärkkelys esiintyy taikinassa natiivissa tilassa, erillisinä puolikiteisinä jyväsinä. Sen rooli taikinassa ei ole selvä. Yleisesti oletetaan, että jyväset toimivat gluteeniverkoston täytteenä, mutta toisinaan taikinaa pidetään kahden jatkuvan faasiverkoston muodostamana kokonaisuutena. Mm. Eliasson (2004, 98) on sitä mieltä, että nopeimmin vettä imevänä tärkkelysjyväsen osana amorfiset alueet ovat merkittävässä roolissa leivonnan taikinavaiheessa. Amorfiset alueet sisältävät pääasiassa amyloosia (Eliasson 2004, 98) ja amylopektiinin haaroittumiskohtia (Goesaert ym. 2004, 13).

5. TUTKIMUSMENETELMÄT, NIIDEN TESTAUS JA KEHITYSTYÖ

Materiaalien kosteuspitoisuuksien määrittämiseen ja farinogrammien sekä taikinänäytteiden valmistamiseen käytettiin AACC -menetelmiä, jotka ovat Amerikan viljakemistien seuran (American Association of Cereal Chemists) hyväksymiä menetelmiä. Kosteusmääritykset suoritettiin AACC -uunimenetelmällä 44-15A yksivaiheisesti. Näytteiden kuivaamiseen käytettiin Ordiorin MMM Medcenter Venticell -uunia. Farinogrammien ja näytetaikinoiden valmistukseen käytettiin AACC -farinografimenetelmää 54-21 jauhoille. Tässä tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä olivat lisäksi itse kehitetty Arkhimedeeseen perustuva menetelmä taikinän tiheyden määrittämiseksi ja pyknometri tärkkelysjyvästen veden läpäisyn tutkimiseksi. Aineiston tilastollinen tarkastelu suoritettiin Excelin regressioanalyysin ja ANOVA -taulukon avulla. Veden lisäystavan vaikutusta taikinän tiheyteen tutkittiin t-testillä. Aineiston tilastollinen tarkastelu on kuvattu esimerkkitapauksen avulla liitteessä 10.

5.1 Materiaalit

Materiaaleina käytettiin pyknometrimäärityksessä ultrapuhdasta milli -Q -vettä (mQ) ja Fazerin toimittamaa vehnätärkkelystä. Taikinoiden valmistuksessa sekä tiheyden määrittämisessä käytettiin käänteisosmoosilla käsiteltyä puhdasta vettä (RO), synteettisissä taikinoissa Fazerin toimittamia vehnätärkkelystä ja gluteenia sekä alustavissa kokeissa vehnäjauhoja, joiden jauhajia olivat Myllyn Paras ja Fazer. Tärkkelyksen kosteudeksi määritettiin 11,9 %. Tärkkelystä katsottaessa mikroskoopilla siinä havaittiin monenkokoisia jyväsiä. Useissa jyväsissä näkyi maltan risti. Gluteenin kosteudeksi määritettiin 7 %. Tuoteselosteen mukaan gluteenin raekoko oli 212 mikronia, proteiinipitoisuus yli 82 % (määritetty kertomalla typen määrä 6,25:llä) ja vedensidonta yli 150 %. Fazerin A- ja B- vehnäjauho-

jen kosteudeksi määritettiin 9,2 %. Myllyn Parhaiden jauhaman Emännän puolikarkean vehnäjäuhon kosteudeksi määritettiin 10,8 %.

5.2 Viikin laboratorion farinografi

Farinografin: Brabender, Duisburg, Saksa, (kuvat 9 ja 10) metallisen taikinakulhon vaipan lämpötilan pitää vakiona tilavuudeltaan 10 litran kokoisesta säiliöstä lähtevä kiertovesisysteemi.



KUVA 9 Farinografi Viikin laboratorion olosuhdehuoneessa. Etualalla näkyy 50 gramman taikinakulho. Farinografin päällä on näyttö, johon piirtyy farinogrammi. Läpinäkyvien letkujen ja metallivaipan sisällä kiertää vesi- jäähdytysnesteseos, joka pitää kulhon tasalämpöisenä.

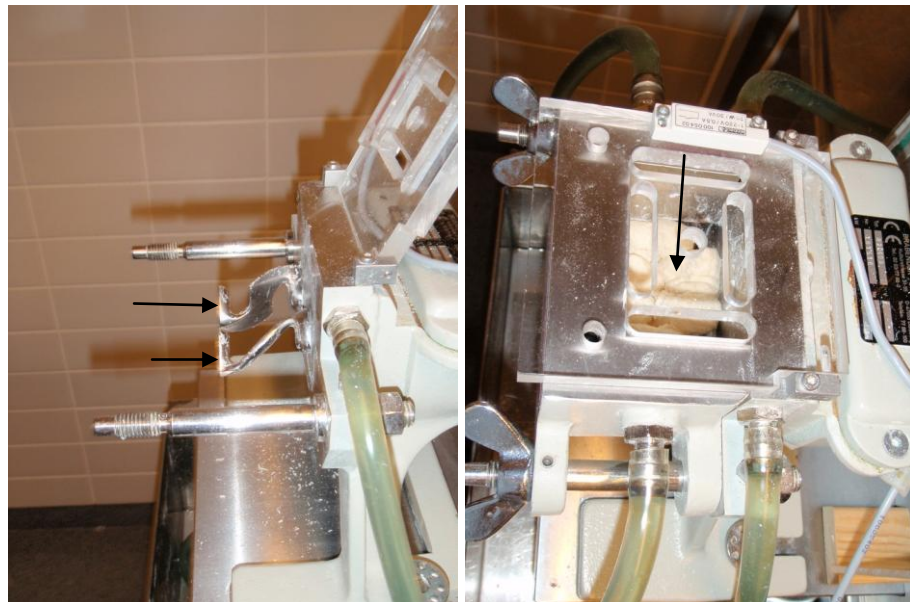
Vehnätaikinoita analysoitaessa kulhon lämpötilan tulee olla $30 \pm 0,2$ °C, koska suoraleivontamenetelmällä valmistettavat vehnätaikinat pyritään leipomossakin valmistamaan sen lämpöisinä. Jauhojen sekaan titrattava RO -vesi on hyvä tuoda ajoissa olosuhdehuoneeseen temperoitumaan. Fa-

rinografi laitetaan päälle aina vähintään tuntia ennen sen käyttöä, jotta taikinakulhon lämpötila ehtii vakiintua.

Taikinakulhoja on Viikissä kaksi: pienempi, johon laitetaan 50 +/- 0,1 grammaa jauhoja ja jota tässä tutkimuksessa käytettiin, sekä suurempi 300 jauhogramman kulho. Farinografi ”olettaa”, että käytettävien jauhojen kosteuspitoisuus on 14 %. Mikäli kosteus- % on tiedossa, se kirjataan farinografille, jolloin farinografi laskee jauhönäytteen massan korjauskerroimen (kaava 2) ja tarvittavan jauhönäytteen massan.

KAAVA 1 Näytteen massan korjauskerroin $ko_{näyte} = (100 - 14) / (100 - \text{jauhönäytteen kosteus} - \%)$

Farinografin kaksi rinnakkaista taikinakoukkuja pyörivät vakionopeudella, joka tässä tutkimuksessa oli 63 rpm. Näin voidaan olla varmoja, että epätasainen sekoitus ei aiheuta virhettä näytteiden tasalaatuisuuteen.



KUVA 10 Vasemmalla taikinan sekoittavat kookut. Oikealla näkyy kulhossa sekoittumassa oleva taikina.

5.3 Menetelmätestaustyö tärkkelyksen tilavuusosuuden määrittämiseksi

Pyknometriä testattiin tärkkelysjyvästen veden läpäisyn määrittämisessä taikinassa. Pyknometri on tilavuudeltaan tunnetun kokoinen lasipullo, jossa on lasinen kapillaari korkkina (kuva 11). Tässä tutkimuksessa käytetyn pyknometrin tilavuus on 25,04 cm³. Kaikki määrittämissä tarvittavat materiaalit tuotiin määrittätilaan temperoitumaan vähintään 12 tuntia ennen määrittystä, jotta lämpötilaeroista ei aiheutunut tärkkelyksen tilavuuden määrittäsvirhettä.



KUVA 11 Vasemmalla on kuvattuna tiheyden määrittämiseen tarvittavaa materiaalia. Kuvassa tärkkelys on vielä sekoittuneena veteen. Oikealla on pyknometri määrittämissä vaiheissa. Korkissa on nähtävillä kapillaari, jonka kautta ylimääräinen vesi pääsee pois pyknometrin pohjalle. Tärkkelys on vajonnut oikeanpuoleisessa kuvassa astian pohjalle.

Pyknometri punnittiin, jonka jälkeen sinne laitettiin pienen tratin avulla noin 1 senttimetrin paksuinen kerros, eli muutama gramma, tärkkelystä. Pyknometri ja tärkkelys punnittiin, jonka jälkeen pyknometri täytettiin vähän vajaaksi ultrapuhtaalla mQ -vedellä. Tarkistettiin, että kaikki tärkkelys oli sekoittunut veteen tasaisesti. Tärkkelyksen annettiin laskeutua pyknometrin pohjalle, mikä kesti noin 30 minuuttia. Tämän jälkeen pullo täytettiin varovasti, jotta tärkkelys ei lähtenyt enää sekoittumaan. Tämä on tärkeää, jotta kapillaariin ei pääse tärkkelysjyväsia aiheuttamaan määrittäsvirhettä. Kapillaari asetettiin paikoilleen rauhallisesti ja tarkistettiin, ettei pyknometriin jäänyt ilmakuplaa aiheuttamaan virhettä. Pyknometri pyyhittiin huolellisesti kuivaksi ulkopinnoilta ja punnittiin välittömästi, jottei kapillaarin kautta ehtinyt haihtua vettä.

Kun (tärkkelyksen ja) veden tiheys määrittämissä lämpötilassa tiedetään, voidaan laskea myös niiden tarvitsemat tilavuudet. Tärkkelyksen tiheys $\rho_{\text{tärkkelys}}$ määrittämissä lämpötilassa, joka oli $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$, on $1,51\text{ g/cm}^3$. Veden tiheys ρ_{vesi} samaisessa lämpötilassa on $0,9980\text{ g/cm}^3$ (Handbook of chemistry and physics 1985 - 1986, F-4). Pyknometri jätettiin määrittämissä tilaan kolmeksi tunniksi, jotta saatiin selville, siirtyykö vettä tärkkelysjyvästen sisälle.

Kolmen tunnin kuluttua kapillaari poistettiin, vettä lisättiin haihtuneen tilalle ja pyknometrin kuivaaminen ja punnitus toistettiin. Punnitustuloksia aluksi ja kolmen tunnin kuluttua verrattiin toisiinsa, jolloin voitiin todeta massan pysyneen vakiona. Mikäli massa olisi kasvanut kolmen tunnin aikana, vettä olisi tunkeutunut tärkkelysjyvästen sisälle. Kolme tuntia on huomattavan pitkä aika verrattuna aikaan, jonka näytetaikinoiden valmistus kesti. Siten voitiin todeta, että tärkkelysjyvästen tilavuus ei muutu veteen upotettuna (liite 1), eikä jyvästen tilavuus muutu taikinan kosteassa leivontavaiheessa. Koe toistettiin kolme kertaa ja saadut tulokset olivat hyvin lähellä toisiaan, joten menetelmän todettiin toimivan. Menetelmää päätettiin käyttää, vaikka siitä puuttui leivontavaiheen mekaaninen rasitus.

5.4 Menetelmän kehitystyö taikinanäytteen tiheyden määrittämiseksi

Taikinanäytteen tilavuuden ja sitä kautta tiheyden määrittämiseen kehitettiin Arkhimedeeseen lakiin perustuva menetelmä. Arkhimedeeseen laki on esitetty kaavassa 2.

$$\text{KAAVA 2} \quad \rho = m_i / (m_i - m_n) * \rho_n,$$

missä

ρ = näytteen tiheys

m_i = näytteen massa ilmassa

m_n = näytteen massa nesteessä

ρ_n = nesteen tiheys

(Inkinen ja Tuohi 2006, 312).

Menetelmässä taikinanäyte punnittiin ilmassa ja sen jälkeen puhtaassa, RO-vedessä. Kun vedessä saatu punnitustulos grammoina vähennettiin ilmassa saadusta punnitustuloksesta, saatiin taikinan tilavuus kuutiosenttimetreinä. Kun taikinanäytteen massa grammoina tiedettiin, voitiin laskea näytteen tiheys.

Menetelmää varten tarvittiin vaaka, jonka avulla näyte voitiin punnita sekä ilmassa että vedessä. Tällainen laboratoriovaaka, jonka pohjassa oli lenkki, löytyi Viikin myllyhuoneesta. Lenkki tarvittiin rautalankakoukkuun varten, ja rautalangalla vaakaan saatiin liitettyä punnituskori taikinan vedessä punnitsemista varten. Vaakaa varten rakennettiin reiällä varustettu teline. Punnituskori, jonka halkaisija oli n. 10 cm ja korkeus n. 15 cm, valmistettiin melko tiheästä metalliverkosta. Tiheästä siksi, että taikina pysyi siellä punnituksen ajan ja raskaasta materiaalista siksi, että se upposi veteen. Vettä varten varattiin 12 litran muovikämpäri. Olennaista oli, että vesikämpäri oli riittävän suuri peittämään näyte kokonaan veden alle määrityksen ajaksi.

Menetelmä testattiin määrittämällä sen avulla suorakaiteen muotoisen metallikappaleen tilavuus. Teoreettisesti laskemalla ja kokeellisesti menetelmän avulla saadut tilavuus- ja tiheysarvot olivat erittäin lähellä toisiaan, joten menetelmän todettiin toimivan. Taikinanäytteen tiheyden määrittäminen menetelmällä on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12 Taikinanäytteen tiheyden määrittäminen. Vaa'an avulla voidaan punnita taikinanäyte sekä ilmassa että vedessä.

5.4.1 Tiheyden määrittäminen ”Arkhimedeen korissa”

”Arkhimedeen koria” käytettäessä tiheyden määrittämiseen oli tärkeää minimoida mahdolliset virhelähteet. Lämpötilan muutosten aiheuttama virhe eliminoidiin sijoittamalla määrittäminen olosuhdehuoneeseen, jossa lämpötila ja kosteus pysyivät vakiona. Lämpötila oli 23,5 °C ja kosteus 50 %. Ämpärissä oleva RO -vesi haettiin olosuhdehuoneeseen temperoitumaan vähintään 12 tuntia ennen määrittäystä, jotta sen lämpötila oli määrittäytshetkellä sama kuin olosuhdehuoneen lämpötila. Vettä oli niin paljon, että kori peittyi kokonaan. Vesi vaihdettiin puhtaaseen ja välineet puhdistettiin jokaisen työpäivän jälkeen, jotta mikrobien lisääntyminen saatiin minimoitua. Mikrobit viihtyvät olosuhdehuoneen lämmössä ja kosteudessa hyvin ja voidaan olettaa, että mikrobikasvusto aiheuttaa määrittäykseen epätarkkuutta. Vedessä hajoavaa materiaalia - kuten taikinaa – määrittäessä

oli tärkeää suorittaa punnitus vedessä nopeasti, jotta tärkkelystä ehti irrota mahdollisimman vähän. Koesarjaa määritettäessä jokaista määritettävää kappaletta käsiteltiin samalla tavalla.

Tärkeää oli määrittää tiheys sopivan kokoisesta – pienen sämpylän kokoisesta - kappaleesta, joka mahtui muodoltaankin vaikeuksitta koriin. Liian pienen kappaleen määrittämisessä voidaan olettaa aiheutuvan helposti epätarkkuutta johtuen kappaleen hitaasta putoamisesta korin pohjalle. Kannattaa ottaa myös huomioon, että mitä pienempi kappale, sitä enemmän siinä on pinta-alaa suhteessa tilavuuteen. Tällöin materiaalin irtoamisen mahdollisuus kappaleen pinnasta kasvaa. Tärkkelyksen irtoamisen välttämiseksi kokeiltiin taikinan käärimistä muoviseen talouskelmuun. Kelmun todettiin kuitenkin aiheuttavan enemmän haittaa kuin hyötyä, joten sen käytöstä päätettiin luopua. Taikinan käärimisestä muoviin tuli ylimääräinen, hidas työvaihe. Taikinaa jouduttiin muotoilemaan melko voimakkaasti, jotta sen pinta saatiin tasaiseksi. Tarttuvien taikinanäytteiden muotoilu oli hankalaa. Kelmu oli tärkeää saada tarkasti kiinni taikinan pintaan, jotta ilmakuplat eivät aiheuttaneet epätarkkuuksia määrittäykseen. Kelmua käytettäessä vaa'an näyttämä arvo tasaantui todella hitaasti, ja oli vaikeaa määrittää ohjeaikaa, jonka kuluttua arvo olisi varmasti oikea.

Mitä enemmän taikinaa jouduttiin käsittelemään, sen enemmän epätarkkuusmahdollisuuksia ilmaantui. Menetelmä pyrittiin tästä syystä pitämään mahdollisimman yksinkertaisena. Mikäli tärkkelyksen liukenevuus voidaan ehkäistä esimerkiksi suihkauttamalla taikinan pintaan jotain menetelmän aikana reagoimatonta kemikaalia, kannattaa se lisätä tähän menetelmään. Liitteessä 8 on kuvattu vehnätaikinan tiheyden määrittäminen työvaiheittain. Kuvaus laadittiin opinnäytetyön aikana tehtyjen tiheysmäärittysten pohjalta.

5.4.2 Taikinan teoreettisen tiheyden määrittäminen

Taikinan teoreettista tiheyttä laskettaessa gluteenin tiheyden arvona käytettiin proteiinien keskimääräistä tiheyttä $1,220 \text{ g/cm}^3$ (Quillin & Matthews 2000). Gluteeni koostuu useista eri proteiineista, joiden suhde vaihtelee jonkin verran (Letang 1999, 129). Tästä syystä sen tarkkaa tiheyttä ei voida määrittää ja on perusteltua käyttää laskuissa proteiinien keskimääräistä tiheyttä. Oletetaan, että gluteenin tiheys ei muutu leivonnan aikana. Tärkkelyksen tiheys on $1,515 \text{ g/cm}^3$. Pyknometrikokeella todistettiin, että tärkkelyksen tiheys ei muutu taikinavaiheessa. Käänteisosmoosilla käsitellyn veden tiheyden voidaan olettaa olevan sama kuin veden yleensä, eli $0,998 \text{ g/cm}^3$. (Handbook of chemistry and physics 1985 - 1986, F-4).

Taikinan teoreettinen tiheys määritettiin laskemalla yhteen taikinaan joutuneiden tärkkelyksen, gluteenin ja veden massat sekä tilavuudet. Massojen summa jaettiin tilavuuksien summalla (kaava 3). Teoreettisen tiheyden laskemisessa ilman tilavuus ja massa jätettiin huomioimatta. Siten verrattaessa taikinan määritettyä tiheyttä tähän teoreettiseen tiheyteen saatiin käsitelys taikinaan sekoituksen aikana sitoutuneen ilman määrästä.

$$\text{KAAVA 3 } \rho_t = (m_t + m_g + m_v)/(V_t + V_g + V_v),$$

missä

ρ_t = taikinan teoreettinen tiheys

m_t = tärkkelyksen massa

m_g = gluteenin massa

m_v = veden massa

V_t = tärkkelyksen tilavuus

V_g = gluteenin tilavuus

V_v = veden tilavuus

6. ESIKOKKEET VEHNÄTAIKINAN REOLOGISIIN OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVISTA TEKIJÖISTÄ

6.1 Tausta ja toteutus

Esikokeilla haettiin tietoa taikinan reologisiin ominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä. Näitä tekijöitä ovat esim. taikinan vesiosuus, sekoitusajan pituus ja jauhojen laatu. Esikokeiden tulosten perusteella voitiin valita optimisekoitusaika varsinaiselle koesarjalle. Sekoitusajan tuli olla sellainen, että välittömästi ennen sitä tai sen jälkeen ei taikinassa tapahdu äkillisiä muutoksia. Sekoitusaika valittiin siis mahdollisimman lineaariselta alueelta. Taikinan tiheys on erittäin olennainen leivän laatuun liittyvä ominaisuus, ja siten se on tärkeää määrittää taikinatutkimusta tehtäessä. Mitä kevyempää taikina on, sitä enemmän siihen on sitoutunut ilmaa ja sitä ilmavampi ja maistuvampi voidaan olettaa tulevan lopputuotteestakin.

Vehnäleipätaikina sisältää aina vähintään vettä, vehnäjauhoja, suolaa ja hiivaa. Etenkin hiiva elävänä organismina aiheuttaa hankaluuksia tutkimustyössä. Hiiva muuttaa taikinan kokoa ja muotoa jatkuvasti, jolloin taikinan tutkiminen on erittäin haastavaa. Hiivaa käytettäessä analysoitaviin taikinoihin niitä tulee käsitellä samalla tavalla, ja erityisesti käsittelyaikoihin tulee kiinnittää huomiota. Hiiva ei myöskään toimi aina tasaisesti, jolloin epätarkkuudet tutkimustyössä lisääntyvät. Pienessä laboratoriomittakaavassa hiivan aiheuttamat epätarkkuudet kertautuvat. Myös suola saattaa olla ongelmallinen tekijä laboratoriomittakaavassa. Sen määrä on huomattavan pieni verrattuna vehnäleipätaikinan pääkomponenttien määrään, jolloin sen oikea annostelu on haastavaa laboratoriomittakaavassa. Näiden epätarkkuusmahdollisuuksien johdosta tässä tutkimuksessa päätettiin jättää tutkittavista taikinoista hiiva ja suola pois.

Pitkiä koesarjoja tehtäessä farinografia ei pesty taikinoiden valmistamisen välillä, joten pienet jauhojäämät kulhossa olivat mahdollisia. Kulhoon mahdollisesti pesuista jäävän veden todettiin aiheuttavan taikinaan pieniä jauhojäämiä suuremman virheen. Taikinoiden valmistuksen välillä kaikki käsin poistettavissa materiaali poistettiin farinografian sekoituskoukuista ja kulhosta. Eri sarjojen valmistamisen välillä ja aina työpäivän päätteeksi farinografi pestiin ja kuivattiin huolellisesti.

6.1.1 Veden määrä

Ensimmäinen koesarja veden määrän vaikutuksesta vehnätaikinan tiheyteen tehtiin lisäämällä Myllyn Parhaiden Emännän puolikarkeaan vehnäjauhoon eri määriä vettä. Optimivesimäärästä, joka oli laskettu ko. jauhojen farinografilla määritetyn vedensidontan (67 %) perusteella, vähennettiin ja siihen lisättiin noin 2,5 ja 5,0 % vettä. Siten taikinoita tehtiin viidellä eri vesimäärällä. Jokaisesta vesimäärästä tehtiin kolme rinnakkaisnäytettä, joten näytteitä oli kaikkiaan 15 kappaletta.

Samanlainen koesarja tehtiin myös Fazerin A- ja B-jauhonäytteillä. Tähän koesarjaan sisältyi kymmenen näytettä, eli jokaisesta vesimäärästä tehtiin kaksi rinnakkaisnäytettä. Tiheyden lisäksi tutkittiin veden määrän vaikutusta Fazerin jauhoista valmistettujen taikinoiden konsistenssiin ja sekoituskestävyyteen. Taikinoita sekoitettiin seitsemän minuuttia. A- ja B-näytteet olivat useilta ominaisuuksiltaan hyvin erilaiset jauhot. Taulukossa 1 on esitetty A- ja B-näytteiden ominaisuuksia. Nämä ominaisuudet oli analysoitu Fazerin toimesta.

TAULUKKO 1 *Fazerin A- ja B-jauhonäytteiden ominaisuuksia.*

Ominaisuus	Näyte A	Näyte B	yksikkö
Tuhkapitoisuus	0,73	0,84	%
Proteiinipitoisuus	10,0	12,4	% / ka
Zelenyluku	30	39	
Sitko	22,9	29,6	%
Sakoluku	286	288	s
Vedensidonta	60,1	63,6	%
Sekoitusvastus	1,5	2,5	min.
Sekoituskestävyys	2,2	6,0	min.

Taulukosta 1 nähdään, että näytejauhojen suurimmat erot ovat proteiinin laatua kuvaavassa Zelenyluvussa (Stear 1990, 313) ja proteiinin ja sitkon määrissä sekä sekoitusta koskevissa ominaisuuksissa. Nämä ominaisuudet ovat ratkaisevassa asemassa jauhojen ja niistä valmistettavien leivonnaisen laadun määräytymisessä.

6.1.2 Veden lisäystapa

Veden lisäystavan vaikutuksesta taikinan tiheyteen tehtiin Fazerin A-jauhonäytteellä koe, jossa 29 ml vettä lisättiin jauhoihin sekoituksen alussa ja 1,5 ml vettä lisättiin kolmen minuutin kuluttua sekoituksen aloittamisesta. Rinnakkaisia kokeita tehtiin kolme kappaletta ja kokeissa käytettiin kuuden minuutin sekoitusaikaa. Taikinoiden tiheyksiä verrattiin kuusi minuuttia sekoitettuihin taikinoihin, joihin koko vesimäärä (30,5 ml) oli lisätty heti sekoituksen alussa.

6.1.3 Sekoitusaika

Emännän puolikarkealla vehnäjauholla (viisi eri sekoitusaikaa, näytteitä 10 kpl) ja Fazerin A-jauhonäytteellä (viisi eri sekoitusaikaa, näytteitä 15 kpl) tehtiin kokeita sekoitusajan vaikutuksesta taikinan tiheyteen.

6.1.4 Tärkkelyksen tilavuusosuus

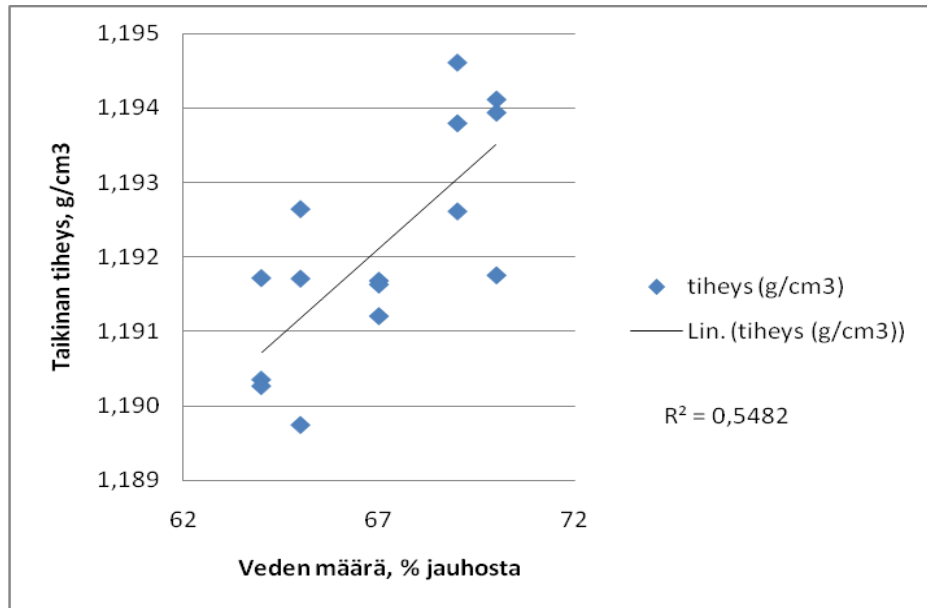
Ensimmäiset synteettiset taikinat valmistettiin sekoittamalla jauhot (10 g tärkkelys-gluteeniseosta) ja vesi (6,5 ml RO -vettä) morttelissa. Keskimäisen näytteen tärkkelys/gluteenisuhde oli suunnilleen tavallisen vehnäjauhon tasolla, jolloin tärkkelystä oli jauhoseoksessa 85 % ja gluteenia 15 %. Koesarjan muita jauhoseoksia varten tärkkelyksen määrää lisättiin ja vähennettiin noin 5 ja 10 %. Veden määrä perustui tietoon, että yleensä vehnäjauhojen vedensidontakyky on noin 60 - 65 %. Synteettisten taikinoiden tiheys määritettiin Arkhimedeen korissa. Taikinat käärrettiin ennen tiheysmäärittystä 15 * 15 cm kokoiseen talouskelmupalaan. Tämä toimenpide tehtiin tärkkelyksen irtoamisen ehkäisemiseksi taikinasta sen joutessa veteen.

6.2 Tulokset

R^2 -arvo kertoo, miten suuri osa aineistosta voidaan selittää lineaarisella mallilla. Kuvissa näkyviä R^2 -arvoja verrattiin kriittisiin R^2 -arvoihin. Mikäli R^2 -arvo on kriittistä R^2 -arvoa korkeampi, voidaan päätellä tilastollisen yhteyden olevan olemassa. Kriittinen R^2 -arvo vapausastein 10, kaksisuuntaisessa testissä 5 %:n merkitsevyystasolla on 0,399. Vastaava kriittinen R^2 -arvo vapausastein 15 on 0,264. (Holopainen ja Pulkkinen 2003, 334).

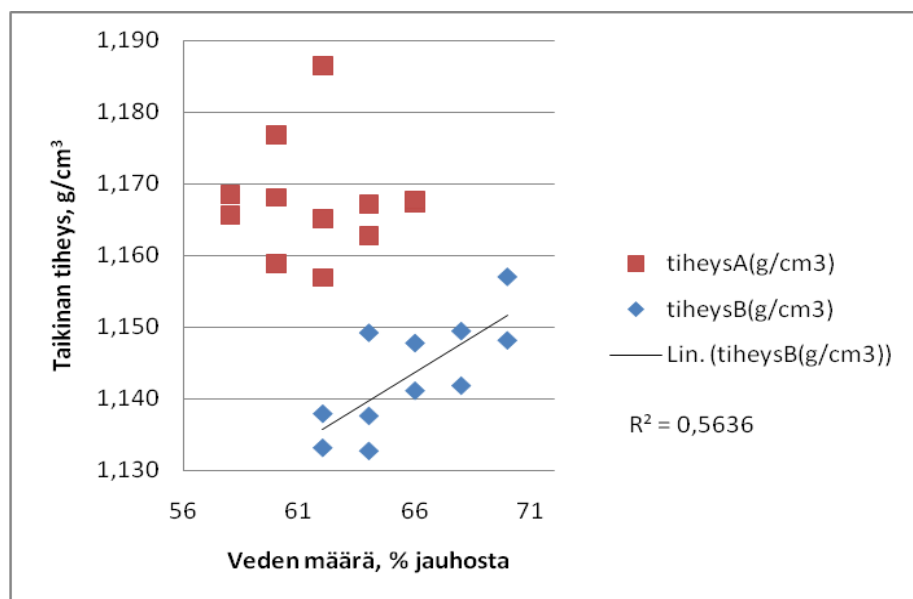
6.2.1 Veden määrä

Lisättäessä Myllyn Parhaiden Emännän puolikarkeaan vehnäjauhoon eri määriä vettä havaittiin taikinan tiheyden kasvavan lineaarisesti vesiosuuden kasvaessa (kuva 13).



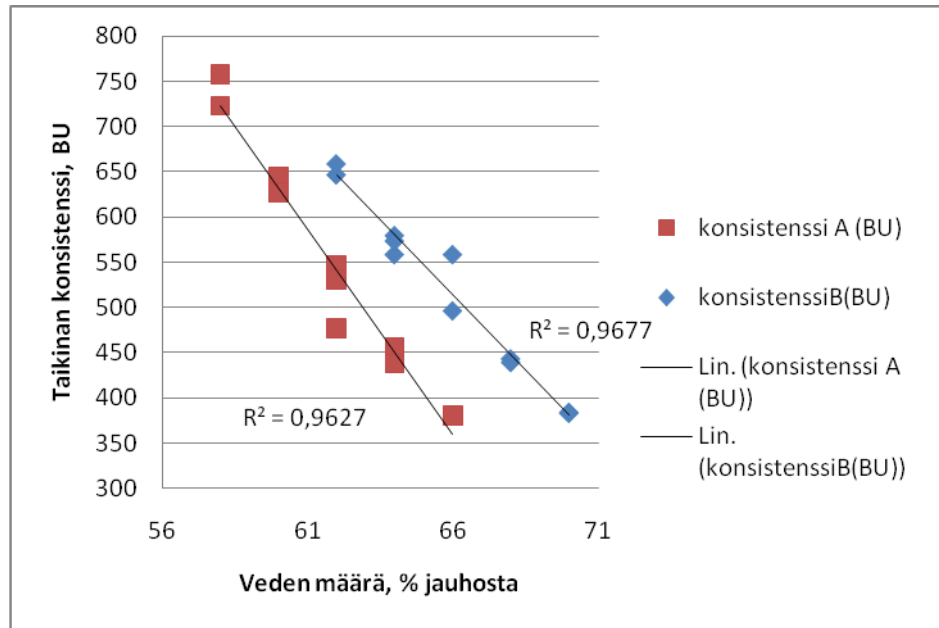
KUVA 13 Veden määrän vaikutus vehnätaikinan tiheyteen Emännän puolikarkealla vehnäjauholla, sekoitusaika 7 minuuttia.

Veden määrän vaikutus Fazerin A- ja B-jauhoista tehtyjen taikinoiden tiheyteen nähdään kuvasta 14. A-näytteen tiheyteen veden määrällä ei ollut selvää vaikutusta, kun taas B-näytteessä vesimäärän kasvulla oli taikinan tiheyttä nostava vaikutus.



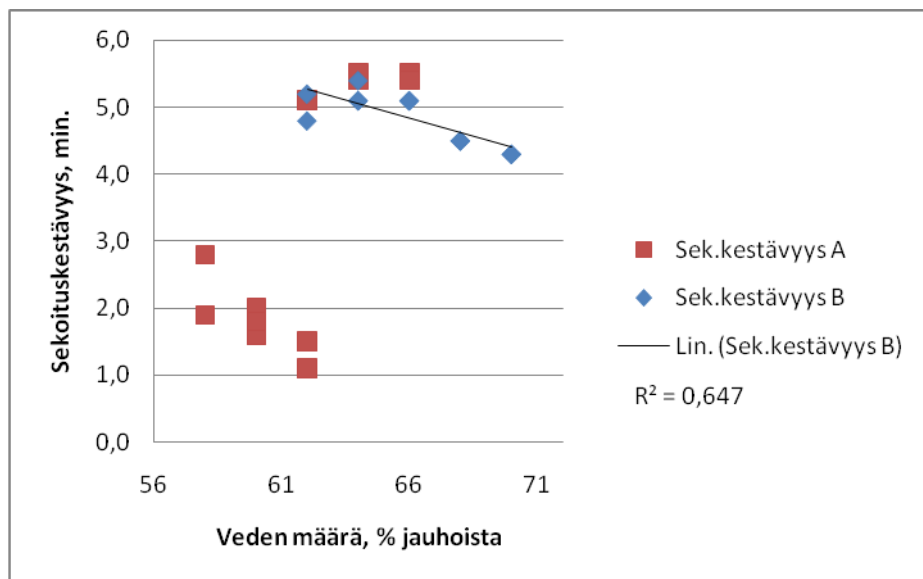
KUVA 14 Veden määrän vaikutus vehnätaikinan tiheyteen Fazerin A- ja B-jauhonäytteissä.

Kuvasta 15 nähdään, että vesiosuuden kasvulla oli lineaarinen, taikinan konsistenssia alentava vaikutus.



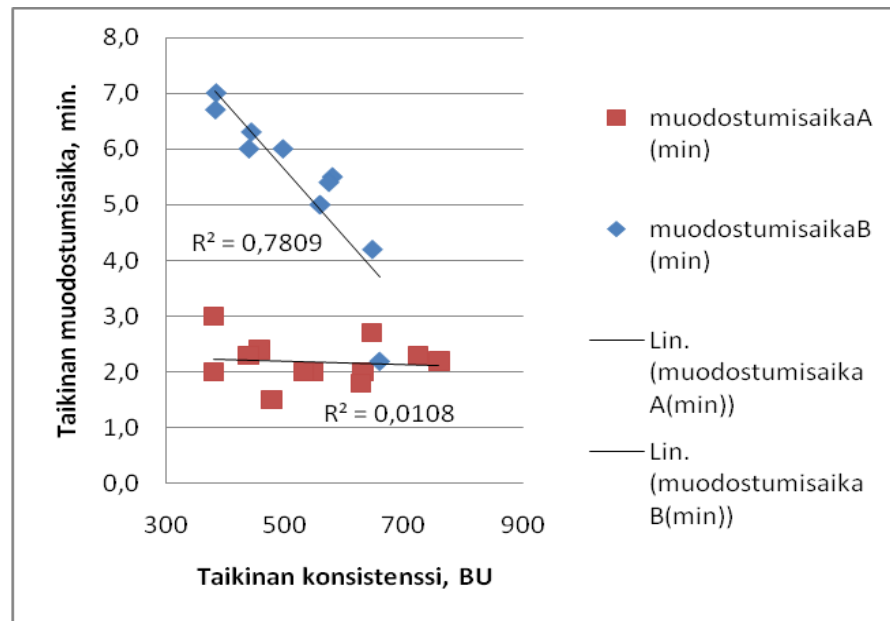
KUVA 15 Veden määrän vaikutus vehnätaikinan konsistenssiin Fazerin A- ja B-jauhonäytteissä.

Veden määrän muuttamisella ei tämän tutkimuksen perusteella ollut huomattavaa vaikutusta vehnätaikinan sekoituskestävyyteen (kuva 16).



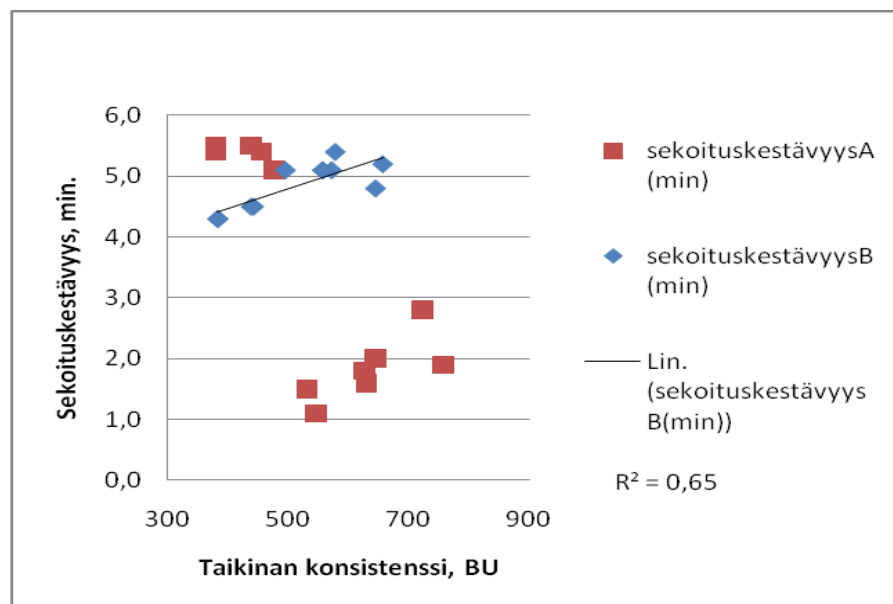
KUVA 16 Veden määrän vaikutus vehnätaikinan sekoituskestävyyteen Fazerin A- ja B-jauhonäytteissä.

Konsistenssin ja muodostumisajan yhteys näyttää riippuvan jauholaadusta (kuva 17). A-näytteessä näillä kahdella tekijällä ei ollut yhteyttä, kun taas B-näytteen taikinan muodostumisaika lyheni sitä mukaa kuin taikinan konsistenssi kasvoi.



KUVA 17 Konsistenssin ja taikinanmuodostumisajan yhteys Fazerin A- ja B- jauhönäytteissä.

Konsistenssilla ja sekoituskestävyydellä näyttää myös olevan erilainen yhteys riippuen jauholaadusta (kuva 18). A-jauhojen sekoituskestävyys romahti, kun taikinan konsistenssi nousi optimiin eli 500 Brabender yksiköön ja sen yli. B-jauhönäytteen sekoituskestävyys taas pysyi melko vakiona riippumatta taikinan konsistenssista.

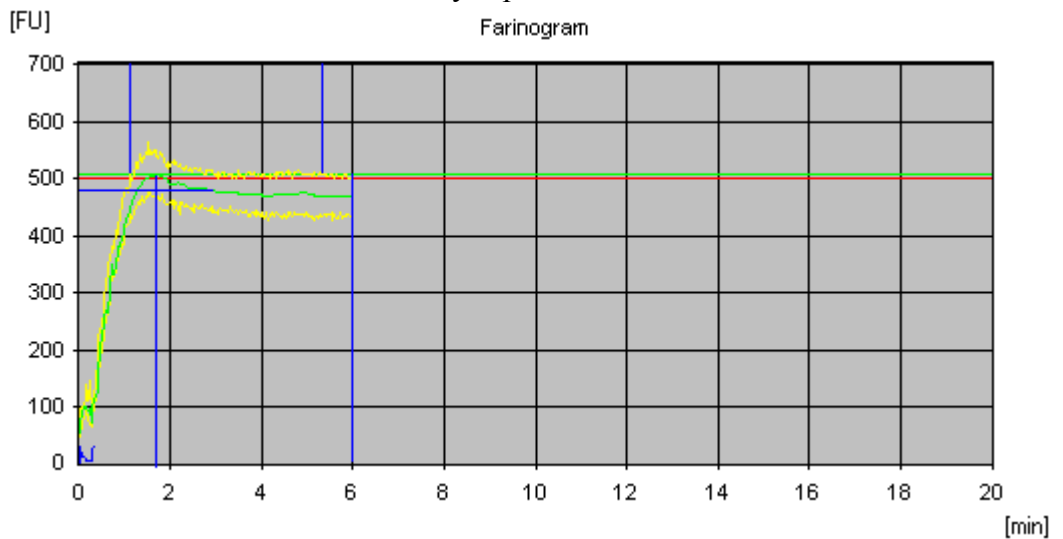


KUVA 18 Taikinan konsistenssin ja sekoituskestävyyden yhteys Fazerin A- ja B- jauhönäytteissä.

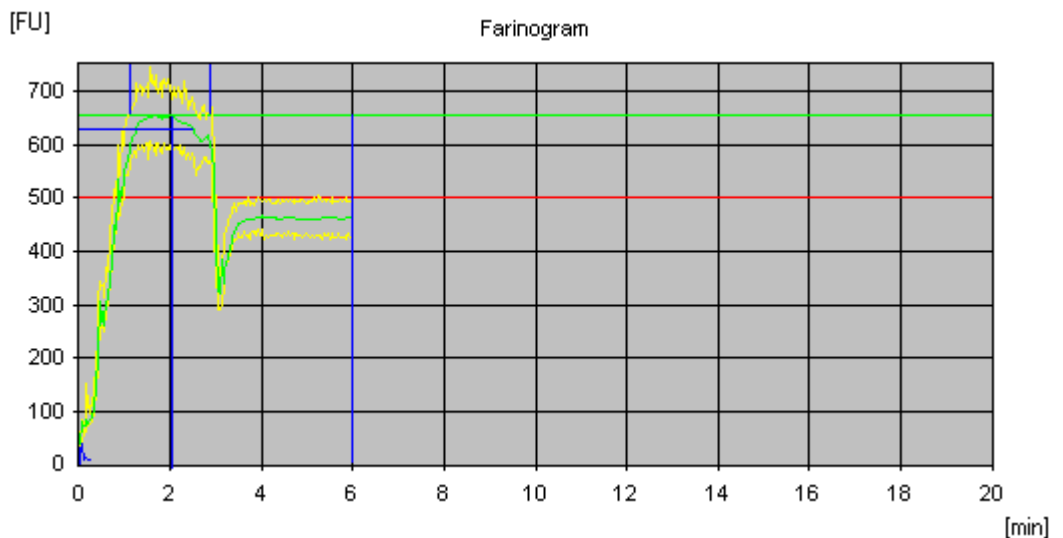
Taikinan muodostumisajan ja sekoituskestävyyden välillä ei ollut tämän tutkimuksen perusteella tilastollista, lineaarista yhteyttä. Myöskään taikinan tiheyden ja konsistenssin välillä ei todettu tällaista yhteyttä.

6.2.2 Veden lisäystapa

Kuvista 19 ja 20 nähdään veden lisäystavan vaikutus taikinan lopulliseen konsistenssiin. Farinogrammit kuvaavat kahta koetta, jotka tehtiin samalla tavalla lukuun ottamatta veden lisäystapaa.



KUVA 19 *Fazerin A-jauhojen farinogrammi, kun 50 g:aan jauhoa lisättiin 30,5 ml vettä heti sekoituksen alussa.*

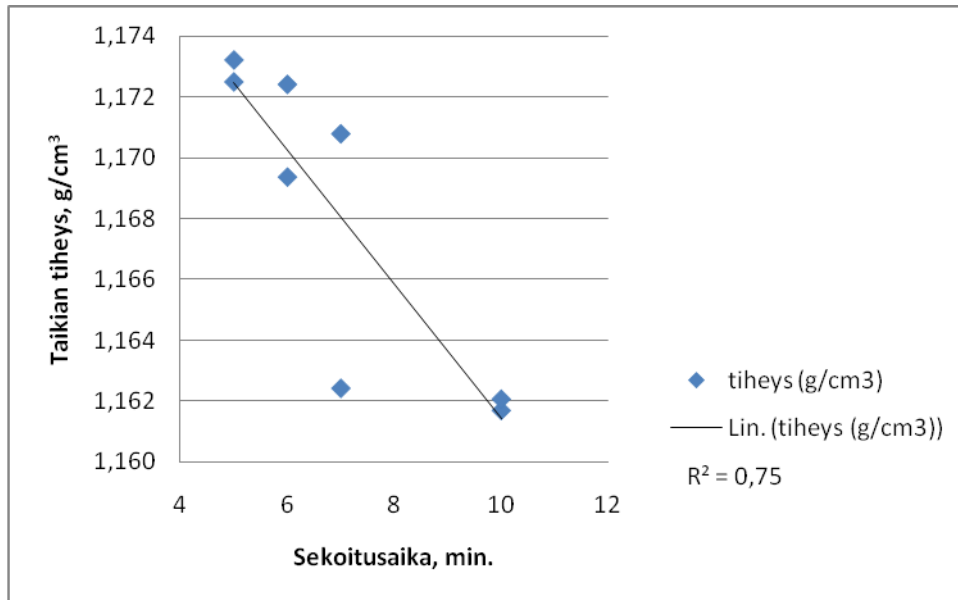


KUVA 20 *Fazerin A-jauhojen farinogrammi, kun 50 g:aan jauhoa lisättiin sekoituksen alussa 29 ml vettä ja kolmen minuutin kuluttua lisättiin 1,5 ml vettä.*

Veden erilaisten lisäystapojen vertailussa käytetty t-testi antoi kaksisuuntaisella testillä arvon 0,76. Kaksisuuntaisessa testissä vapausastein $f = 2$ kriittinen arvo $t_{0,001} = 3,787$. Koska $0,76 < 3,787$, jää nollahypoteesi voimaan 0,1 %:n merkitsevyystasolla. (Holopainen ja Pulkkinen 2002, 162, 163 ja 332). Tämän perusteella voidaan päätellä, että pienet erot vedenlisäystapojen välillä eivät olleet tilastollisesti vähäisissäkään määrin merkittäviä, eikä veden lisäystavalla ollut kriittistä vaikutusta puolikarkeasta vehnäjauhosta valmistetun taikinan lopullisiin ominaisuuksiin.

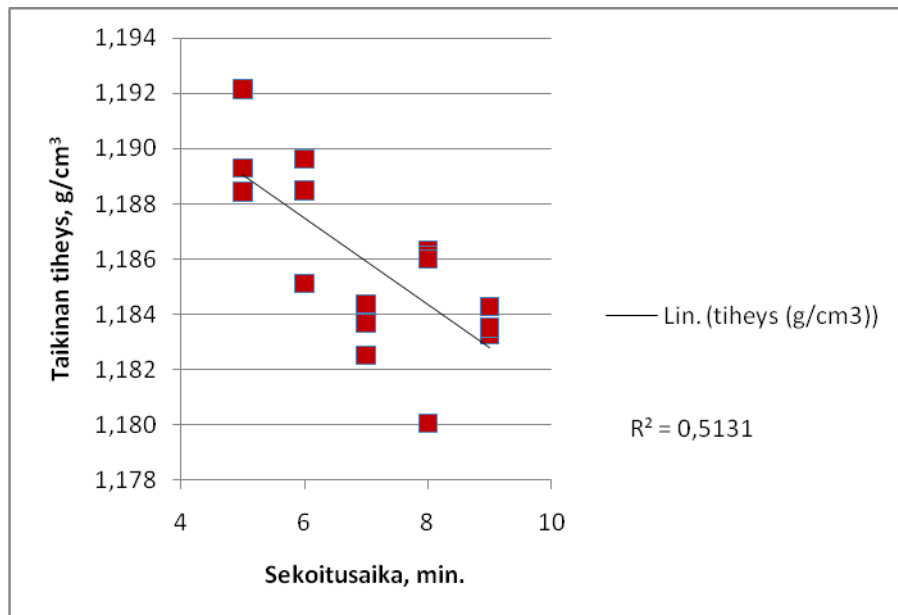
6.2.3 Sekoitus aika

Ensimmäinen koesarja sekoitusajan vaikutuksesta taikinan tiheyteen tehtiin Emännän puolikarkealla vehnäjauholla. Sekoitusajan pidentymisellä oli taikinan tiheyttä alentava vaikutus (kuva 21).



KUVA 21 Sekoitusajan vaikutus vehnätaikinan tiheyteen Emännän puolikarkealla vehnäjauholla.

Sekoitusajan pidentymisen alentava vaikutus taikinan tiheyteen Fazerin A-jauhonäytteessä voidaan nähdä kuvassa 22.



KUVA 22 Sekoitusajan vaikutus taikinan tiheyteen Fazerin A-jauholla (vettä 30,5 ml).

6.2.4 Tärkkelyksen tilavuusosuus

Synteettiset taikinat (kuva 23) todettiin vedensidontaominaisuuksiltaan suunnilleen samanlaisiksi kuin tavalliset vehnä jauho-vesitaikinat. Kaikki näytetaikinat olivat taikinamaisia, vaikkakin niiden muotoiluoimaisuudet vaihtelivat tärkkelyspitoisuuden muuttuessa. Eniten tärkkelystä sisältävä taikina oli pinnaltaan kostea ja tuntui käsissä enemmän muoviluvahalta kuin vehnätaikinalta. Kolme keskimmäistä näytettä olivat helppoja muotoilla, kun taas vähiten tärkkelystä sisältävä näyte oli kuiva ja vaati paljon käsivoimaa sekoittuakseen. Paljon gluteenia sisältänyt taikina olisi selvästi kaivannut enemmän vettä taikinamaiseen lopputulokseen pääsemiseksi.



KUVA 23 Kuvassa ensimmäiset synteettiset taikinat erilaisilla tärkkelys/gluteeni- suhteilla. Vasemman puoleisessa taikinassa on eniten tärkkelystä ja oikealle päin mentäessä tärkkelyksen määrä pienenee asteittain.

Tiheyttä määritettäessä taikinat käärittiin muovikelmuun. Saatujen tulosten mukaan taikinoiden tiheys kasvoi tärkkelysosuuden pienenemisen myötä. Tärkkelyksen ollessa vettä painavampaa voitaisiin olettaa tuloksen olevan päinvastainen. Myös kasvavan gluteeniosuuden olisi voinut olettaa lisäävän taikinän ilmaosuutta, jolloin taikina olisi keventynyt. Luultavasti hämmentävät tulokset johtuivat kelmun ja taikinän väliin jääneistä ilmakuplista. Myös näytteiden pieni koko ja sekoitusajan vaihtelu saattoivat aiheuttaa määritykseen epätarkkuutta.

7. TÄRKKELYKSEN TILAVUUSOSUUDEN VAIKUTUKSET VEHNÄTAIKINAN REOLOGIAAN

7.1 Tausta ja toteutus

Tässä tutkimuksessa perehdyttiin tärkkelysosuuden reologisiin vaikutuksiin vehnätaikinoissa. Tutkittavia reologisia parametrejä olivat jauhojen vedensidontakyky, taikinän tiheys, sekoituskestävyys, konsistenssi ja muodostumisaika. Vaikutuksia tarkasteltiin kuvaajien ja tilastollisten menetelmien avulla (korrelaatiomatriisit liitteessä 4 sekä regressioyhteenvedot liitteissä 6 ja 7). R^2 -arvo kertoo, miten suuri osa aineistosta voidaan selittää lineaarisella mallilla. Tekijöiden välisiä R^2 -arvoja verrattiin kriittisiin R^2 -arvoihin. Mikäli R^2 -arvo on kriittistä R^2 -arvoa korkeampi, voidaan päätellä tilastollisen yhteyden olevan olemassa. Kriittinen R^2 -arvo vapausastein 10, kaksisuuntaisessa testissä 5 %:n merkitsevyystasolla on 0,399. (Holopainen ja Pulkkinen 2003, 334).

Partikkeleiden tilavuusosuudella on havaittu olevan ratkaiseva reologinen merkitys ruokasuspensioita tai kolloideja suunniteltaessa ja niiden reologista käyttäytymistä ennustettaessa (Manski ym. 2007, 83; Dickinson

1992, 61). Tässä tutkimuksessa haluttiin selvittää, päteekö tämä vehnätaikinoissa. Tämä tehtiin laskemalla valmistettujen taikinoiden tilavuus- ja massaosuudet, piirtämällä molemmista kuvaajat ja vertaamalla kuvaajien lineaarisuuksia keskenään. Aineistoja tarkasteltiin ja vertailtiin myös tilastollisesti.

Tutkimus suoritettiin valmistamalla farinografilla yksinkertaistettuja, synteettisiä vehnätaikinoita Fazerin toimittamasta vehnätärkkelyksestä ja gluteenista sekä puhtaasta, käänteisosmoosilla käsitellystä vedestä. Yksinkertaisia jauho-vesitaikinoita käytettiin, jotta muuttujien määrä ja mahdolliset virhelähteet saatiin minimoitua ja siten pystyttiin tarkasti tutkimaan juuri haluttuja asioita. Henkevää keskustelua voitaisiin käydä aiheesta, onko tällainen synteettinen ”taikina” enää taikina ja ovatko saadut tulokset luotettavia. Tällaisella menetelmällä suoritettujen tutkimuksien todettiin kuitenkin antaneen hyvin suuntaa-antavia tuloksia, joten menetelmää päätettiin käyttää.

Synteettisiä taikinoita sekoitettiin kuusi minuuttia ja niitä varten valmistettiin jauhoseoksia viidellä eri tärkkelys-gluteenisuhteella. Jauhoseosten gluteenipitoisuudet kuiva-aineesta olivat 9, 12, 15, 18 ja 21 %. Kustakin jauhoseoksesta valmistettiin kaksi rinnakkaisnäytettä. Punnittujen tärkkelyksen ja gluteenin määrät on esitetty liitteessä 1. Vehnäjauhon proteiinipitoisuus voi vaihdella 7 ja 17 % välillä (Faridi & Faubion 1989, 67). Keskimmäisen jauhonäytteen gluteenipitoisuus päätettiin olevan 15 %, mikä on suunnilleen tavallisen vehnäjauhon tasolla. Ala- ja ylärajat valittiin kirjallisuuden perusteella vastaamaan luonnossa esiintyviä gluteenipitoisuuksia. Jauhoseosten tasalaatuisuus pyrittiin varmistamaan sekoittamalla tärkkelys ja gluteeni toisiinsa huolellisesti (kuva 24).

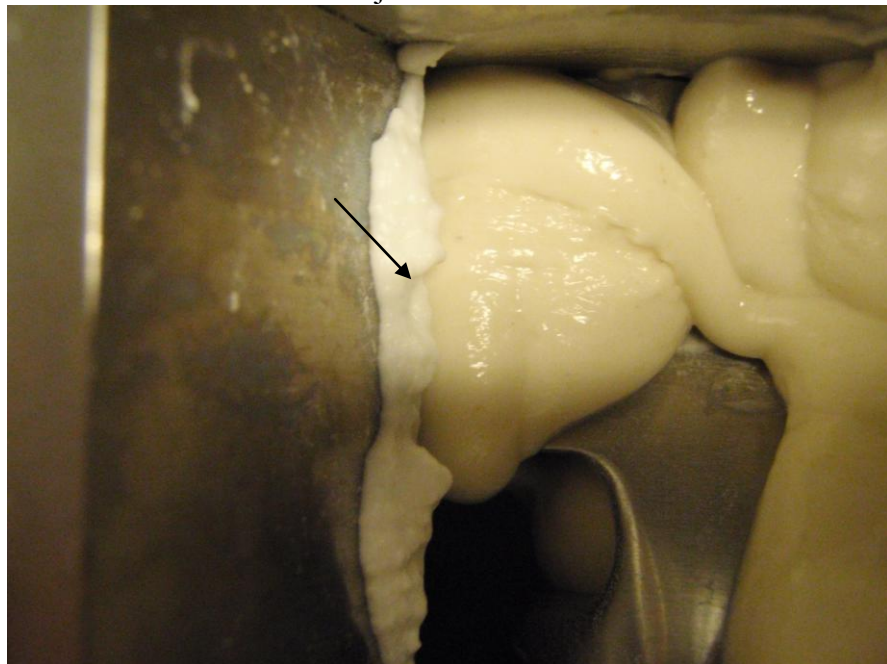


KUVA 24 Gluteeni ja tärkkelys punnittiin huolellisesti 0,1 gramman tarkkuudella. Jauhokseksi kaadettiin leivinpaperin päälle. Tärkkelys sekoitettiin gluteenin joukkoon vaihteittain, jolloin voitiin olla varmoja jauhoseoksen tasalaatuisuudesta..

Seosten kosteuspitoisuudet laskettiin perustuen tärkkelyksen ja gluteenin määritettyihin kosteuksiin, jotta farinografiin voitiin laittaa oikea jauhomäärä. Farinografia ei peity taikinoiden valmistamisen välillä, koska kulhohon mahdollisesti jäävän veden todettiin aiheuttavan taikinaan pieniä jauhojäämiä suuremman virheen. Taikinoiden valmistuksen välillä kaikki käsin poistettavissa materiaali poistettiin farinografian sekoituskoukuista ja kulhosta. Sekoitusajaksi valittiin alustavien kokeiden perusteella kuusi minuuttia. Sekoitusaika valittiin mahdollisimman lineaariselta alueelta, jolloin taikinassa ei tapahdu suuria muutoksia välittömästi ennen ajan täyttymistä tai ajan täyttymisen jälkeen. Taikinoita valmistettaessa pyrittiin 500 BU konsistenssiin. Siten tärkkelysosuuden vaihdellessa myös lisättävän veden määrä vaihteli.

Samaan tapaan tehtiin toinen koesarja eri tärkkelys-gluteenisuhteilla. Myös tämän sarjan sekoitusaika oli kuusi minuuttia. Tämän toisen koesarjan kaikkiin taikinoihin lisättiin sama määrä, 30,5 ml, käänteisosmoosilla käsiteltyä vettä. Tämän koesarjan taustalla oli gluteenin ja tärkkelyksen reologisen yhteisvaikutuksen tutkiminen, kun veden määrä pysyy vakiona.

Huomioimisen arvoinen yksityiskohta valmistettaessa synteettisiä taikinoita farinografilla oli, että tärkkelys pyrki voimakkaasti erottumaan taikinas- ta kulhon reunoille (kuva 25). Silmämääräisesti havaittiin, että mitä suurempi tärkkelyksen osuus jauhoseoksessa oli, sitä enemmän tärkkelystä erottui. Erottuvan materiaalin valkoisesta väristä pääteltiin sen olevan nimenomaan tärkkelystä. Selvästä erottumisesta huolimatta todettiin, että erottuvan tärkkelyksen määrä oli pieni, noin yksi gramma 50 gramman kokonaisjauhomäärää kohti. Siten sen aiheuttamaa, noin kahden % - yksikön virhettä ei pidetty merkittävänä. Tämän tutkimuksen puitteissa voidaan vain arvailla, johtuiko erottuminen synteettisistä jauhoseoksista puuttuvista jauhojen mikrokomponenteista vai mistä? Vastaavaa erottumista ei havaittu missään vehnäjauhoilla suoritetuissa testeissä.

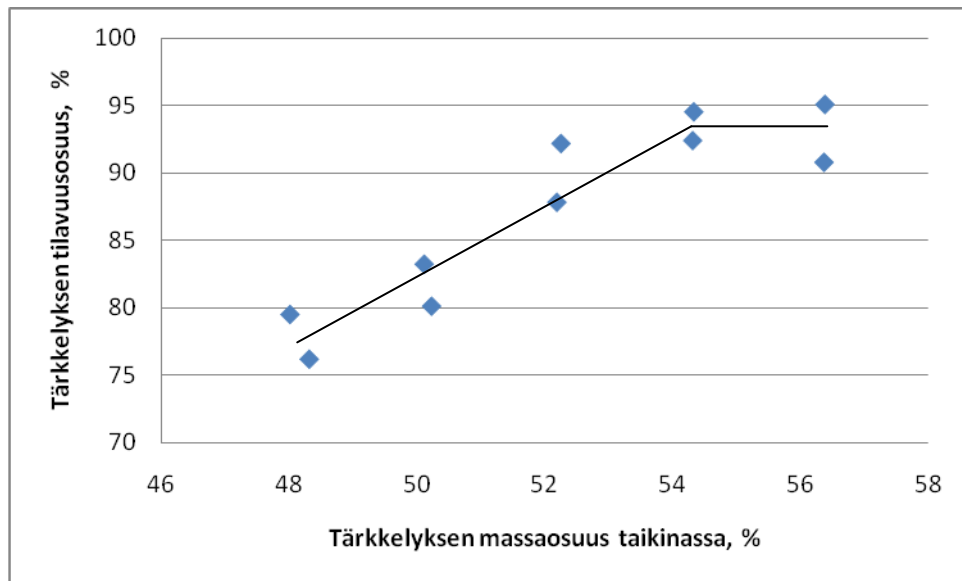


KUVA 25 Farinografian kulhon laidalla näkyy selvästi taikinasta erottumaan pyrkivä valkoinen tärkkelys.

7.2 Koesarja vaihtelevalla veden määrällä

Vaihtelevalla veden määrällä tehdyn koesarjan, jossa pyrittiin optimikonsistenssiin (500 BU), regressioyhteenvedot on esitetty liitteessä 6. Liitteessä 4 ovat molempien koesarjojen korrelaatiomatriisit ja liitteessä 5 ovat taulukot, joiden pohjalta regressioyhteenvedot on tehty.

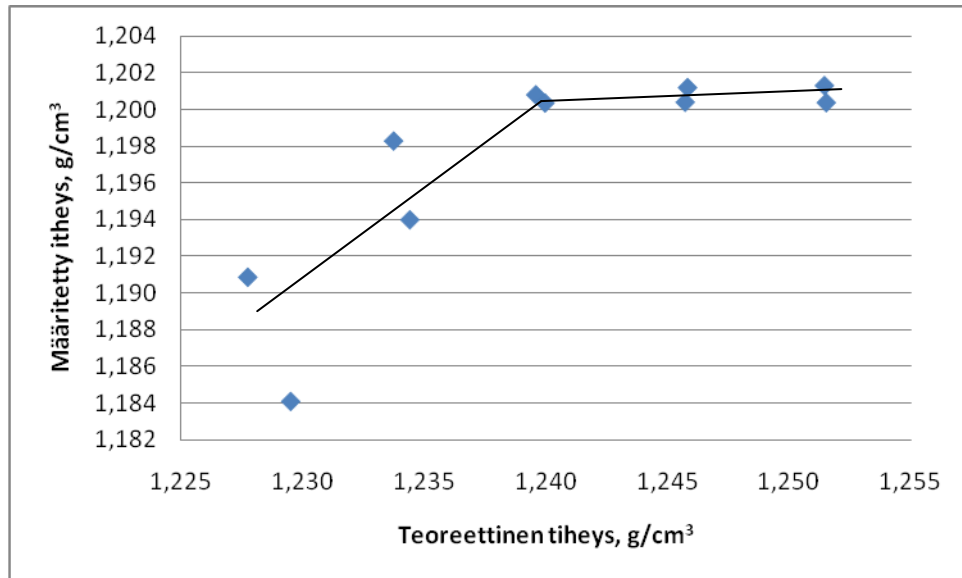
Tutkittaessa tärkkelyksen tilavuus- ja massaosuuden yhteyttä havaittiin, että tärkkelyksen tilavuusosuus kasvaa lineaarisesti sen massaosuuden kasvaessa (kuva 26). Tärkkelyksen massaosuuden ollessa n. 54 % sen tilavuusosuuden kuvaajan kulmakertoimen pienenee. Tärkkelyksen massa- ja tilavuusosuuden välinen R^2 -arvo oli 0,818 (liite 6).



KUVA 26 Tärkkelyksen massaosuuden ja tilavuusosuuden yhteys vehnätaikinassa, kun veden määrä vaihtelee.

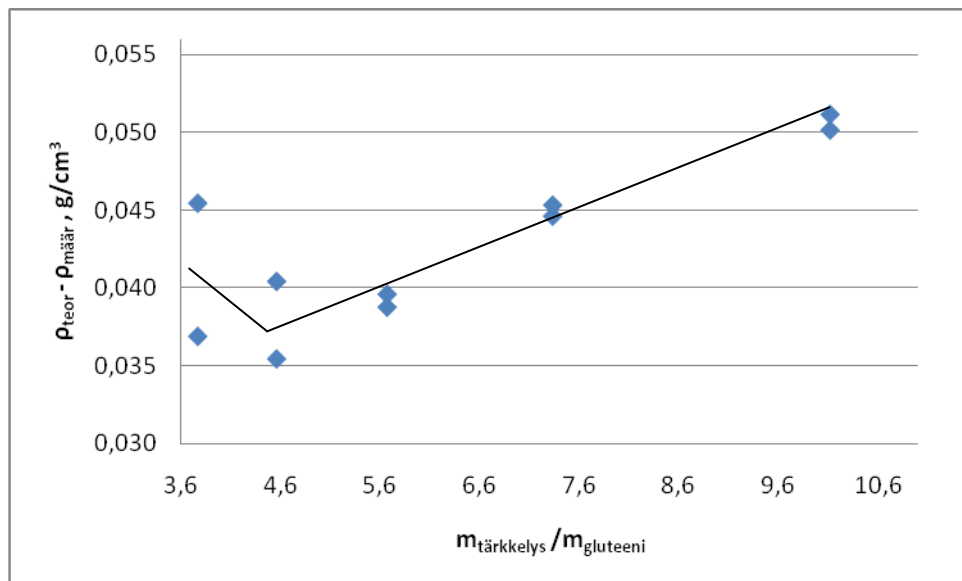
7.2.1 Tärkkelyksen määritetyn ja teoreettisen tiheyden yhteys

Kuvasta 27 voi nähdä, että taikinassa teoreettisesti lasketulla ja määritetyllä tiheydellä oli lineaarinen yhteys. Kuvaajan kulmakertoimen pienenee taikinassa teoreettisen tiheyden ollessa n. $1,24 \text{ g/cm}^3$. Tilastollisen tarkastelun perusteella teoreettisen ja määritetyn tiheyden välinen R^2 -arvo oli 0,508 (liite 6).



KUVA 27 Taikinan teoreettisen ja määritetyn tiheyden yhteys, kun veden määrä vaihtelee.

Tärkkelys/gluteeni -suhteen ollessa pieni, eli kun taikinassa oli paljon gluteenia, sen yhteys teoreettisen ja määritetyn tiheyden erotukseen oli epälineaarinen. Tärkkelysosuuden kasvaessa myös teoreettisen ja määritetyn tiheyden erotus kasvoi. Kuvasta 28 nähdään, että näiden kahden suhteen välinen yhteys muuttui lineaarisiksi tärkkelysosuuden kasvaessa.

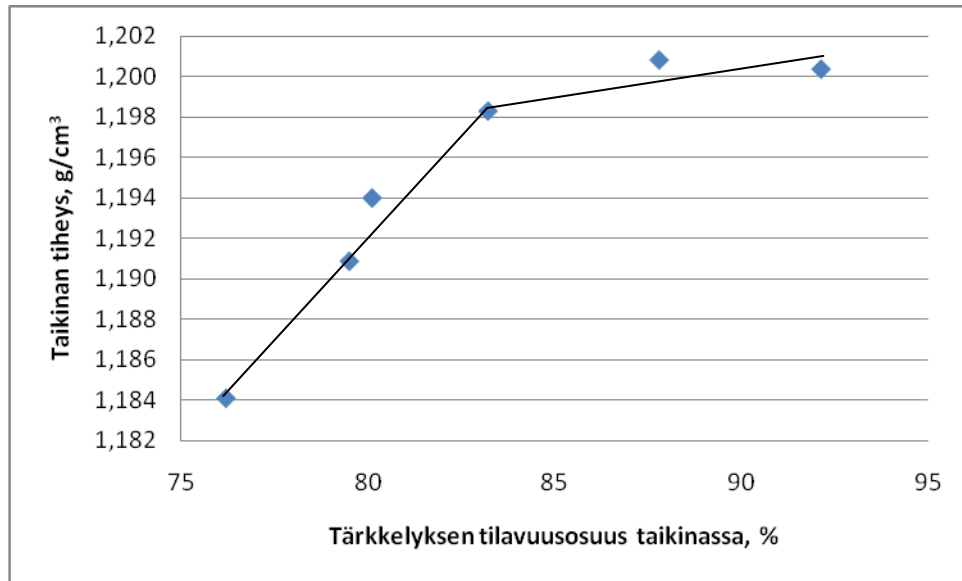


KUVA 28 Tärkkelys/gluteeni-massasuhteen ja teoreettisen ja määritetyn tiheyden erotuksen yhteys, kun veden määrä vaihtelee.

7.2.2 Taikinan tiheys

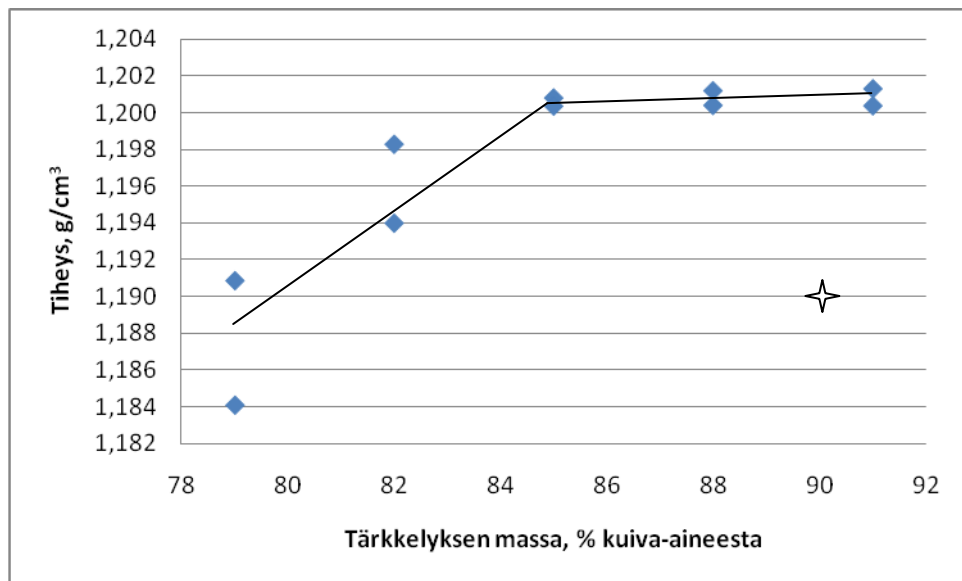
Tärkkelyksen tilavuusosuuden kasvulla osoitettiin tässä tutkimuksessa olevan selvä, vehnätaikinan tiheyttä nostava vaikutus. Tekijöiden välinen R^2 -arvo oli 0,716 (liite 6). Tekijöiden välillä oli tätäkin lineaarisempi yh-

teys, kun havaintopisteet jaettiin kahteen osaan, joilla oli eri kulmakerroin (kuva 29).



KUVA 29 Tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutus taikinan tiheyteen, kun veden määrä vaihtelee.

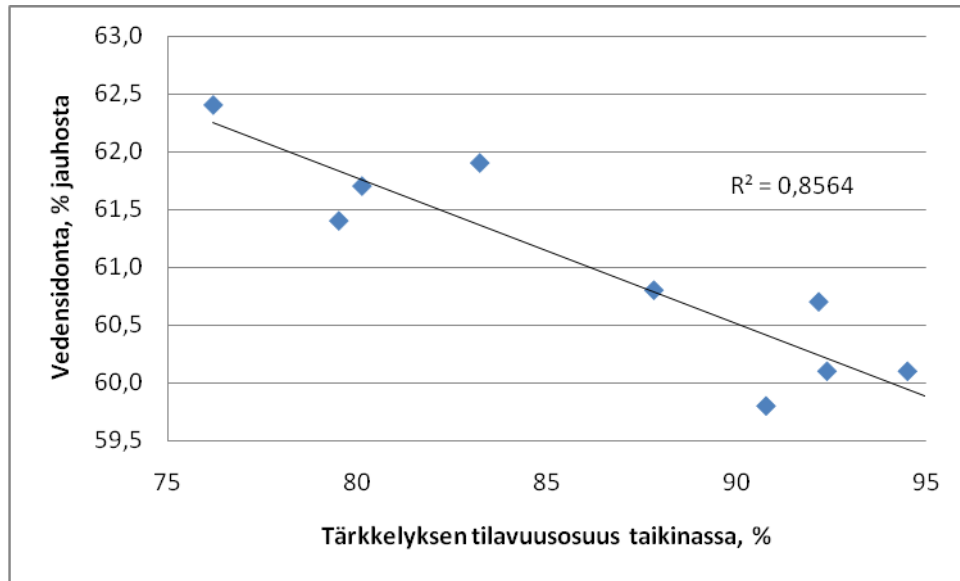
Tärkkelyksen kuiva-aineosuuden kasvulla oli lineaarinen, taikinan tiheyttä nostava vaikutus (kuva 30).



KUVA 30 Tärkkelyksen kuiva-aineosuuden vaikutus taikinan tiheyteen, kun veden määrä vaihtelee. Kuvaan on merkitty tähdellä Fazerin A-jauhon tiheys kuuden minuutin sekoitusajalla.

7.2.3 Jauhojen vedensidontakyky

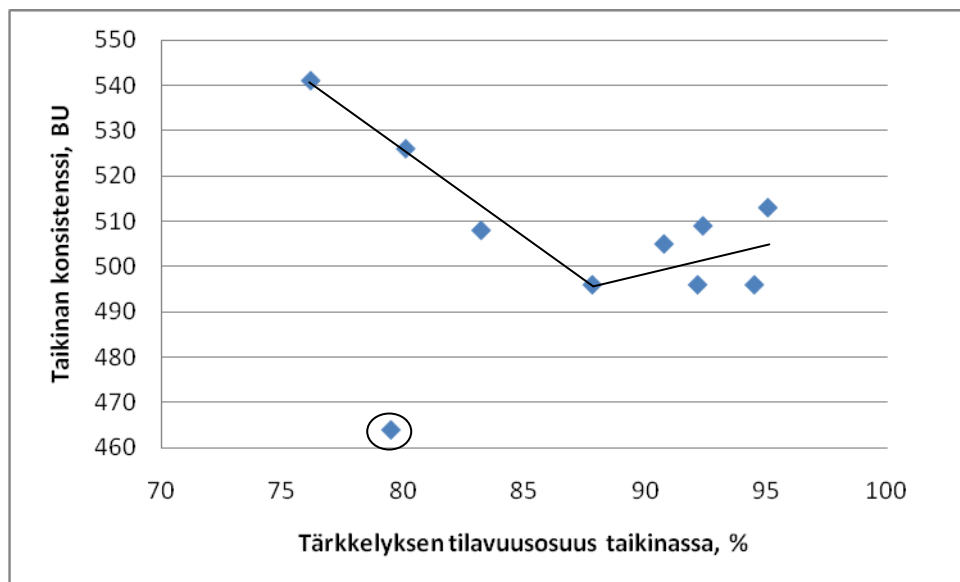
Tässä tutkimuksessa tärkkelyksen tilavuus- (kuva 31) ja massaosuudella (liite 9, kuva 41) osoitettiin olevan lineaarinen, laskeva vaikutus vehnäjauhojen vedensidontakykyyn.



KUVA 31 Tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutus vehnäjauhojen vedensidontakykyyn, kun veden määrä vaihtelee.

7.2.4 Taikinan konsistenssi

Tärkkelyksen tilavuus- (R^2 -arvo 0,047, liite 6) tai massaosuudella (R^2 -arvo 0,000, liite 6) ei voitu osoittaa tämän tutkimuksen perusteella olevan lineaarista vaikutusta vehnätaikinan konsistenssiin. Kuvasta 32 (ja liite 9, kuva 42) voidaan kuitenkin nähdä, että tärkkelysosuuden kasvaessa konsistenssi laskee tiettyyn raja-arvoon saakka. Konsistenssin lasku pysähtyi tärkkelyksen tilavuusosuuden ollessa n. 88 %.



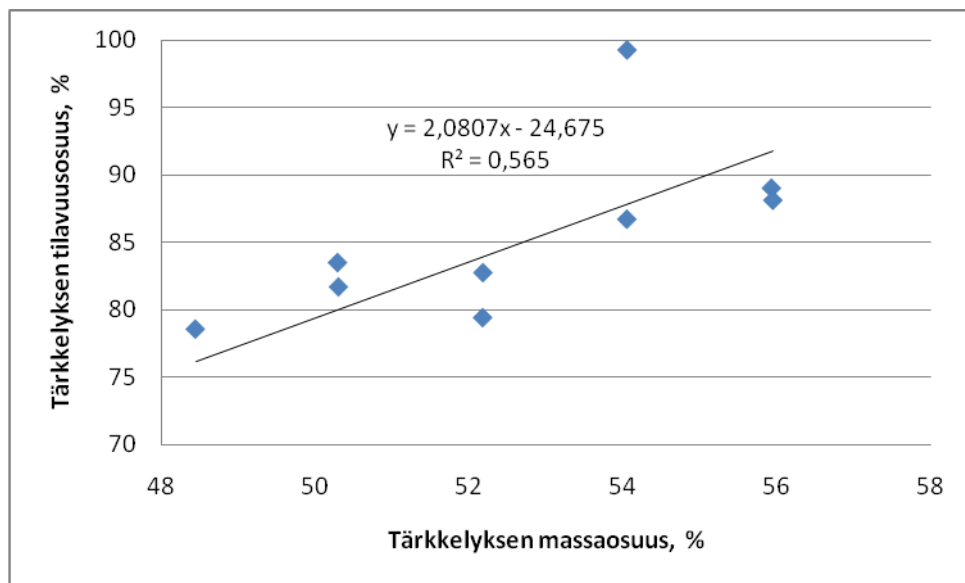
KUVA 32 Tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutus vehnätaikinan konsistenssiin, kun veden määrä vaihtelee.

7.2.5 Taikinan muodostumisaika ja sekoituskestävyys

Taikinan tärkkelysosuudella ei voitu tämän tutkimuksen perusteella osoittaa olevan vaikutusta taikinan muodostumis- eli kehittymisaikaan tai sekoituskestävyyteen (liite 6).

7.3 Koesarja veden määrän pysyessä vakiona

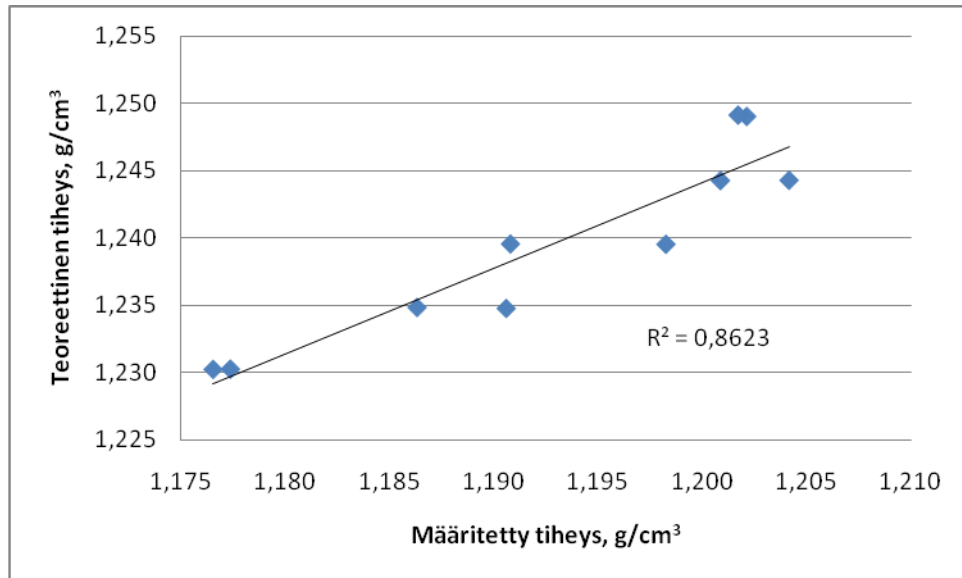
Tärkkelysosuudella osoitettiin olevan lineaarisin yhteys taikinan konsistenssin ja vedensidonnan kanssa, kun veden määrä pysyi vakiona (liitteet 3, 4, 5 ja 7). Tärkkelysosuuden kasvulla osoitettiin olevan selvä nostava vaikutus myös taikinan tiheyteen. Tärkkelysosuudella ei ollut merkittävää vaikutusta vehnätaikinan sekoituskestävyyteen tai muodostumisaikaan. Kuvasta 33 havaitaan, että tärkkelyksen massaosuuden kasvaessa sen tilavuusosuus kasvoi lineaarisesti.



KUVA 33 Tärkkelyksen massa- ja tilavuusosuuden yhteys veden määrän pysyessä vakiona.

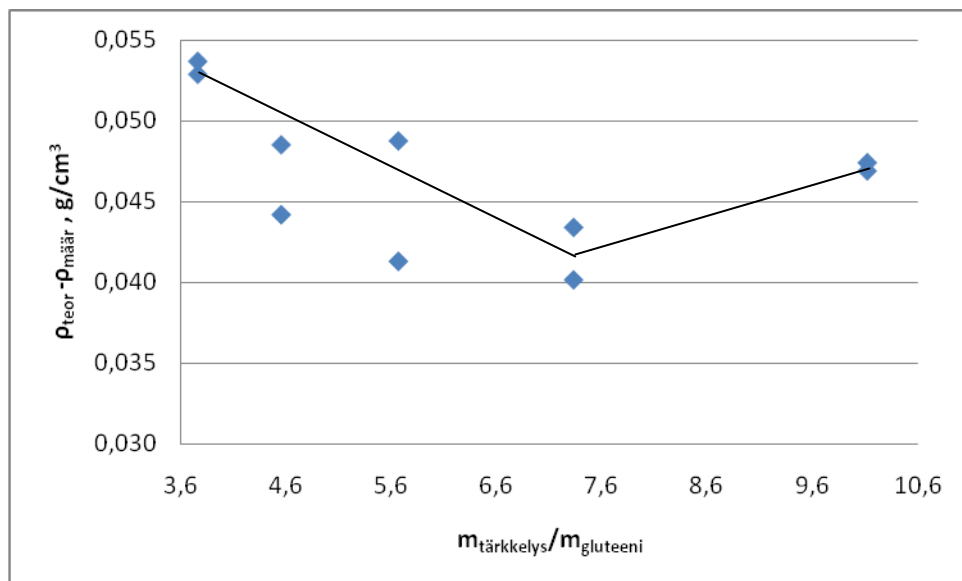
7.3.1 Taikinan määritetyn ja teoreettisen tiheyden yhteys

Taikinan määritetyn tiheyden ja teoreettisen tiheyden välillä oli hyvä lineaarinen korrelaatio ($R^2 = 0,862$). Verrattaessa koesarjoja veden määrän pysyessä vakiona ($R^2 = 0,862$) ja vaihtelevalla veden määrällä ($R^2 = 0,508$) voitiin todeta, että taikinan määritetty ja teoreettinen tiheys korreloivat paremmin veden määrän pysyessä vakiona (kuvat 27 ja 34). Teoreettinen tiheys oli määritettyä tiheyttä korkeampi, koska taikinaan sitoutuvaa ilmaa ei huomioitu laskettaessa teoreettista tiheyttä.



KUVA 34 Taikinan määritetyn ja teoreettisen tiheyden yhteys veden määrä pysyessä vakiona.

Tärkkelys/gluteeni-suhteen ja teoreettisen ja määritetyn tiheyden erotuksen välillä ei ollut lineaarista yhteyttä, kun veden määrä pysyi vakiona (kuva 35).

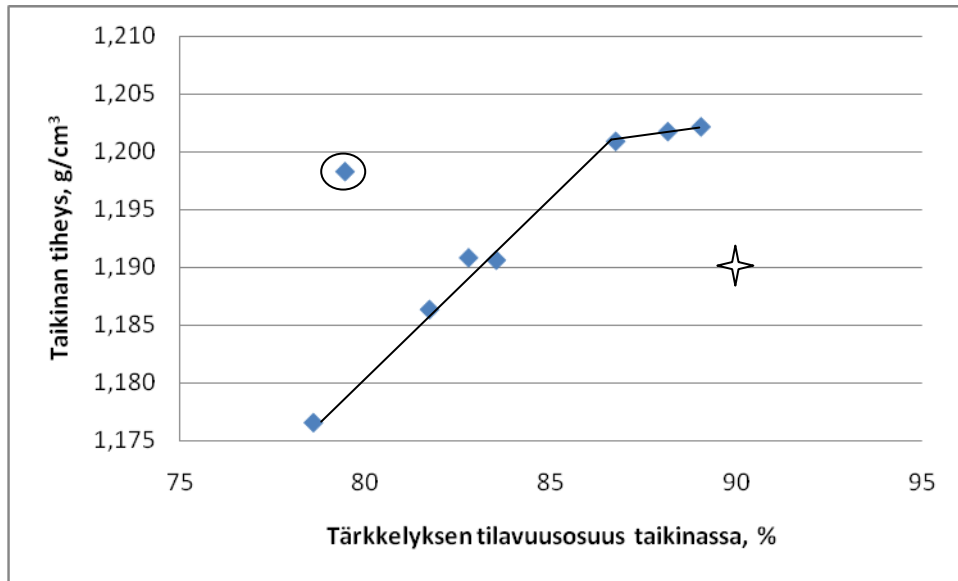


KUVA 35 Tärkkelys/gluteeni – massasuhteen ja teoreettisen ja määritetyn tiheyden erotuksen yhteys veden määrän pysyessä vakiona.

7.3.2 Taikinan tiheys

Tärkkelysosuuden kasvulla oli nostava vaikutus taikinan tiheyteen veden määrän pysyessä vakiona. P-arvo oli 0,015 (liite 7), joten erehtymisriski oli vain n. 2 %. Tilavuusosuuden kuvaajassa (kuva 36, R^2 -arvo 0,545) oli nähtävillä ympyröity, luultavasti ilman tilavuudesta johtuva poikkeava havainto. Muut havaintopisteet asettuivat erittäin lineaariselle kuvaajalle.

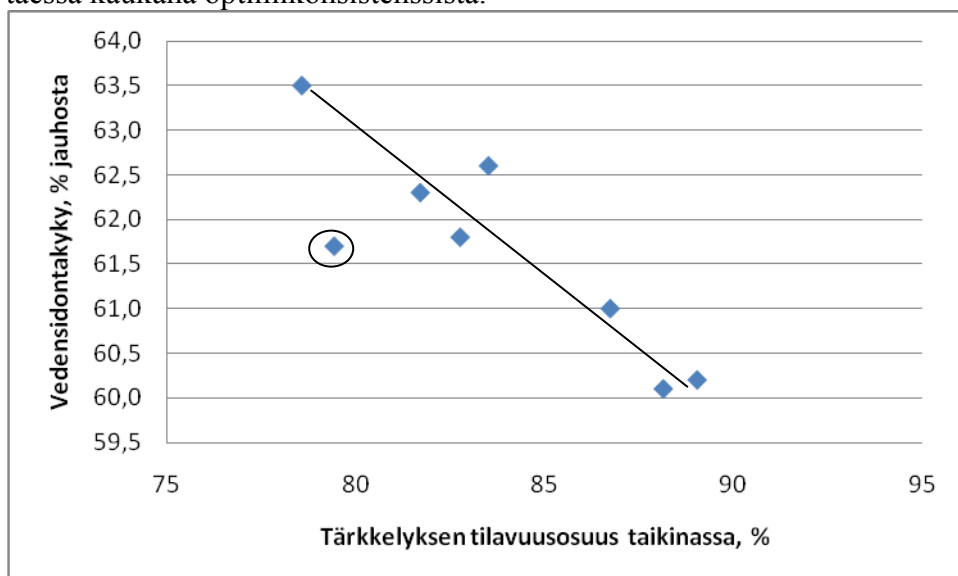
Kuvaajan kulmakerroin pieni, kun tärkkelyksen tilavuusosuus oli n. 87 %.



KUVA 36 Tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutus taikinan tiheyteen veden määrän pysyessä vakiona. Fazerin A-jauhosta valmistetun taikinan tiheys on merkitty kuvaan tähdellä.

7.3.3 Jauhojen vedensidontakyky

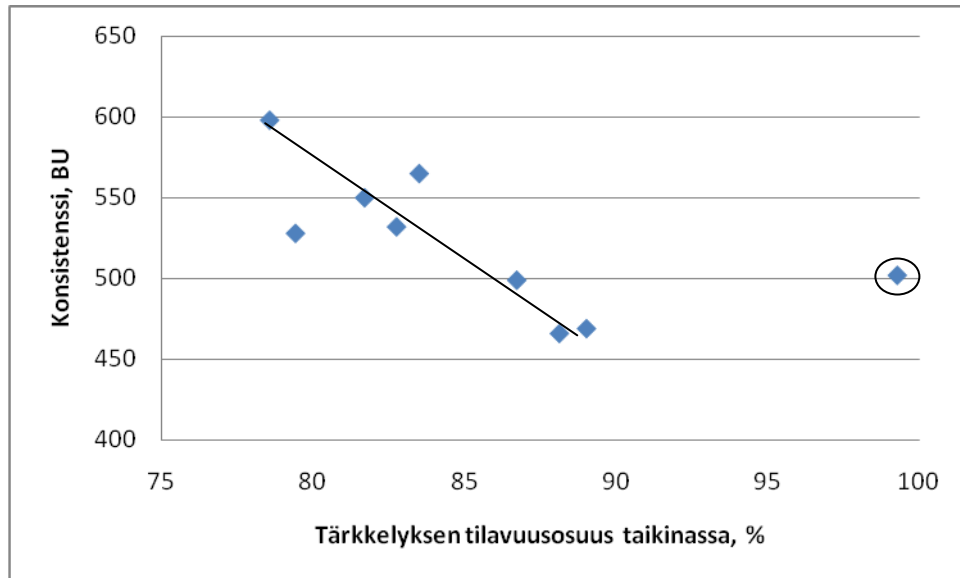
Tärkkelyksen tilavuusosuuden kasvulla oli lineaarinen, laskeva vaikutus jauhojen vedensidontakykyyn (R^2 -arvo 0,527, kuva 37). Kuvaajassa on nähtävillä yksi ympyröity, poikkeava havainto. Tärkkelyksen massaosuuden kasvun (liite 9, kuva 44) laskeva vaikutus jauhojen vedensidontaan oli erittäin lineaarinen (R^2 -arvo 0,992). Tämä oli yllättävä havainto, kun otetaan huomioon farinografian vedensidontan määrittämisepäätarkkuus liikuttaessa kaukana optimikonsistenssista.



KUVA 37 Tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutus jauhojen vedensidontakykyyn veden määrän pysyessä vakiona.

7.3.4 Taikinan konsistenssi

Taikinan konsistenssi oli sitä pienempi, mitä enemmän taikinassa oli tärkkelystä. Tuloksissa (kuva 38) oli yksi yllättävä poikkeama, jonka taikinassa oli yli 99 tilavuus - % tärkkelystä. Tämän poikkeaman aiheutti luultavasti epätarkkuus taikinan tiheysmäärittämisessä. Tästä huolimatta tärkkelyksen tilavuusosuuden ja taikinan konsistenssin välinen R^2 -arvo oli 0,524, mikä ylittää selvästi kriittisen R^2 -arvon (0,399). Tärkkelyksen massaosuuden kasvun laskeva vaikutus konsistenssiin (liite 9, kuva 45, R^2 -arvo 0,990) oli erittäin lineaarinen.



KUVA 38 Tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutus taikinan konsistenssiin veden määrän pysyessä vakiona.

7.3.5 Taikinan muodostumisaika ja sekoituskestävyys

Tärkkelysosuudella ei ollut vaikutusta taikinan muodostumisaikaan tai sekoituskestävyyteen (liite 7).

8. POHDINTA

Tärkkelys, gluteeni ja vesi ovat vehnätaikinan pääkomponentteja. Tärkkelys ja gluteeni ovat vettä tiheämpiä (raskaampia). Oletuksena olikin, että jauhojen vesiosuuden kasvaessa taikinan tiheys pienenesi eli taikina kevenisi. Näin ei kuitenkaan tapahtunut (kuva 13). Pääteltiin, että tämä ilmiö liittyy ilman sitoutumiseen taikinaan. Mitä kosteampaa taikina oli, sitä vähemmän siihen pääsi sitoutumaan ilmaa. Vesiosuuden kasvun erilainen vaikutus A- ja B- jauhoista valmistettujen taikinoiden tiheyteen (kuva 14) merkitsee, että korkealaatuisesta B-jauhosta on helppo valmistaa kevyt taikina. Heikompilaatuisista jauhoista leivottaessa taikinasta tulee raskaampi, joten ne eivät pysty sitomaan taikinaan yhtä paljon ilmaa kuin korkealaatuiset jauhot. Vesiosuuden kasvun konsistenssia alentava vaikutus (kuva 15) oli yhtenevä kirjallisuudesta löytyvien tietojen kanssa. Windhab (2000, 136) toteaa materiaalin viskositeetin olevan riippuvainen

sen kiinteän aineen tilavuusosuudesta. Kun vettä lisätään taikinaan, sen kiinteiden partikkeleiden osuus pienenee ja konsistenssi laskee.

Erityyppisten jauhojen sekoituskestävyyteen veden määrä näytti tämän tutkimuksen perusteella vaikuttavan hyvin eri tavoin (kuva 16). Heikomman jauhon sekoituskestävyys jopa parani vesiosuuden kasvaessa, kun taas vaikutus vahvemmalle jauholle oli päinvastainen. Mielenkiintoista oli, että selvästi paras sekoituskestävyys saavutettiin kummassakin jauhossa veden määrän ollessa noin 63 % jauhojen määrästä, vaikka A-jauhon vedensidonta oli B-jauhoa alhaisempi (taulukko 1). Heikomman A-jauhon sekoituskestävyys oli selvästi jakautunut kahtia noin 62 vesiprocentin kohdalta, kun taas B-jauholla veden määrässä ei näyttänyt olevan mitään kriittistä äkillisen muutoksen kohtaa. Heikon jauhon sekoituskestävyyden paraneminen vesiosuuden kasvaessa sopii taustatietoon taikinän korkean vesipitoisuuden pidentävästä vaikutuksesta sekoitusaikaan, joka tarvitaan optimikonsistenssiin pääsemiseksi (Stear 1990, 5). Synteettisten taikinoiden sekoituskestävyys oli vehnäjauhoista valmistettujen taikinoiden sekoituskestävyyttä huonompi.

Kasvava vesiosuus taikinassa vähentää taikinän elastisuutta ja viskositeettia, pehmentää taikinän ja alentaa taikinän sekoitushuippua. Kun taikinassa on liikaa vettä, tärkkelysjyväsiä ympäröi gluteeniverkoston lisäksi vesikerros. Myös sekoitusajan vaikutusta taikinän reologiaan on tutkittu. Sekoitusajan vaikutukset taikinaan vaihtelevat paljon riippuen jauhojen laadusta, mutta yleisesti ottaen sekoitusajan pidetessä taikina pehmenee ja viskositeetti alenee. (Letang ym. 1999, 122 - 130). Tässäkin tutkimuksessa havaittiin vesimäärän kasvaessa taikinoiden muuttuvan tarttuviksi ja raskaiksi. Vesimäärän vaikutukset taikinän tiheyteen ja sekoituskestävyyteen havaittiin aivan erilaiseksi vahvalla ja heikolla jauholla. Heikoista jauhoista (joissa on vähän gluteenia) valmistettujen, raskaiden taikinoiden tiheyteen veden määrällä ei ollut vaikutusta. Vahvoista jauhoista (joissa on paljon gluteenia) valmistettujen, kevyiden taikinoiden tiheyttä vesimäärän kasvun nosti (kuva 14). Konsistenssin ja muodostumisajan yhteys riippui jauho-laadusta (kuva 17). Veden vähentäminen vahvasta jauhosta leivotussa taikinassa nopeutti taikinän muodostumista. Toisaalta heikommasta A-jauhosta leivottu taikina muodostui aina vahvaa B-jauhoa nopeammin veden määrästä riippumatta. Nopea taikinän muodostuminen oli tyypillistä heikoille jauhoille, joista valmistetut taikinät toisaalta romahtivat helposti ja äkillisesti.

Mitä kauemmin Emännän puolikarkeasta ja Fazerin A-vehnäjauhosta valmistettuja taikinoita sekoitettiin, sitä enemmän niihin sekoittui ilmaa ja sitä kevyemmäksi ne tulivat (kuvat 21 ja 22). Ilman sitoutuminen taikinaan jatkuu, kunnes taikina ylisekoittuu ja romahtaa (Faridi & Faubion 1989, 33). Kuvassa 26 näkyvä tärkkelyksen tilavuusosuuden kasvun hidastuminen tärkkelyksen massaosuuden kasvaessa kertoo ilman tilavuusosuuden pienenemisestä taikinassa tärkkelyksen massaosuuden kasvaessa. Ilma ei lisää taikinän massaa, mutta tilavuutta se lisää. Kun ilman tilavuusosuus kasvaa, niin tärkkelyksen tilavuusosuus pienenee. Tärkkelys/gluteeni -suhteen ollessa pieni, eli kun taikinassa oli paljon gluteenia, sen yhteys teoreettisen ja määritetyn tiheyden erotukseen oli alhainen ja epälineaari-

nen (kuva 27). Todennäköisesti alhaisien tiheysarvojen hajonnan aiheutti keveimmissä taikinoissa lisääntynyt ilman määrä. Teoreettisen tiheyden kasvaessa n. arvoon $1,24 \text{ g/cm}^3$:aan kuvaajan kulmakerroin muuttui ja määritetyn tiheyden kasvu hidastui ja pysähtyi. Tuloksista voidaan päätellä, että raskaissa, vähän gluteenia sisältävissä taikinoissa ilman tilavuusosuus oli pieni. Myös vesiosuuden vaihtelu ja veden jakautuminen taikinan eri komponenttien kesken saattoivat aiheuttaa tuloksiin pientä epälineaarisuutta: kevyissä taikinoissa, joissa oli paljon gluteenia, oli myös paljon vettä verrattuna raskaisiin, tärkkelysrikkaisiin taikinoihin. Liitteessä 9 näkyy, että taikinan määritetyn tiheyden kasvaessa teoreettisen ja määritetyn tiheyden erotus eli poikkeama pieneni (kuva 39).

Kun tärkkelystä oli kuiva-aineessa n. 4,5 kertaa gluteenin verran (kuva 28), teoreettisen ja määritetyn tiheyden erotus oli lähimpänä teoreettista tiheysarvoa. Taikina on tässä optimipisteessä keveimmillään. 100 grammaa tällä suhteella valmistettua synteettistä jauhosekoitusta sisälsi 81,82 g tärkkelystä ja 18,18 g gluteenia. 18 % gluteenipitoisuudella saatiin tässä tutkimuksessa kevyimmät taikinat, jotka toimivat lineaarisesti. Gluteenipitoisuuden noustessa tätä korkeammaksi taikinat alkoivat käyttäytyä epälineaarisesti. Tehtäessä kokeita elastomeeriverkostoilla, on vastaavanlaisia tuloksia saatu ennenkin, eli tutkittavan materiaalin ominaisuudet ovat muuttuneet eniten, kun täytepartikkeleita on ollut vähän. Päinvastaisiakin tuloksia on kuitenkin saatu. (Manski ym. 2007, 80). Koesarjassa, jossa veden määrä pidettiin vakiona, lineaarista yhteyttä em. tekijöiden välillä ei ollut (kuva 35). Tämän voidaan olettaa johtuvan veden jakautumisen eroista taikinan eri komponenttien välillä sekä ilman tilavuusosuuden voimakkaista vaihteluista.

Taikinan tiheyden kasvu tärkkelyksen tilavuusosuuden kasvaessa hidastui ja pysähtyi tärkkelyksen tilavuusosuuden ollessa n. 89 % (kuva 29). Tämä merkitsee, että tärkkelyksen vaikutus taikinan tilavuuden kasvuun on gluteenin vaikutusta pienempi. Tulosta tukee yleinen käsitys gluteenin roolista ilman sitojana vehnätaikinaan ja siten taikinan keventäjänä. Verrattaessa tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutusta sen massaosuuden vaikutukseen (liite 9, kuva 40), voitiin todeta tärkkelyksen tilavuusosuuden nostavan taikinan tiheyttä lineaarisemmin. Tärkkelysosuudella oli lineaarisempi vaikutus taikinan vesimäärän vaihdellessa kuin veden määrän pysyessä vakiona (liitteet 6 ja 7).

Tärkkelyksen tilavuusosuuden koesarjoissa käytettiin kuuden minuutin sekoitusaikaa. Fazerin heikosta A-jauhosta tehdyn taikinan tiheys näissä kokeissa oli alhaisempi kuin synteettisten taikinoiden tiheys. A-jauhossa oli 10 % proteiinia kuiva-aineesta, joten gluteeniproteiinien osuuden voitiin päätellä olevan kuiva-aineesta n. 8 % (Goesaert ym. 2005, 18). Siten jopa leivontalaadultaan heikot vehnäjauhot tuottivat synteettisiä kevyemmän taikinan. Tästä voitiin päätellä, että synteettisistä taikinoista puuttuvilla mikrokomponenteilla on ilman sitomista parantava vaikutus.

Mitä enemmän jauho sisälsi tärkkelystä, sitä vähemmän siinä oli gluteenia ja sitä alhaisempi oli jauhон vedensidontakyky (kuva 31). Tämä tulos vastaa yleistä käsitystä gluteenin merkittävästä roolista vehnätaikinan

veden sitojana ja taikinan muodostajana. Fazerin heikkojen A-jauhojen (10,0 % proteiinia kuiva-aineesta; taulukko 1) vedensidontakyky on 60,1 %, mikä vastasi hyvin tässä mitattua synteettisten jauhojen (joissa oli 94 tilavuus-% tärkkelystä ja n. 9 % gluteenia kuiva-aineesta) vedensidontakykyä (n. 60 %, kuva 31). Vahvojen B-jauhojen (12,4 % proteiinia kuiva-aineesta; taulukko 1) vedensidontakyky oli 63,6 %, mikä oli huomattavasti korkeampi kuin saman verran gluteenia sisältävän synteettisen jauhoseoksen vedensidontakyky (tärkkelystä n. 93 tilavuus-%, jolloin vedensidontakyky oli n. 60,2 %). Zelenyluku kertoo, että vahvan B-jauhon sitkon laatu on heikkoa A-jauhoa parempi. Kun jauhoissa on yli 0,6 % tuhkaa, Zelenyluvun määrittäminen ei ole luotettava (Stear 1990, 313). Vaikka sekä A- että B- jauhoissa tuhkan osuus oli tätä Zelenyluvun luotettavuusrajaa suurempi, voitiin hyvän vedensidontakyvyn päätellä olevan riippuvainen enemmän sitkon laadusta kuin sen määrästä.

Tärkkelysosuuden kasvamisen aiheuttama vähäinen konsistenssin aleneminen (kuva 32) viittasi siihen, että myös taikinan konsistenssin määrä nimenomaan gluteenin laatu; ei niinkään sen määrä. Mielenkiintoista oli, että taikinan konsistenssi ei jatkanut laskuaan tärkkelyksen tilavuusosuuden ollessa yli 90 %. Aiemmin on saatu vaihtelevia tuloksia elastomeeriverkoston täytepartikkeleiden määrän vaikutuksesta materiaalin konsistenssiin (Manski ym. 2007, 82). Yhteneväisyytenä tärkkelysosuuden konsistenssi kuvaajien välillä nähtiin kuvissa 32 ja 42 (liite 9) ympyröidyt, poikkeavat tulokset pienimpien tärkkelysosuuksien kohdalla. Nämä poikkeavat tulokset häiritsivät jo muutenkin vähäistä tulosten lineaarisuutta. Oletettavasti kyseessä oli liian korkean gluteenipitoisuuden ja gluteenin taikinaan sitoman ilman aiheuttama poikkeava tulos.

Tärkkelyksen massa- ja tilavuusosuuden yhteys oli lineaarisempi pyrittäessä optimikonsistenssiin kuin käytettäessä vakio veden määrää (kuvat 26 ja 33). Tämän voitiin olettaa johtuvan ilman määrän suuresta vaihtelusta taikinoissa, joissa veden määrä oli vakio, mutta gluteenin osuus vaihteli. Veden määrän pysyessä vakiona (kuva 34) kevyet, runsaasti gluteenia sisältävät taikinat kärsivät veden puutteesta, kun taas raskaissa taikinoissa oli vettä liikaa optimikonsistenssiin nähden. Ilmaa sitoutui taikinaan vähemmän kuin tärkkelyksen, gluteenin ja veden suhteiden ollessa taikinalle ihanteelliset. Tämä toisaalta nopeutti tiheyden nousua kevyissä taikinoissa; toisaalta hidasti sitä raskaissa taikinoissa. Näiden seikkojen vuoksi kuvaajan kulmakerroin pysyi suhteellisen vakiona. Toisaalta liiallinen vesi saattoi aiheuttaa tärkkelysrikkaiden, raskaiden taikinoiden tarttuvuutta ja sitä kautta määrittämisvirheitä.

Poikkeavan havainnon tärkkelysosuuden vaikutuksesta taikinan tiheyteen (kuva 36) aiheutti todennäköisesti runsaan gluteenin ansiosta taikinaan sekoittunut ilma. On yleistä, että ilman sekoittuminen tutkittavaan materiaaliin vähentää tulosten lineaarisuutta, kun tehdään suuria muodonmuutoksia aiheuttavia kokeita elastomeeriverkostoilla ilman täytepartikkeleita tai kun partikkeleita on vähän (Manski ym. 2007, 80). Massaosuuden kuvaajassa (kuva 43, liite 9, korrelaatiokerroin 0,905) vastaavaa poikkeavaa havaintoa ei ollut. Yleisesti tärkkelyksen massaosuudella

todettiin olevan sen tilavuusosuutta lineaarisempi yhteys taikinan reologisten ominaisuuksien kanssa.

Gluteenilla oli suuri vaikutus taikinan vedensidontaan (kuva 37 ja liite 9, kuva 44). Lisäksi vedensidontakyvyn aleneminen tärkkelysosuuden kasvaessa vahvistaa olettamusta, että tärkkelysjiyvät eivät rikkoutuneet tai päästäneet sisään vettä merkittävässä määrin taikinan valmistuksen aikana. Rikkoutuneet tärkkelysjiyvät sitovat vettä noin neljä kertaa enemmän kuin ehjät jyvät (Cauvain & Young 1998, 269).

Tärkkelys-gluteenisuhteen vaikutuksista taikinan käyttäytymiseen on saatu ristiriitaisia tuloksia. Tärkkelysosuuden kasvun on todettu vähentävän taikinan lineaarista käytöstä, mutta on saatu myös päinvastaisia tuloksia. (Faridi & Faubion 1989, 61). Syy saattaa löytyä esim. eri tutkimuksissa käytetyistä tärkkelysosuuksista. Käytettäessä hyvin alhaisia pitoisuuksia tärkkelyksen osuuden kasvaminen saattaa vaikuttaa taikinaan eri tavoin kuin tutkittaessa tärkkelyksen vaikutusta sen osuuden ollessa suuri.

Gluteeni-tärkkelystaikinat käyttäytyvät lineaarisemmin kuin oikeasta vehnäjauhosta valmistetut taikinat. Kaikkein vähiten lineaarisesti käyttäytyvät pelkästä vedestä ja gluteenista valmistetut ”taikinat”. (Faridi & Faubion 1989, 59). Näin ollen myös liian suuren gluteeniosuuden voidaan olettaa vähentävän taikinan lineaarista käyttäytymistä. Tässä tutkimuksessa syntetettisen taikinan todettiin toimivan lineaarisimmin tärkkelyksen tilavuusosuuden ollessa suuri.

Arkhimedeen lakiin perustuva menetelmä toimi tässä tutkimuksessa hyvin ja sitä voidaan käyttää jatkossakin kiinteiden materiaalien tilavuuden ja tiheyden määrittämiseen. Tärkkelyksen tms. materiaalin taikinasta irtoamisen ehkäisemiseksi menetelmää voi kehittää suihkauttamalla tutkittavan materiaalin pintaan jotain inertiksi todettua kemikaalia. Pyknometrin käyttäminen tärkkelyksen tilavuusosuuden määrittämiseksi on toimiva ratkaisu. Jauhojen vedensidontakyvyn heikkeneminen tärkkelysosuuden kasvaessa kuitenkin osoitti, että tärkkelysjiyvät eivät vahingoittuneet taikinan teosta aiheutuneen mekaanisen rasituksen vaikutuksesta.

9. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET

Pyknometrin todettiin soveltuvan tärkkelyksen tilavuusosuuden määrittämiseen. Myös opinnäytetyön aikana kehitetyn Arkhimedeen lakiin perustuvan menetelmän todettiin toimivan taikinan tiheyden määrittämisessä hyvin. Pyknometrin avulla todistettiin, että tärkkelyksen tilavuus ei muutu taikinanteon aikana. Myöskään gluteenin ja veden tilavuudet eivät muutu. Arkhimedeen lakiin perustuvan menetelmän avulla voitiin määrittää taikinan tiheys. Kun näin määritettyä tiheyttä verrattiin taikinan laskettuun, teoreettiseen tiheyteen, jossa ilman tilavuus jätettiin huomioimatta, saatiin käsitys taikinaan sekoituksen aikana sitoutuvan ilman määrästä.

Tärkkelysosuuden kasvulla oli vehnätaikinan tiheyttä nostava ja toisaalta vedensidontakykyä ja konsistenssia alentava vaikutus. Mitä enemmän sekoitettavassa taikinassa oli gluteenia, sitä enemmän siihen sitoutui ilmaa ja

vettä. Ilman lisääntymisellä voidaan olettaa olevan lopputuotteen maittavautta parantava vaikutus. Lisäksi vesi ja ilma alentavat leivän raaka-ainekustannuksia ja parantavat näin leipomon katetta. Liian suuri gluteeniosuus kuiva-aineesta, yli 20 %, aiheutti kuitenkin epälineaarisuutta taikinan reologiseen käyttäytymiseen. Tällöin lopputuotteidenkin laadunvaihtelu lisääntynee. Tärkkelyksen massaosuudella todettiin olevan sen tilavuusosuutta lineaarisempi vaikutus taikinan reologisiin ominaisuuksiin. Tästä voitiin päätellä, että taikinaan sekoittuvan ilman tilavuus heikensi tärkkelyksen tilavuusosuuden perusteella tehdyissä tarkasteluissa saavutettujen tulosten lineaarisuutta.

Vesiosuuden kasvulla todettiin olevan taikinan konsistenssia alentava vaikutus. Veden määrällä oli merkittävä vaikutus vehnätaikinan reologiaan vahvoista, paljon hyvälaatuista gluteenia sisältävistä jauhoista leivottaessa. Liika vesi teki taikinasta raskaan. Heikkolaatuisista jauhoista valmistettu taikina oli raskas eikä veden määrällä ollut merkittävää vaikutusta heikosta jauhosta valmistetun taikinan reologiseen laatuun. Heikon jauhon sekoituskestävyys oli parhaimmillaan kosteissa, löysissä taikinoissa.

Erityyppisten jauhojen antamien tulosten erot kertovat siitä, että proteiinipitoisuudeltaan ja – laadultaan vahvempi vehnäjauho on helpompaa käsitellä leipää leivottaessa. Korkealaatuisen jauhon ominaisuudet eivät muutu äkillisesti, vaan reologisiin muutoksiin vaaditaan todella paljon optimitilanteesta poikkeavia toimenpiteitä. Heikkoa jauhoa ei kannata käyttää vehnäleivän leivontaan, vaan se sopii esim. keksien yms. sellaisten tuotteiden valmistukseen, joihin ei haluta sitkoa.

Tämän tutkimuksen jatkoksi on helppo määritellä useita mielenkiintoisia jatkotutkimusaiheita. Vastaavilla raaka-ainesuhteilla ja menetelmillä valmistettuihin taikinoihin voisi lisätä hiivaa, suolaa tai molempia ja tutkia näiden taikinoiden reologisten ominaisuuksien eroja tämän tutkimuksen tuloksiin. Hiivalla nostatettuja taikinoita voisi paistaa, jolloin päästäisiin tutkimaan taikinan ja leivän ominaisuuksien yhteyksiä.

Vahvojen vehnäjauhojen sekoituskestävyyttä voisi tarkastella tätä tutkimusta suuremmilla vesiosuuksilla. Näin saataisiin selville, paraneeko myös vahvojen vehnäjauhojen sekoituskestävyys, kun taikinan vesiosuus on riittävän suuri.

Tärkkelyksen ja gluteenin yhteistoimintaa tutkittaessa voisi sekoittaa veden gluteenia ja inerttiä materiaalia, kuten tärkkelysjyvästen kokoisia lasihelmiä. Näin voitaisiin selvittää tärkkelyksen ja gluteenin yhteistyötä taikinassa. Antoisaa saattaisi olla myös vehnätärkkelyksen korvaaminen esim. perunätärkkelyksellä. Perunätärkkelysjyvänen on muodoltaan pyöreä ja suurempi kuin vehnätärkkelysjyvänen. Perunätärkkelyksen kaikki jyväset ovat likipitään samankokoisia ja – muotoisia, jolloin ei voida erottaa α - tai β -tärkkelysjyväsiä kuten vehnätärkkelyksessä. Tällaisen taikinan, jonka tärkkelys eroaa vehnätärkkelyksestä, reologian voidaan olettaa eroavan tässä tutkimuksessa valmistettujen taikinoiden reologiasta.

Gluteenista ja tärkkelyksestä valmistettu synteettinen jauhoseos teki mahdolliseksi tärkkelysosuuden tarkan määrittämisen taikinasta ja sopii siten hyvin tutkimustarkoitukseen. Myös jauhojen mikrokomponenttien määrän ja laadun aiheuttamat virhemahdollisuudet saatiin poistettua käyttämällä vain tärkkelystä ja gluteenia. Kuitenkin useissa tutkimuksissa saadaan tärkkelyksen määrä varmasti riittävän tarkasti selville määrittämällä jauhojen gluteenin, tuhkan ja veden määrät ja vähentämällä näiden summa jauhojen kokonaismassasta. Oikeita vehnä jauhoja käytettäessä kaikki mikrokomponentit ovat mukana taikinassa ja siten niitä käyttämällä saadaan autenttiset tutkimustulokset.

LÄHTEET

Aittomäki, Esa, Eerikäinen, Tero, Leisola, Matti, Ojamo, Heikki, Suominen, Ilari, von Weymarn, Niklas. 2002. Bioprosessitekniikka. Porvoo: WSOY.

American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved Methods of the AACC, 10th ed. Methods 44 -15 A, 54-21. The Association: St. Paul, MN, USA.

Cauvain, Stanley P. and Young, Linda S. 1998. Technology of breadmaking. First edition. Germany: Thomson Science.

Copeland, Les, Blazek, Jaroslav, Salman, Hayfa & Chiming Tan, Mary. 2008. Form and functionality of starch. Food Hydrocolloids. August 2009, 1527-1534.

Dickinson, Eric. 1992. An introduction to food colloids. New York: Oxford University Press.

Dobraszczyk, B.J. & Morgenstern, M.P. 2003. Rheology and the bread-making process. Journal of Cereal Science. November 2003, 229-245.

Eliasson, Ann-Charlotte. 2004. Starch in food. Structure, function and applications. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.

Faridi, Hamed A. and Faubion, Jon M. 1989. Dough rheology and baked product texture. New York: Van Nostrand Reinhold.

Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W.S., Courtin, C.M., Gebruers, K. & Delcour, J.A. 2004. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. Trends in Food Science & Technology. 16/2005, 12-30.

Handbook of chemistry and physics. 1985 -1986. A ready-reference book of chemical and physical data. 66th edition. Florida: CRC Press Inc.

Holopainen, Martti ja Pulkkinen, Pekka. 2002. Tilastolliset menetelmät. Helsinki: WSOY.

Hoseney, Carl R. 1994. Principles of cereal science and technology. Second edition. St Paul, Minnesota, USA: The American Association of Cereal Chemists, Inc.

Inkinen, Pentti ja Tuohi, Jukka. 2006. Momentti 1. Insinöörifysiikka. 4. painos. Keuruu: Otava.

Lefebvre, Jacques. 2008. Nonlinear, time-dependent shear flow behaviour, and shear-induced effects in wheat flour dough rheology. Journal of Cereal Science. 49/2009, 262-271.

Letang, C., Piau, M. & Verdier, C. 1999. Characterization of wheat flour-water doughs. Part 1: Rheometry and microstructure. *Journal of Food Engineering*. 41/1999, 121-132.

Manski, J. M., Kretzers, I. M. J., van Brenk, S., van der Goot, A. J. & Boom, R. M. 2007. Influence of dispersed particles on small and large deformation properties of concentrated caseinate composites. *Food Hydrocolloids*. 21/2007, 73-84.

Myllärinen, Päivi. 2002. Starches – from granules to novel applications. VTT publications 473. Espoo: Otamedia Oy.

Myllärinen, Päivi, Autio, Karin, Schulman, Alan H. and Poutanen, Kaisa. 1998. Heat-induced structural changes of small and large barley starch granules. *Journal of the Institute of Brewing*. July 1998, 343-349.

Seppälä, Jukka. 1997. Polymeeriteknologian perusteet. Helsinki: Otatieto Oy.

Stear, Charles A. 1990. Handbook of breadmaking technology. New York: Elsevier Science Publishers Ltd.

Windhab, Erich J. 2000. Fluid immobilization –a structure-related key mechanism for the viscous flow behavior of concentrated suspension systems. *Applied Rheology*. May / June 2000, 134-144.

Wrigley, Colin, Corke, Harold & Walker, Charles E. 2004. Encyclopedia of grain science. First edition. Oxford, UK: Academic Press.

Airaksinen, Tuomas. 2006. Numeerista virtauslaskentaa hila-Boltzmann -simulointimenetelmällä. Jyväskylän yliopisto. Fysiikan laitos. Pro gradu – tutkielma. Viitattu 27.8.2009. <http://users.jyu.fi/~tuma/home/files/sci/gradu.pdf>

Korhonen, Ari ja Sarkkinen, Hannu. n.d. Työ 1: Kappaleen tiheyden määrittäminen. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, automaatio- ja tietotekniikan koulutusohjelmat. Viitattu 13.8.2009. <http://www.oamk.fi/~hannus/opetus/lab/Tyo1.pdf>

Larkiola, Jari. 2006. Metallien muovaus. VTT tuotteet ja tuotanto. Viitattu 11.8.2009. http://me.oulu.fi/uploads/media/Met_muovaus_opisk_osa1.pdf

Quillin, M. L. & Matthews, B. W. 2000. Accurate calculation of the density of proteins. *Acta crystallographica section D. Biological crystallography*. Volume 56, part 7. Viitattu 19.8.2009. <http://scripts.iucr.org/cgi-bin/paper?S090744490000679X>

Seppänen, Jouko. Klassisen fysiikan oppihistoria. Luonnonfilosofiasta modernin fysiikan kynnykselle. Viitattu 1.8.2009. http://www.norssi.helsinki.fi/Home/fyskem/Fysiikka/Historia/Klassinen%20fysiikka/09_Voima- ja_liikeoppi.html

Teknillinen korkeakoulu, insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta.
Englanti-suomi ja suomi-englanti materiaali- ja hitsaustekniikan sanasto.
Viitattu 1.8.2009. https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/kon-67.3100/materiaali/materiaali- ja_hitsaustekniikan_sanasto.pdf

Tiivistelmä polymeeritekniikasta. n.d. Viitattu 30.8.2009.
http://inkubio.tky.fi/system/files/pote_tiivistelma.pdf

Viitanen, Jorma. 2008. Polymeerien vaikutukset paperin z-suuntaiseen lujuuteen. Tampereen ammattikorkeakoulu. Paperitekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 11.8.2009.
<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/38922/Viitanen.Jorma.pdf?sequence=1>

LIITE 1
GLUTEENIN JA TÄRKKELYKSEN PUNNITUT MÄÄRÄT SEKÄ TÄRKKELYKSEN TILAVUUS

punnitut jauhot 26.5.2009

näyte	gluteeni (g)	tärkkelys (g)	yht. (g)	kosteus%	jauhoja farinografiin (g)
1	17,99	182,01	200,00	11,46	48,59
2	24,01	175,99	200,00	11,31	48,48
3	30,01	170,03	200,04	11,17	48,42
4	45,01	205,00	250,01	11,02	48,32
5	52,50	197,52	250,02	10,87	48,26

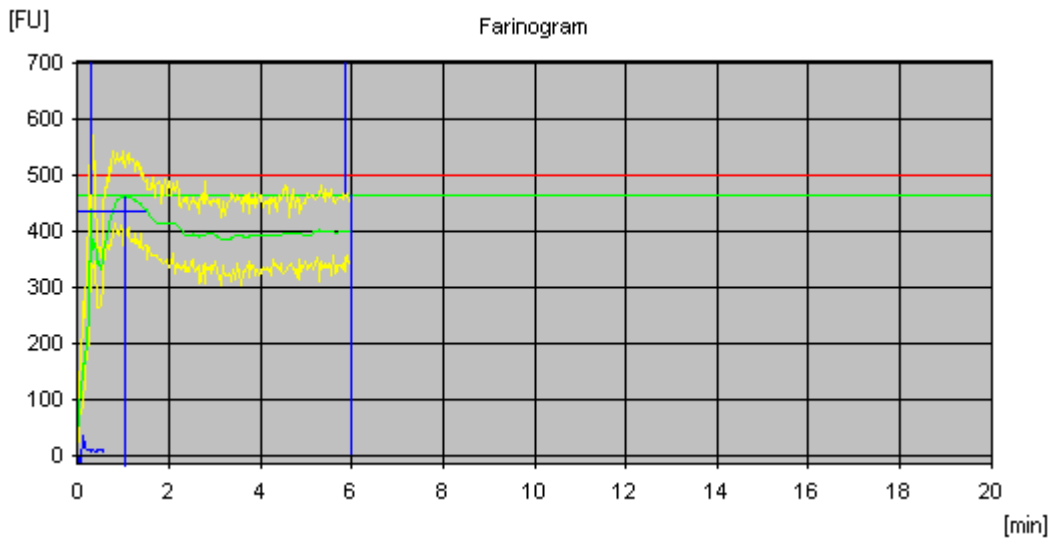
punnitut jauhot 3.6.2009

näyte	gluteeni (g)	tärkkelys (g)	yht. (g)	kosteus%	jauhoja farinografiin (g)
1	18,02	182,02	200,04	11,46	48,59
2	24,01	175,99	200,00	11,31	48,48
3	30,01	170,02	200,03	11,17	48,42
4	36,02	163,98	200,00	11,02	48,32
5	52,48	197,50	249,98	10,87	48,26

TÄRKKELYKSEN TILAVUUDEN MUUTOKSEN TUTKIMINEN PYKNOMETRILLÄ

näyte	m p(g)	V p(cm ³)	m t(g)	p+t+v(g)	V t(cm ³)	V t(cm ³)	m p+t+v 3 h kul.	V v 3 h kul.(cm ³)	V t 3 h kul.(cm ³)	V t muutos %
1	20,584	25,040	3,021	46,605	23,046	1,994	46,598	23,039	2,001	0,337
2	20,584	25,040	4,575	47,127	22,012	3,028	47,129	22,014	3,026	-0,063
3	20,584	25,040	3,705	46,826	22,582	2,458	46,830	22,586	2,454	-0,167

FARINOGRAMMIT VESIMÄÄRÄN VAIHDELLESSA



Evaluation of: gl21+ta79-1

Date: 28.5.2009 9:25:54

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 10,9 %

Consistency: 464 FU with waterabsorption: 62,3 %

Waterabsorption: 61,4 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 57,9 % (corrected to 14,0%)

Development time: 1,0 min

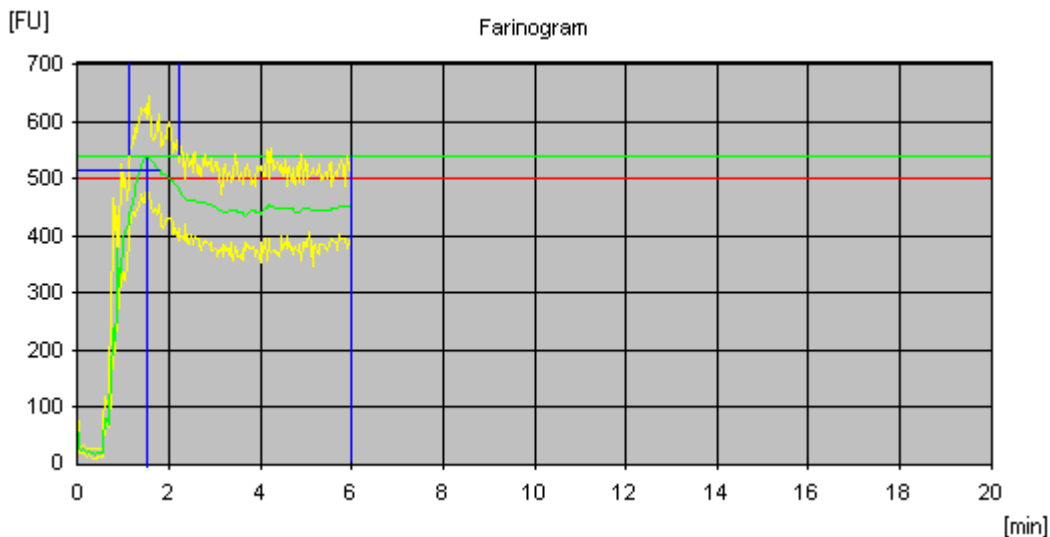
Stability: 5,6 min

Tolerance Index (MTI): 464 FU

Time to breakdown: 1,5 min

Farinograph quality number: 15

Remarks:



Evaluation of: gl21+ta79-2

Date: 28.5.2009 9:59:30

Method: AACC

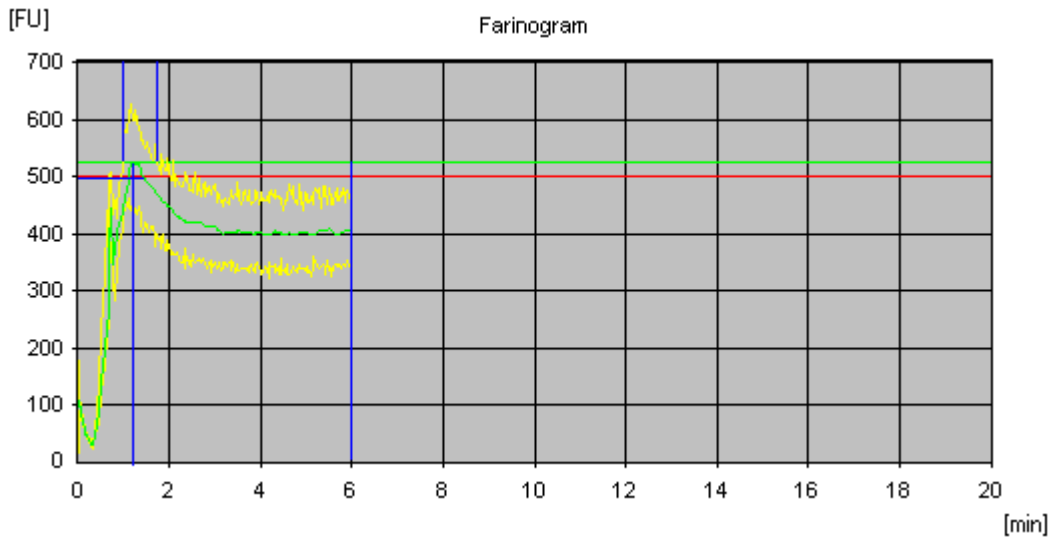
Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

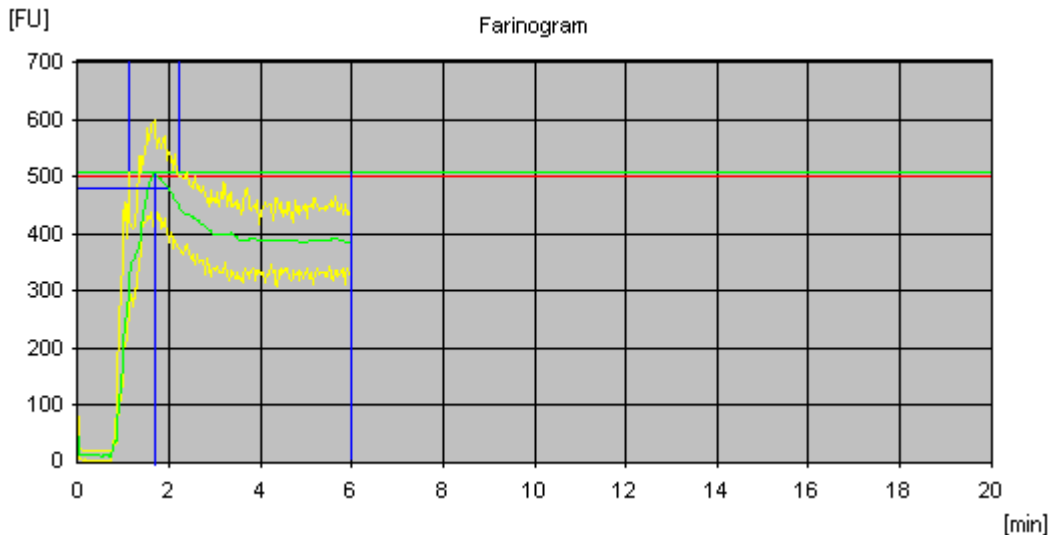
Moisture of flour: 10,9 %

Consistency: 541 FU with waterabsorption: 61,4 %

Waterabsorption: 62,4 % (corrected for 500,0 FU)
 Waterabsorption: 58,9 % (corrected to 14,0%)
 Development time: 1,5 min
 Stability: 1,1 min
 Tolerance Index (MTI): 541 FU
 Time to breakdown: 1,8 min
 Farinograph quality number: 18
 Remarks:



Evaluation of: gl18+ta88-1
 Date: 28.5.2009 10:23:17
 Method: AACC
 Operator: Kirsi
 Mixer: 50 g
 Moisture of flour: 11,0 %
 Consistency: 526 FU with waterabsorption: 61,1 %
 Waterabsorption: 61,7 % (corrected for 500,0 FU)
 Waterabsorption: 58,3 % (corrected to 14,0%)
 Development time: 1,2 min
 Stability: 0,7 min
 Tolerance Index (MTI): 526 FU
 Time to breakdown: 1,5 min
 Farinograph quality number: 15
 Remarks:



Evaluation of: koesarjagl18+ta82-2

Date: 28.5.2009 12:24:21

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,0 %

Consistency: 508 FU with waterabsorption: 61,7 %

Waterabsorption: 61,9 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 58,5 % (corrected to 14,0%)

Development time: 1,7 min

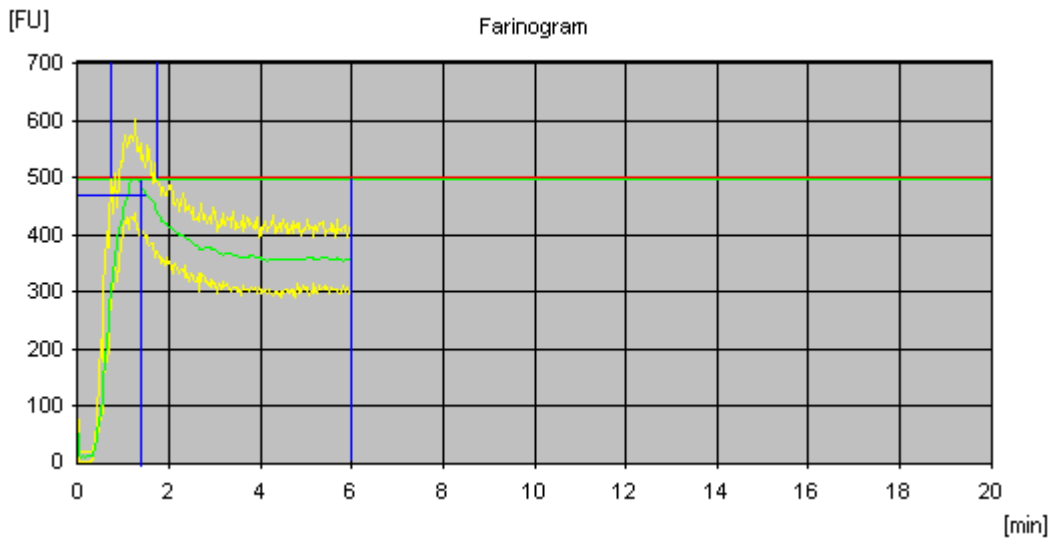
Stability: 1,1 min

Tolerance Index (MTI): 508 FU

Time to breakdown: 2,0 min

Farinograph quality number: 20

Remarks:



Evaluation of: koesarjagl15ta85

Date: 28.5.2009 13:08:56

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,2 %

Consistency: 496 FU with waterabsorption: 60,9 %

Waterabsorption: 60,8 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 57,6 % (corrected to 14,0%)

Development time: 1,4 min

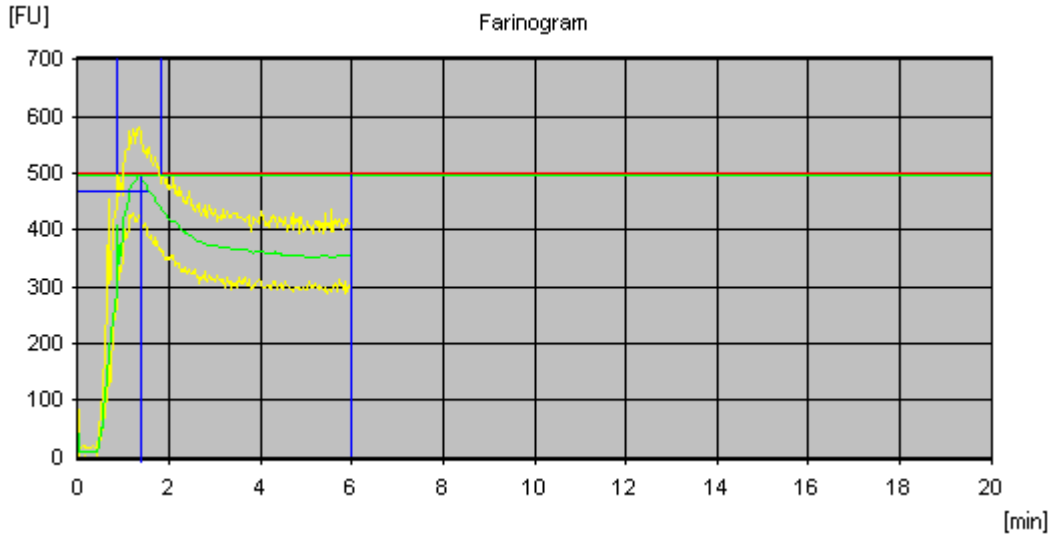
Stability: 1,0 min

Tolerance Index (MTI): 496 FU

Time to breakdown: 1,5 min

Farinograph quality number: 15

Remarks:



Evaluation of: koesarjag115+ta85-2

Date: 28.5.2009 14:10:53

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,2 %

Consistency: 496 FU with waterabsorption: 60,8 %

Waterabsorption: 60,7 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 57,5 % (corrected to 14,0%)

Development time: 1,4 min

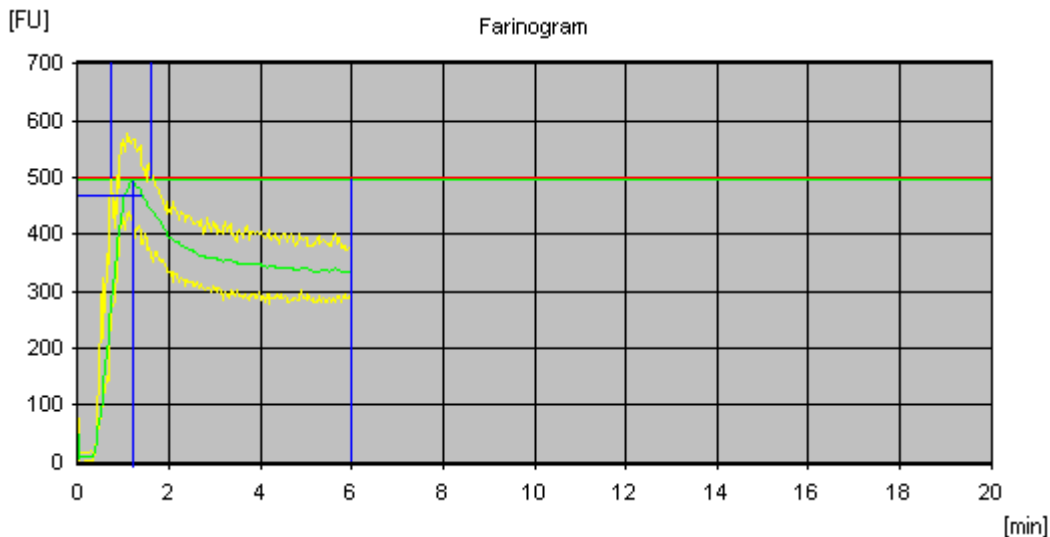
Stability: 0,9 min

Tolerance Index (MTI): 496 FU

Time to breakdown: 1,6 min

Farinograph quality number: 16

Remarks:



Evaluation of: koesarjag112+ta88-1

Date: 29.5.2009 10:36:10

Method: AACC

Operator: Kirsi

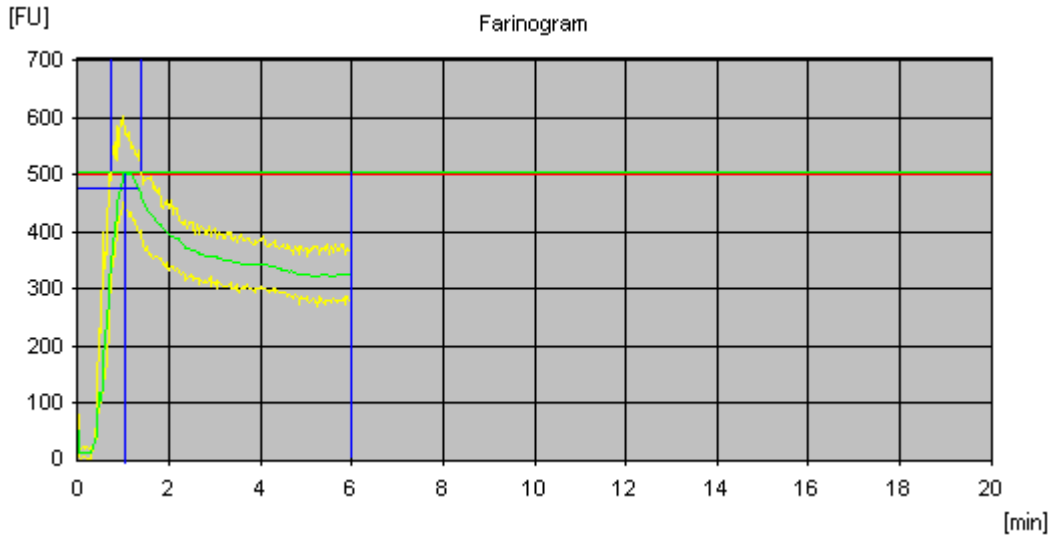
Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,3 %

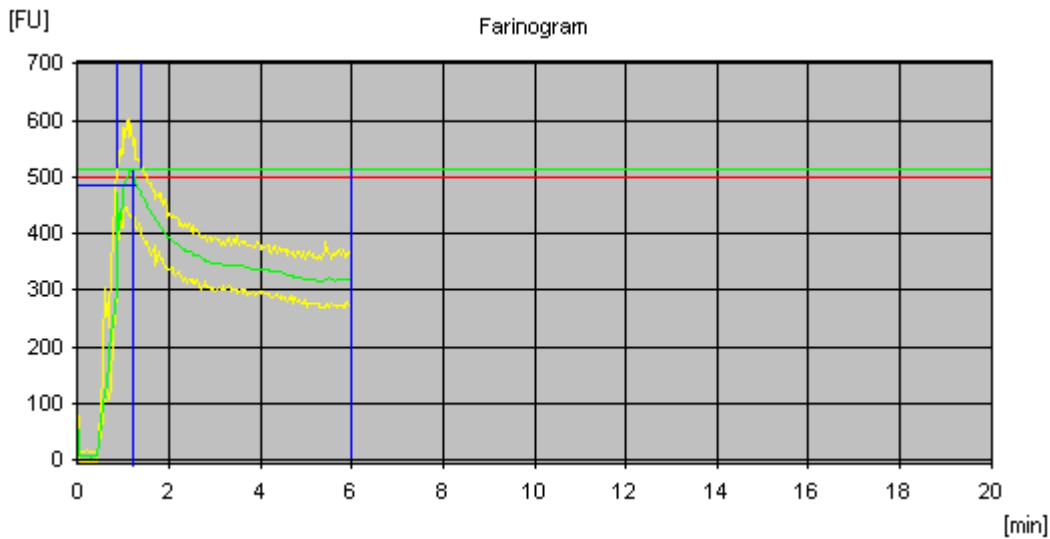
Consistency: 496 FU with waterabsorption: 60,2 %

Waterabsorption: 60,1 % (corrected for 500,0 FU)

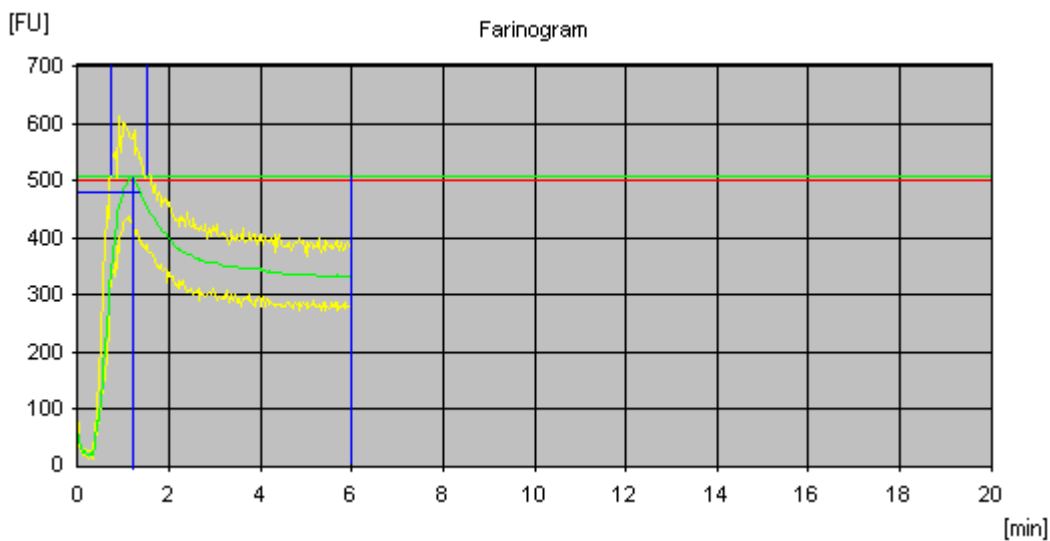
Waterabsorption: 57,0 % (corrected to 14,0%)
 Development time: 1,2 min
 Stability: 0,9 min
 Tolerance Index (MTI): 496 FU
 Time to breakdown: 1,4 min
 Farinograph quality number: 14
 Remarks:



Evaluation of: koesarjagl9+ta91-1
 Date: 29.5.2009 11:56:20
 Method: AACC
 Operator: Kirsi
 Mixer: 50 g
 Moisture of flour: 11,5 %
 Consistency: 505 FU with waterabsorption: 59,8 %
 Waterabsorption: 59,9 % (corrected for 500,0 FU)
 Waterabsorption: 57,1 % (corrected to 14,0%)
 Development time: 1,0 min
 Stability: 0,7 min
 Tolerance Index (MTI): 505 FU
 Time to breakdown: 1,3 min
 Farinograph quality number: 13
 Remarks:



Evaluation of: koesarjag19+ta91-2
 Date: 29.5.2009 14:03:22
 Method: AACC
 Operator: Kirsi
 Mixer: 50 g
 Moisture of flour: 11,5 %
 Consistency: 513 FU with waterabsorption: 59,8 %
 Waterabsorption: 60,1 % (corrected for 500,0 FU)
 Waterabsorption: 57,3 % (corrected to 14,0%)
 Development time: 1,2 min
 Stability: 0,5 min
 Tolerance Index (MTI): 513 FU
 Time to breakdown: 1,3 min
 Farinograph quality number: 13
 Remarks:



Evaluation of: koesarjag112+ta88-2
 Date: 29.5.2009 14:37:25
 Method: AACC
 Operator: Kirsi
 Mixer: 50 g
 Moisture of flour: 11,3 %
 Consistency: 509 FU with waterabsorption: 60,1 %
 Waterabsorption: 60,3 % (corrected for 500,0 FU)
 Waterabsorption: 57,2 % (corrected to 14,0%)
 Development time: 1,2 min
 Stability: 0,8 min
 Tolerance Index (MTI): 509 FU
 Time to breakdown: 1,4 min
 Farinograph quality number: 14
 Remarks:

FARINOGRAMMIT VESIMÄÄRÄN PYSYESSÄ VAKIONA

Evaluation of: vakiovesisarja4.6.9gl+91ta-1

Date: 4.6.2009 12:31:46

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,5 %

Consistency: 469 FU with waterabsorption: 61,0 %

Waterabsorption: 60,2 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 57,4 % (corrected to 14,0%)

Development time: 0,9 min

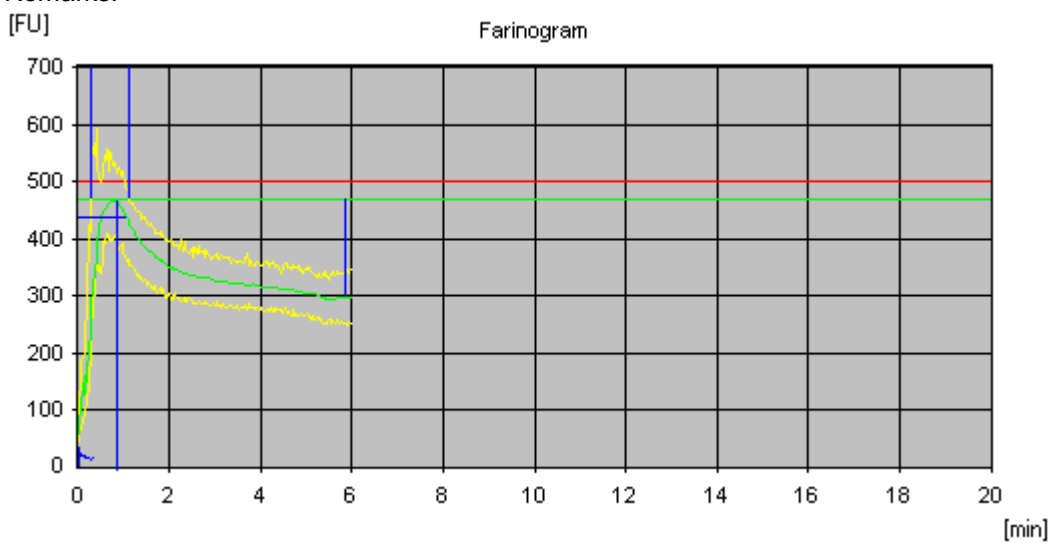
Stability: 0,8 min

Tolerance Index (MTI): 172 FU

Time to breakdown: 1,1 min

Farinograph quality number: 11

Remarks:



Evaluation of: vakiovesisarja4.6.12gl+88ta-1

Date: 4.6.2009 12:47:52

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,3 %

Consistency: 502 FU with waterabsorption: 61,0 %

Waterabsorption: 61,0 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 57,9 % (corrected to 14,0%)

Development time: 0,7 min

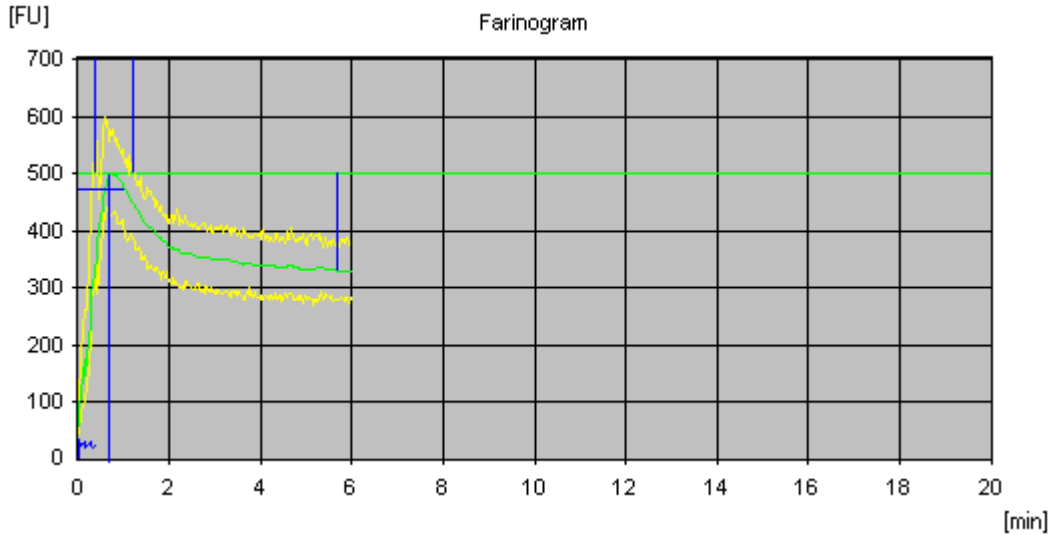
Stability: 0,8 min

Tolerance Index (MTI): 172 FU

Time to breakdown: 1,0 min

Farinograph quality number: 10

Remarks:



Evaluation of: vakiovesisarja4.6.12gl+88ta-2

Date: 4.6.2009 13:01:06

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,3 %

Consistency: 499 FU with waterabsorption: 61,0 %

Waterabsorption: 61,0 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 57,9 % (corrected to 14,0%)

Development time: 0,9 min

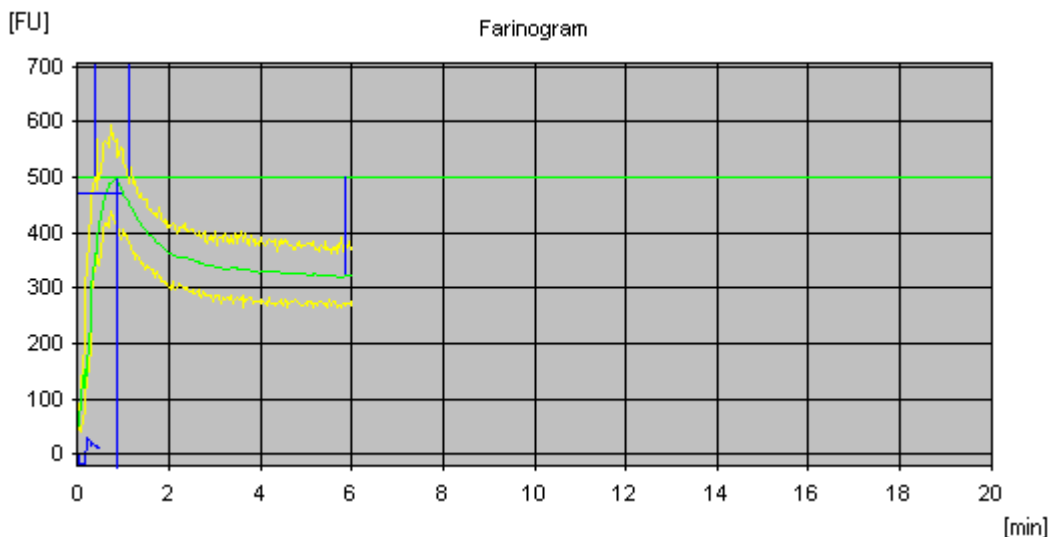
Stability: 0,8 min

Tolerance Index (MTI): 177 FU

Time to breakdown: 1,0 min

Farinograph quality number: 10

Remarks:



Evaluation of: vakiovesisarja4.6.15gl+85ta-1

Date: 4.6.2009 13:14:27

Method: AACC

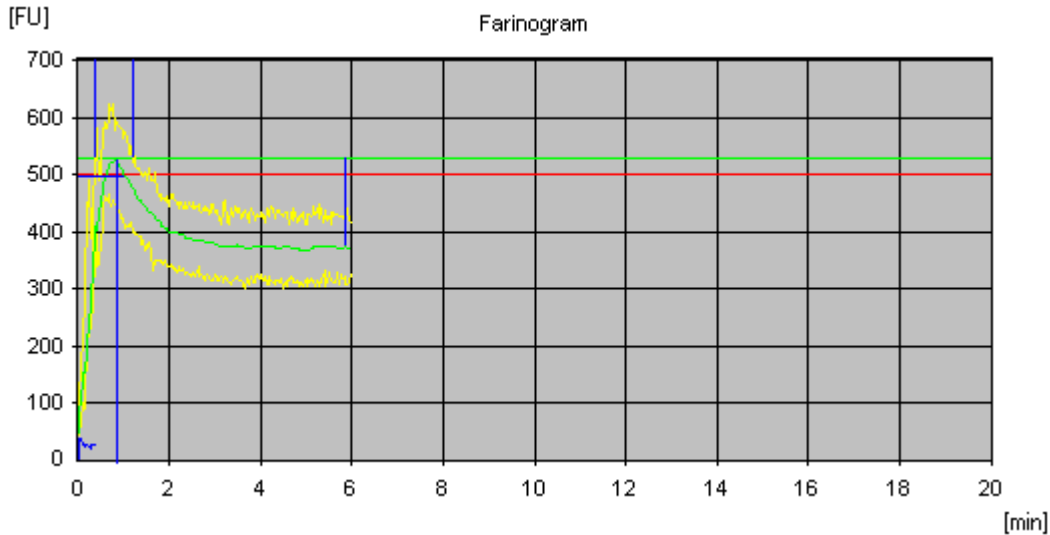
Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,2 %

Consistency: 528 FU with waterabsorption: 61,0 %

Waterabsorption: 61,7 % (corrected for 500,0 FU)
 Waterabsorption: 58,5 % (corrected to 14,0%)
 Development time: 0,9 min
 Stability: 0,8 min
 Tolerance Index (MTI): 155 FU
 Time to breakdown: 1,0 min
 Farinograph quality number: 10
 Remarks:



Evaluation of: vakiovesisarja4.6.15gl+85ta-2

Date: 4.6.2009 13:29:41

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,2 %

Consistency: 532 FU with waterabsorption: 61,0 %

Waterabsorption: 61,8 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 58,6 % (corrected to 14,0%)

Development time: 1,4 min

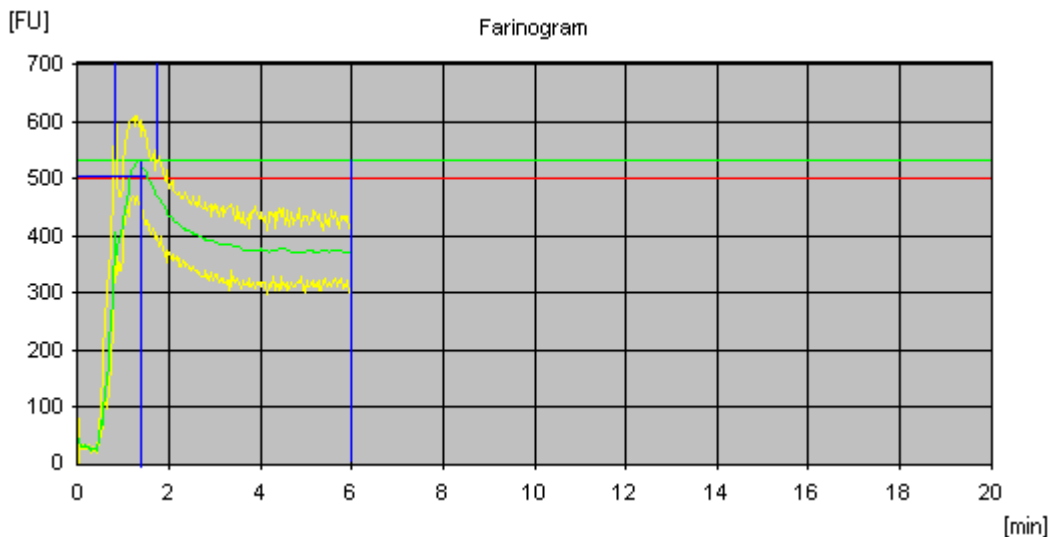
Stability: 0,9 min

Tolerance Index (MTI): 532 FU

Time to breakdown: 1,5 min

Farinograph quality number: 15

Remarks:



Evaluation of: vakiovesisarja4.6.18gl+82ta-1

Date: 4.6.2009 13:42:01

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,0 %

Consistency: 550 FU with waterabsorption: 61,0 %

Waterabsorption: 62,3 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 58,9 % (corrected to 14,0%)

Development time: 1,0 min

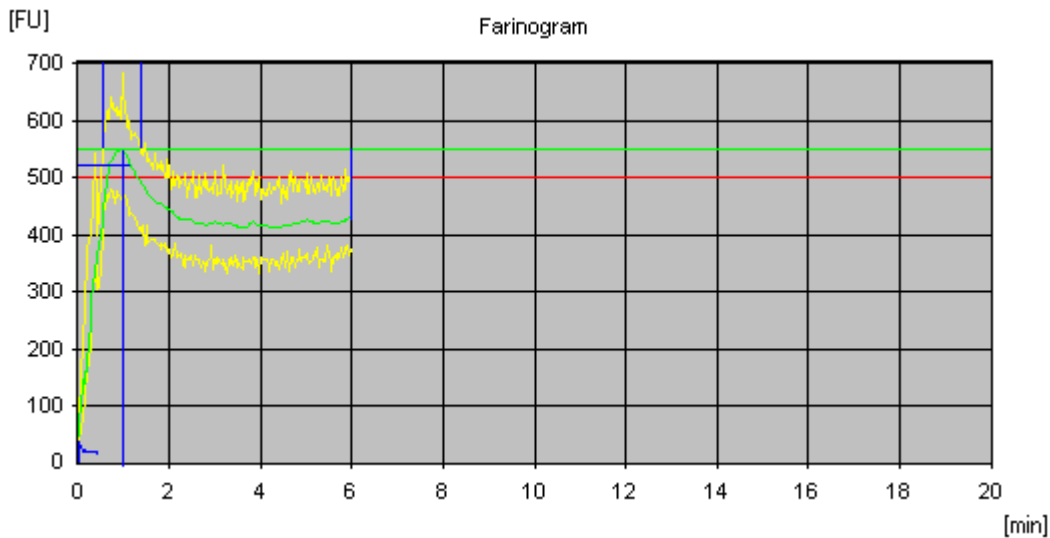
Stability: 0,8 min

Tolerance Index (MTI): 127 FU

Time to breakdown: 1,2 min

Farinograph quality number: 12

Remarks:



Evaluation of: vakiovesisarja4.6.18gl+82ta-2

Date: 4.6.2009 13:57:34

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 11,0 %

Consistency: 565 FU with waterabsorption: 61,0 %

Waterabsorption: 62,6 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 59,2 % (corrected to 14,0%)

Development time: 1,2 min

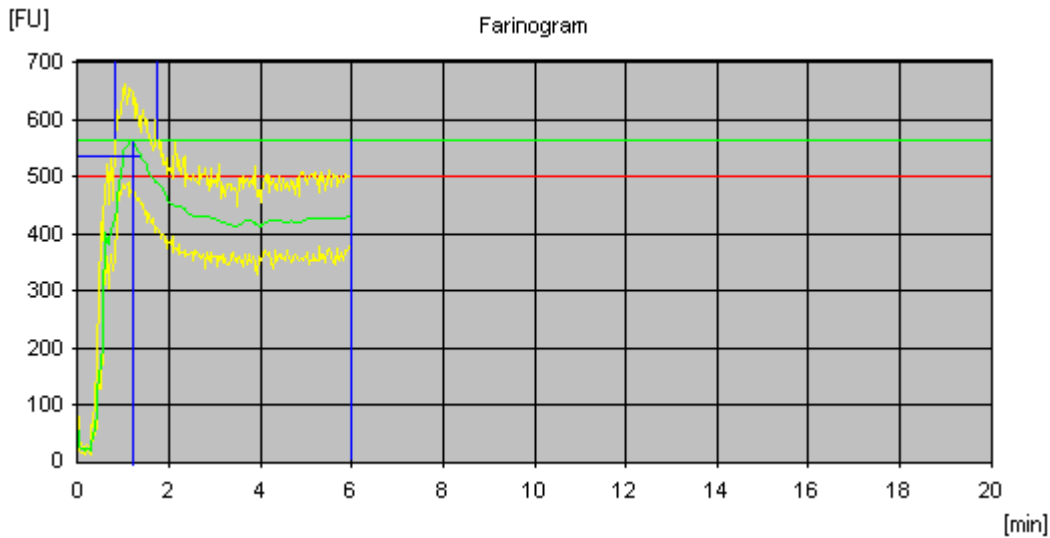
Stability: 0,9 min

Tolerance Index (MTI): 565 FU

Time to breakdown: 1,4 min

Farinograph quality number: 14

Remarks:



Evaluation of: vakiovesisarja4.6.21gl+79ta-1

Date: 4.6.2009 14:10:32

Method: AACC

Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

Moisture of flour: 10,9 %

Consistency: 589 FU with waterabsorption: 61,0 %

Waterabsorption: 63,2 % (corrected for 500,0 FU)

Waterabsorption: 59,7 % (corrected to 14,0%)

Development time: 1,0 min

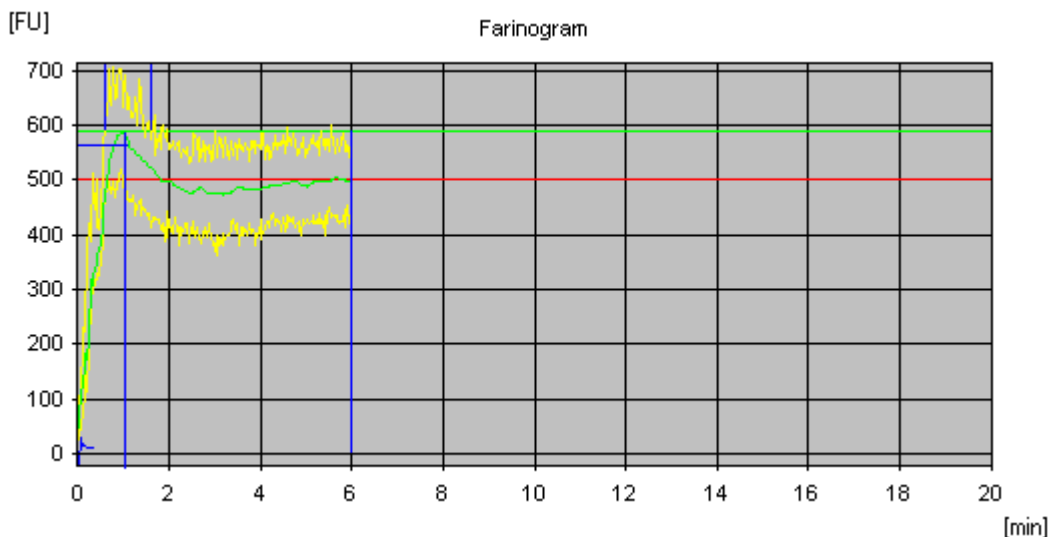
Stability: 1,0 min

Tolerance Index (MTI): 589 FU

Time to breakdown: 1,1 min

Farinograph quality number: 11

Remarks:



Evaluation of: vakiovesisarja4.6.21gl+79ta-2

Date: 4.6.2009 14:23:33

Method: AACC

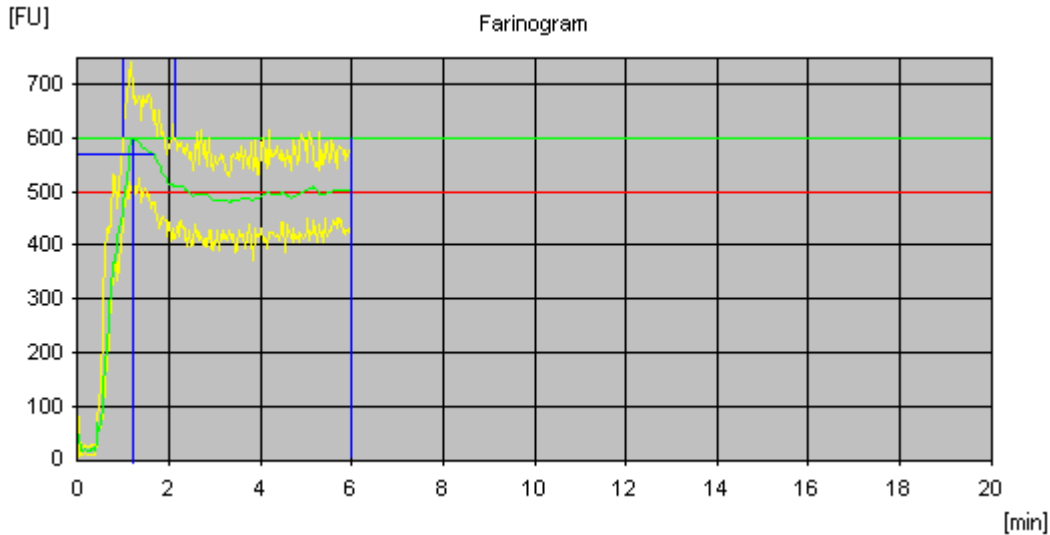
Operator: Kirsi

Mixer: 50 g

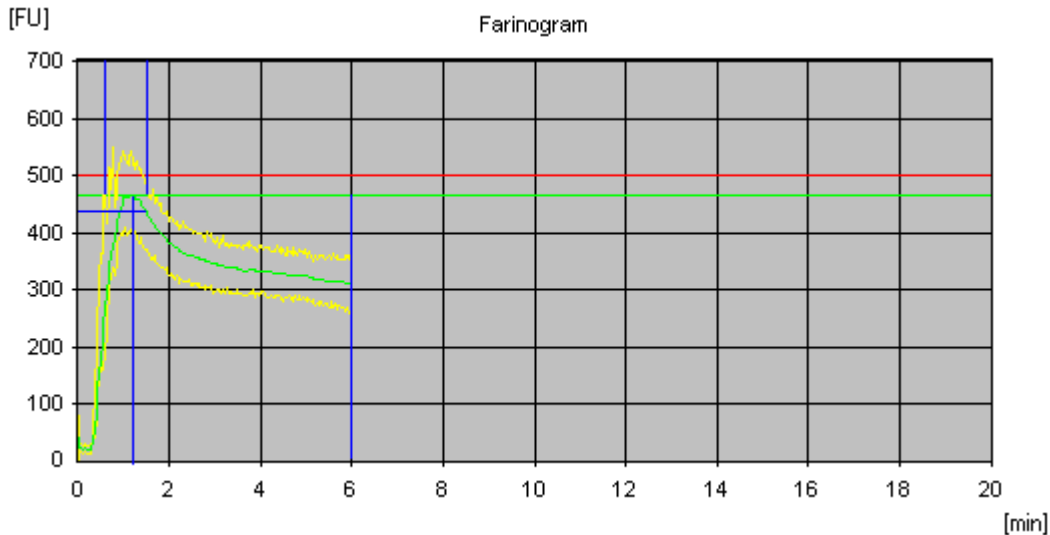
Moisture of flour: 10,9 %

Consistency: 598 FU with waterabsorption: 61,0 %

Waterabsorption: 63,5 % (corrected for 500,0 FU)
 Waterabsorption: 60,0 % (corrected to 14,0%)
 Development time: 1,2 min
 Stability: 1,1 min
 Tolerance Index (MTI): 598 FU
 Time to breakdown: 1,7 min
 Farinograph quality number: 17
 Remarks:



Evaluation of: vakiovesisarja4.6.9gl+91ta-2
 Date: 4.6.2009 14:36:20
 Method: AACC
 Operator: Kirsi
 Mixer: 50 g
 Moisture of flour: 11,5 %
 Consistency: 466 FU with waterabsorption: 61,0 %
 Waterabsorption: 60,1 % (corrected for 500,0 FU)
 Waterabsorption: 57,3 % (corrected to 14,0%)
 Development time: 1,2 min
 Stability: 0,9 min
 Tolerance Index (MTI): 466 FU
 Time to breakdown: 1,5 min
 Farinograph quality number: 15
 Remarks:



LIITE 4
KORRELAATIOMATRIISIT VESIMÄÄRÄN VAIHDELLESSA JA PYSYESSÄ
VAKIONA

Korrelaatiomatriisi vaihtelevalla veden määrällä								
	tärkk. m-% taikinassa	tärkk. V-% taikinassa	taik. tiheys (g/cm ³)	vedensidontakyky (%)	konsistenssi (BU)	kehittymisaika (min)	sek.kestävyys (min)	murtumisaika
tm	1							
tV	0,904915229	1						
tt	0,732778916	0,846405115	1					
vs	-0,935236771	-0,925672643	-0,750594309	1				
ko	0,009724128	-0,215928148	-0,392447199	0,29858846	1			
ke	-0,367211042	-0,244864017	-0,057759098	0,55781043	0,410126958	1		
se	-0,560361497	-0,447884565	-0,334170067	0,278664791	-0,703218868	-0,355193612	1	
mu	-0,70498159	-0,607514916	-0,344584394	0,825522018	0,250383392	0,857482579	0,053440848	1
tm=	tärkkelyksen m-% taikinassa							
tV=	tärkkelyksen V-% taikinassa							
tt=	taikinan tiheys (g/cm ³)							
vs=	vedensidontakyky (%)							
ko=	konsistenssi (BU)							
ke=	kehittymisaika (min)							
se=	sekoituskestävyys (min)							
mu=	murtumisaika (min)							
Valittaessa riskitasoksi 5 %, Pearsonin korrelaatiokertoimen kriittinen arvo kaksisuuntaisella testillä on 0,632.								
Siten itseisarvoltaan sitä isommat arvot kertovat tekijöiden tilastollisesta yhteydestä.								
Arvon ollessa positiivinen tekijällä on positiivinen vaikutus ominaisuuteen, esim. tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutus taikinan tiheyteen.								
Arvon ollessa negatiivinen ominaisuus pienenee tekijän kasvaessa, esim. konsistenssin kasvaessa taikinan tiheys pienenee.								

Korrelaatiomatriisi vakio veden määrällä								
	tärkk. m-% taikinassa	tärkk. V-% taikinassa	taik. tiheys (g/cm ³)	vedensidontakyky (%)	konsistenssi (BU)	keh.aika (min)	sek.kestävyys (min)	murtumisaika (min)
tm	1							
tV	0,749255589	1						
tt	0,905280623	0,737565354	1					
vs	-0,995574442	-0,725644416	-0,909034284	1				
ko	-0,994940272	-0,723987013	-0,910483236	0,999621421	1			
ke	-0,289802167	-0,396126869	-0,470437536	0,308328935	0,307594251	1		
se	-0,648696241	-0,572646562	-0,836333398	0,684362147	0,68906688	0,5625	1	
mu	-0,295437732	-0,205513327	-0,50289898	0,329861836	0,328453081	0,865048209	0,717357052	1
tm=	tärkkelyksen m-% taikinassa							
tV=	tärkkelyksen V-% taikinassa							
tt=	taikinan tiheys (g/cm ³)							
vs=	vedensidontakyky (%)							
ko=	konsistenssi (BU)							
ke=	kehittymisaika (min)							
se=	sekoituskestävyys (min)							
mu=	murtumisaika (min)							
Valittaessa riskitasoksi 5 %, Pearsonin korrelaatiokertoimen kriittinen arvo kaksisuuntaisella testillä on 0,632.								
Siten itseisarvoltaan sitä isommat arvot kertovat tekijöiden tilastollisesta yhteydestä.								
Arvon ollessa positiivinen tekijällä on positiivinen vaikutus ominaisuuteen, esim. tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutus taikinan tiheyteen.								
Arvon ollessa negatiivinen ominaisuus pienenee tekijän kasvaessa, esim. konsistenssin kasvaessa taikinan tiheys pienenee.								

LIITE 5
REGRESSIOYHTEENVETOJEN POHJA-AINEISTOT

Regressioyhteenvetojen pohja-aineisto vesimäärän vaihdella

näyte	tärkk. m-% taiki	tärkk. V-% taik	taik. tiheys (g/cm ³)	vedensidontakyky	konsistenssi	kehittymisaika	sek.kestävyys	murtumisaika	taik teor ti
1;1	56,4	90,8	1,2	59,8	505	1	0,7	1,3	1,138
1;2	56,4	95,1	1,2	59,8	513	1,2	0,5	1,3	1,138
2;1	54,3	94,5	1,2	60,1	496	1,2	0,9	1,4	1,133
2;2	54,3	92,4	1,2	60,1	509	1,2	0,8	1,4	1,132
3;1	52,2	87,8	1,2	60,8	496	1,4	1	1,5	1,127
3;2	52,3	92,2	1,2	60,7	496	1,4	0,9	1,6	1,127
4;1	50,2	80,1	1,19	61,7	526	1,2	0,7	1,5	1,122
4;2	50,1	83,2	1,2	61,9	508	1,7	1,1	2	1,122
5;1	48	79,5	1,19	61,4	464	1	5,6	1,5	1,116
5;2	48,3	76,2	1,18	62,4	541	1,5	1,1	1,8	1,118

Regressioyhteenvetojen pohja-aineisto vesimäärän pysyessä vakiona

näyte	tärkk. m-% taiki	tärkk. V-% taik	taik. tiheys (g/cm ³)	vedensidonta	konsistenssi	kehittymisaika	sek.kestävyys	murtumisaika	teor taik ti
1;1	55,9	89,0	1,20	60,2	469	0,9	0,8	1,1	1,14
1;2	56,0	88,1	1,20	60,1	466	1,2	0,9	1,5	1,14
2;1	54,1	99,3	1,20	61,0	502	0,7	0,8	1,0	1,13
2;2	54,1	86,7	1,20	61,0	499	0,9	0,8	1,0	1,13
3;1	52,2	79,4	1,20	61,7	528	0,9	0,8	1,0	1,13
3;2	52,2	82,8	1,19	61,8	532	1,4	0,9	1,5	1,13
4;1	50,3	81,7	1,19	62,3	550	1,0	0,8	1,2	1,12
4;2	50,3	83,5	1,19	62,6	565	1,2	0,9	1,4	1,12
5;1	48,5	69,9	1,18	63,2	589	1,0	1,0	1,1	1,12
5;2	48,4	78,6	1,18	63,5	598	1,2	1,1	1,7	1,12

REGRESSIOYHTEENVEDOT VESIMÄÄRÄN VAIHDELLESSA

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan tiheys ovat toisistaan riippumattomia"				
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632				
Regressiotunnusluvut						
Kerroin R	0,846405115	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.				
Korrelaatiokerr	0,716401619	, joten n. 72 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.				
Tarkistettu korr	0,680951821					
Keskivirhe	3,894080589					
Havainnot	10					
ANOVA						
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus	
Regressio	1	306,4450909	306,4450909	20,2089057	0,002014224	
Jäännös	8	121,3109091	15,16386364			
Yhteensä	9	427,756				
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%
Leikkauspiste	-910,9363636	222,0324525	-4,102717209	0,00342489	-1422,944117	-398,9286105
taik. tiheys (g/c	834,5454545	185,6430081	4,495431652	0,00201422	406,4519106	1262,638998
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.						
t:n arvo 4,495 > 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen suuri poikkeavuus nolasta ei johdu sattumasta.						
P-arvo=0,002, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 0,2 %.						
Siten nollahypoteesi "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan tiheys ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.						

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan tiheys ovat toisistaan riippumattomia"				
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632				
Regressiotunnusluvut						
Kerroin R	0,732778916	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.				
Korrelaatiokerr	0,536964939	, joten n. 54 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.				
Tarkistettu korr	0,479085556					
Keskivirhe	2,222547167					
Havainnot	10					
ANOVA						
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus	
Regressio	1	45,82727273	45,82727273	9,27730938	0,01592068	
Jäännös	8	39,51772727	4,939715909			
Yhteensä	9	85,345				
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%
Leikkauspiste	-333,7318182	126,7250605	-2,633510822	0,03001414	-625,9603314	-41,50330493
taik. tiheys (g/c	322,7272727	105,9557788	3,04586759	0,01592068	78,39280881	567,0617366
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.						
t:n arvo 4,495 > 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen suuri poikkeavuus nolasta ei johdu sattumasta.						
P-arvo=0,016, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 1,6 %.						
Nollahypoteesi "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan tiheys ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.						
Tärkkelyksen tilavuusosuuden ja tiheyden välinen kerroin R2 > tärkkelyksen massaosuuden välinen kerroin R2, joten tärkkelyksen tilavuusosuudella on lineaarisempi vaikutus taikinan tiheyteen.						

YHTEENVETO TULOSTUS		Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan konsistenssi ovat toisistaan riippumattomia" kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632				
Regressiotunnusluvut						
Kerroin R	0,215928148	< 0,632, joten mallilla ei voida kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.				
Korrelaatiokerr	0,046624965	, joten n. 5 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.				
Tarkistettu korr	-0,072546914					
Keskivirhe	21,13537018					
Havainnot	10					
ANOVA						
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus	
Regressio	1	174,7690188	174,7690188	0,39124133	0,549070892	
Jäännös	8	3573,630981	446,7038727			
Yhteensä	9	3748,4				
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%
Leikkauspiste	561,1251227	89,34029254	6,280762093	0,00023767	355,1060389	767,1442066
tärkk. V-% taiki	-0,639196177	1,021908011	-0,625492872	0,54907089	-2,995720275	1,71732792
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.						
t:n arvo -0,625 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroin arvo saattaa johtua sattumasta eikä ole luotettava.						
P-arvo=0,549, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 54,9 %.						
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan konsistenssi ovat toisistaan riippumattomia" jää voimaan.						
YHTEENVETO TULOSTUS		Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan konsistenssi ovat toisistaan riippumattomia" kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632				
Regressiotunnusluvut						
Kerroin R	0,009724128	< 0,632, joten mallilla ei voida kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.				
Korrelaatiokerr	9,45587E-05	, joten 0 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.				
Tarkistettu korr	-0,124893621					
Keskivirhe	21,64499237					
Havainnot	10					
ANOVA						
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus	
Regressio	1	0,354443728	0,354443728	0,00075654	0,97873048	
Jäännös	8	3748,045556	468,5056945			
Yhteensä	9	3748,4				
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%
Leikkauspiste	502,0327846	122,6118541	4,094488158	0,00346404	219,2893423	784,7762269
tärkk. m-% taiki	0,064444314	2,342978998	0,027505289	0,97873048	-5,338474939	5,467363567
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.						
t:n arvo 0,028 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroin arvo saattaa johtua sattumasta eikä ole luotettava.						
P-arvo=0,979, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 97,9 %.						
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan konsistenssi ovat toisistaan riippumattomia" jää voimaan.						
YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan vedensidontakyky ovat toisistaan riippumattomia" kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632				
Regressiotunnusluvut						
Kerroin R	0,935236771	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.				
Korrelaatiokerr	0,874667818	, joten n. 87 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.				
Tarkistettu korr	0,859001295					
Keskivirhe	0,351379945					
Havainnot	10					
ANOVA						
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus	
Regressio	1	6,893257074	6,893257074	55,8303736	7,11433E-05	
Jäännös	8	0,987742926	0,123467866			
Yhteensä	9	7,881				
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%
Leikkauspiste	75,71942	1,990453302	38,04129437	2,5035E-10	71,12942646	80,30941354
tärkk. m-% taiki	-0,284199426	0,038035395	-7,471972539	7,1143E-05	-0,371909204	-0,196489648
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.						
t:n arvo -7,472 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroin arvo saattaa johtua sattumasta eikä ole luotettava.						
P-arvo=0,000, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 0 %.						
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan vedensidontakyky ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.						

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan vedensidontakyky ovat toisistaan riippumattomia"				
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632				
Regressiotunnusluvut						
Kerroin R	0,925672643	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.				
Korrelaatiokerr	0,856869842	, joten n. 86 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.				
Tarkistettu korr	0,838978573					
Keskivirhe	0,375501127					
Havainnot	10					
ANOVA						
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus	
Regressio	1	6,752991229	6,752991229	47,8931824	0,000121983	
Jäännös	8	1,128008771	0,141001096			
Yhteensä	9	7,881				
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%
Leikkauspiste	71,82385285	1,587262501	45,25014154	6,2829E-11	68,16361896	75,48408674
tärkk. V-% taikii	-0,125646397	0,018155708	-6,92049004	0,00012198	-0,167513534	-0,083779259
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.						
t:n arvo -6,920 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen arvo saattaa johtua sattumasta eikä ole luotettava.						
P-arvo=0,000, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 0 %.						
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan vedensidontakyky ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.						
Tärkkelyksen massaosuuden arvo R2 > kuin tilavuusosuuden R2, joten massaosuus vaikuttaa taikinan tiheyteen lineaarisemmin.						

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan kehittymisaika ovat toisistaan riippumattomia"				
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632				
Regressiotunnusluvut						
Kerroin R	0,244864017	<0,632, joten mallilla ei voida kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.				
Korrelaatiokerr	0,059958387	, joten n. 6 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.				
Tarkistettu korr	-0,057546815					
Keskivirhe	0,226345461					
Havainnot	10					
ANOVA						
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus	
Regressio	1	0,026141857	0,026141857	0,51026155	0,495337192	
Jäännös	8	0,409858143	0,051232268			
Yhteensä	9	0,436				
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%
Leikkauspiste	1,961533211	0,956773862	2,050153426	0,07449042	-0,244791269	4,16785769
tärkk. V-% taikii	-0,007817541	0,010943941	-0,714325943	0,49533719	-0,033054314	0,017419232
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.						
t:n arvo -0,714 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen arvo saattaa johtua sattumasta eikä ole luotettava.						
P-arvo=0,495, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 50 %.						
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan kehittymisaika ovat toisistaan riippumattomia" jää voimaan.						

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan kehittymisaika ovat toisistaan riippumattomia"					
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632					
Regressiotunnusluvut							
Kerroin R	0,367211042	< 0,632, joten mallilla ei voida kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.					
Korrelaatiokerr	0,13484395	, joten n. 13 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.					
Tarkistettu korr	0,026699443						
Keskivirhe	0,217142821						
Havainnot	10						
ANOVA							
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus		
Regressio	1	0,058791962	0,058791962	1,24688673	0,296560355		
Jäännös	8	0,377208038	0,047151005				
Yhteensä	9	0,436					
Kertoimet							
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	
Leikkauspiste	2,651375007	1,23004358	2,155513066	0,06322989	-0,185110571	5,487860586	
tärkk. m-% taiki	-0,026246412	0,023504793	-1,116640823	0,29656036	-0,080448562	0,027955739	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.							
t:n arvo -1,117 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen arvo saattaa johtua sattumasta eikä ole luotettava.							
P-arvo=0,297, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 30 %.							
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan kehittymisaika ovat toisistaan riippumattomia" jää voimaan.							
YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan sekoituskestävyys ovat toisistaan riippumattomia"					
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632					
Regressiotunnusluvut							
Kerroin R	0,447884565	< 0,632, joten mallilla ei voida kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.					
Korrelaatiokerr	0,200600584	, joten n. 20 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.					
Tarkistettu korr	0,100675657						
Keskivirhe	1,434069358						
Havainnot	10						
ANOVA							
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus		
Regressio	1	4,128560619	4,128560619	2,00751294	0,194264887		
Jäännös	8	16,45243938	2,056554923				
Yhteensä	9	20,581					
Kertoimet							
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	
Leikkauspiste	9,894818074	6,061884644	1,632300622	0,14126012	-4,08391297	23,87354912	
tärkk. V-% taiki	-0,098242924	0,069338126	-1,416867298	0,19426489	-0,258136929	0,061651082	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.							
t:n arvo -1,417 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen arvo saattaa johtua sattumasta eikä ole luotettava.							
P-arvo=0,194, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 19 %.							
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan sekoituskestävyys ovat toisistaan riippumattomia" jää voimaan.							
YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan sekoituskestävyys ovat toisistaan riippumattomia"					
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632					
Regressiotunnusluvut							
Kerroin R	0,560361497	< 0,632, joten mallilla ei voida kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.					
Korrelaatiokerr	0,314005007	, joten n. 31 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.					
Tarkistettu korr	0,228255633						
Keskivirhe	1,328460714						
Havainnot	10						
ANOVA							
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus		
Regressio	1	6,462537055	6,462537055	3,6618927	0,09201812		
Jäännös	8	14,11846294	1,764807868				
Yhteensä	9	20,581					
Kertoimet							
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	
Leikkauspiste	15,70800984	7,52529862	2,087360334	0,07030606	-1,645359879	33,06137956	
tärkk. m-% taiki	-0,275177222	0,143800261	-1,913607249	0,09201812	-0,606781218	0,056426774	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.							
t:n arvo -1,914 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen arvo saattaa johtua sattumasta eikä ole luotettava.							
P-arvo=0,092, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 9 %.							
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan sekoituskestävyys ovat toisistaan riippumattomia" jää voimaan.							

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen massa- ja tilavuusosuus ovat toisistaan riippumattomat"				
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632				
Regressiotunnusluvut						
Kerroin R	0,904915229	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.				
Korrelaatiokerr	0,818871571	, joten n. 82 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.				
Tarkistettu korr	0,796230517					
Keskivirhe	3,112048607					
Havainnot	10					
ANOVA						
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus	
Regressio	1	350,2772277	350,2772277	36,1675558	0,00031841	
Jäännös	8	77,47877228	9,684846535			
Yhteensä	9	427,756				
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%
Leikkauspiste	-18,67300838	17,62874494	-1,059236403	0,32042293	-59,32496708	21,97895032
tärkk. m-% taiki	2,025894897	0,336866117	6,013946776	0,00031841	1,249080239	2,802709555
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.						
t:n arvo 6,014 > 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokertoimen suuri poikkeavuus nolasta ei johdu sattumasta.						
P-arvo=0,000, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 0 %.						
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen massa- ja tilavuusosuus ovat toisistaan riippumattomat" hylätään.						

YHTEENVETO TULOSTUS		"Taikinan teoreettinen ja määritetty tiheys ovat toisistaan riippumattomat"				
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632				
Regressiotunnusluvut						
Kerroin R	0,712889553	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.				
Korrelaatiokerr	0,508211514	, joten n. 51 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.				
Tarkistettu korr	0,446737953					
Keskivirhe	0,005200804					
Havainnot	10					
ANOVA						
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus	
Regressio	1	0,000223613	0,000223613	8,26715596	0,020661154	
Jäännös	8	0,000216387	2,70484E-05			
Yhteensä	9	0,00044				
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%
Leikkauspiste	0,47986645	0,249072295	1,926615121	0,0901905	-0,094495292	1,054228192
taik teor tiheys	0,635264393	0,220941067	2,875266242	0,02066115	0,125773378	1,144755407
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.						
t:n arvo 2,875 > 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokertoimen suuri poikkeavuus nolasta ei johdu sattumasta.						
P-arvo=0,021, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 2 %.						
Nollahypoteesi: "Taikinan teoreettinen ja määritetty tiheys ovat toisistaan riippumattomat" hylätään.						

REGRESSIOYHTEENVEDOT VESIMÄÄRÄN PYSYESSÄ VAKIONA

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan tiheys ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,73756535	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,54400265	, joten n. 54 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaati	0,48700298								
Keskivirhe	0,00589659								
Havainnot	10								
ANOVA									
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus				
Regressio	1	0,000332	0,000331842	9,5439616	0,014904667				
Jäännös	8	0,000278	3,47698E-05						
Yhteensä	9	0,00061							
	Kertoimet	Keskivirhe	t	Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	Alin 95,0%	Ylin 95,0%
Leikkauspiste	1,12718082	0,021387	52,70459625	1,862E-11	1,077862855	1,176498792	1,07786285	1,176498792	
tärkk. V-% taikinassa	0,0007845	0,000254	3,089330291	0,0149047	0,000198916	0,001370076	0,00019892	0,001370076	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo 3,089 > 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokertoimen suuri poikkeavuus nolasta ei johdu sattumasta.									
P-arvo=0,015, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 2 %.									
Siten nollahypoteesi "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan tiheys ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.									

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan tiheys ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,90528062	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,81953301	, joten n. 82 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaati	0,79697463								
Keskivirhe	0,00370953								
Havainnot	10								
ANOVA									
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus				
Regressio	1	0,0005	0,000499915	36,329436	0,000313686				
Jäännös	8	0,00011	1,37606E-05						
Yhteensä	9	0,00061							
	Kertoimet	Keskivirhe	t	Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	Alin 95,0%	Ylin 95,0%
Leikkauspiste	1,05419378	0,023059	45,71704446	5,789E-11	1,001019403	1,10736815	1,0010194	1,10736815	
tärkk. m-% taikinassa	0,00265912	0,000441	6,027390476	0,0003137	0,001641776	0,00367647	0,00164178	0,00367647	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo 6,027 > 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokertoimen suuri poikkeavuus nolasta ei johdu sattumasta.									
P-arvo=0,000, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 0 %.									
Siten nollahypoteesi "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan tiheys ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.									

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan vedensidonta ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,72564442	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,52655982	, joten n. 53 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,4673798								
Keskivirhe	0,85815861								
Havainnot	10								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	6,55251	6,552510386	8,8975941	0,017523142				
Jäännös	8	5,89149	0,736436202						
Yhteensä	9	12,444							
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t</i>	<i>Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95,0%</i>	<i>Ylin 95,0%</i>
Leikkauspiste	70,9889169	3,112516	22,80756743	1,448E-08	63,81144232	78,16639151	63,8114423	78,16639151	
tärkk. V-% taikinassa	-0,1102374	0,036957	-2,982883517	0,0175231	-0,195459581	-0,025015196	-0,19545958	-0,025015196	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo -2,983 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen suuri poikkeavuus nolasta saattaa johtua sattumasta.									
P-arvo=0,018, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 2 %.									
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan vedensidonta ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.									

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan vedensidonta ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,99557444	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,99116847	, joten n. 99 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,99006453								
Keskivirhe	0,11720686								
Havainnot	10								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	12,3341	12,33410042	897,84517	1,66933E-09				
Jäännös	8	0,1099	0,013737447						
Yhteensä	9	12,444							
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t</i>	<i>Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95,0%</i>	<i>Ylin 95,0%</i>
Leikkauspiste	83,5429137	0,728579	114,6655918	3,739E-14	81,86280811	85,22301933	81,8628081	85,22301933	
tärkk. m-% taikinassa	-0,4176803	0,013939	-29,96406467	1,669E-09	-0,449824596	-0,385536083	-0,4498246	-0,385536083	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo -29,964 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen suuri poikkeavuus nolasta saattaa johtua sattumasta.									
P-arvo=0,000, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 0 %.									
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan vedensidonta ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.									

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan konsistenssi ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,72398701	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,5241572	, joten n. 52 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,46467684								
Keskivirhe	33,8813662								
Havainnot	10								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	10116,02	10116,0242	8,8122748	0,017910825				
Jäännös	8	9183,576	1147,946975						
Yhteensä	9	19299,6							
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t</i>	<i>Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95,0%</i>	<i>Ylin 95,0%</i>
Leikkauspiste	893,205879	122,8867	7,2685309	8,648E-05	609,8286083	1176,58315	609,828608	1176,58315	
tärkk. V-% taikinassa	-4,3314169	1,459103	-2,968547592	0,0179108	-7,696114631	-0,966719196	-7,69611463	-0,966719196	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo -2,969 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen suuri poikkeavuus nolasta saattaa johtua sattumasta.									
P-arvo=0,018, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 2 %.									
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan konsistenssi ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.									

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan konsistenssi ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,99494027	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,98990615	, joten n. 99 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaati	0,98864441								
Keskivirhe	4,93466507								
Havainnot	10								
ANOVA									
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus				
Regressio	1	19104,79	19104,79264	784,56145	2,85002E-09				
Jäännös	8	194,8074	24,35091938						
Yhteensä	9	19299,6							
		Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	Alin 95,0%	Ylin 95,0%
Leikkauspiste	1387,88826	30,67476	45,24528558	6,288E-11	1317,152138	1458,624383	1317,15214	1458,624383	
tärkk. m-% taikinassa	-16,438472	0,586878	-28,01002412	2,85E-09	-17,79181596	-15,08512887	-17,791816	-15,08512887	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo -28,010 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokertoimen suuri poikkeavuus nolasta saattaa johtua sattumasta.									
P-arvo=0,000, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 0 %.									
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan konsistenssi ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.									

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan kehittymisaika ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,39612687	<0,632, joten mallilla ei voida kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,1569165	, joten n. 16 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaati	0,05153106								
Keskivirhe	0,20116662								
Havainnot	10								
ANOVA									
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus				
Regressio	1	0,060256	0,060255935	1,488977	0,257121432				
Jäännös	8	0,323744	0,040468008						
Yhteensä	9	0,384							
		Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	Alin 95,0%	Ylin 95,0%
Leikkauspiste	1,92692507	0,729625	2,640978682	0,0296682	0,244405932	3,609444216	0,24440593	3,609444216	
tärkk. V-% taikinassa	-0,0105712	0,008663	-1,220236466	0,2571214	-0,030548713	0,009406279	-0,03054871	0,009406279	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo -1,220 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokertoimen suuri poikkeavuus nolasta saattaa johtua sattumasta.									
P-arvo=0,257, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 3 %.									
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan kehittymisaika ovat toisistaan riippumattomia" jää voimaan.									

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan kehittymisaika ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,28980217	<0,632, joten mallilla ei voida kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,0839853	, joten n. 8 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaati	-0,0305165								
Keskivirhe	0,20968716								
Havainnot	10								
ANOVA									
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus				
Regressio	1	0,03225	0,032250354	0,7334843	0,416670317				
Jäännös	8	0,35175	0,043968706						
Yhteensä	9	0,384							
		Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	Alin 95,0%	Ylin 95,0%
Leikkauspiste	2,15487977	1,303453	1,653208831	0,1368883	-0,850887902	5,160647449	-0,8508879	5,160647449	
tärkk. m-% taikinassa	-0,0213579	0,024938	-0,856436956	0,4166703	-0,078865049	0,036149349	-0,07886505	0,036149349	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo -0,856 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokertoimen suuri poikkeavuus nolasta saattaa johtua sattumasta.									
P-arvo=0,417, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 42 %.									
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan kehittymisaika ovat toisistaan riippumattomia" jää voimaan.									

YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan sekoituskestävyys ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,57264656	<0,632, joten mallilla ei voida kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,32792409	, joten n. 3 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,2439146								
Keskivirhe	0,08980485								
Havainnot	10								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	0,031481	0,031480712	3,9034172	0,083602294				
Jäännös	8	0,064519	0,008064911						
Yhteensä	9	0,096							
		<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95,0%</i>	<i>Ylin 95,0%</i>
Leikkauspiste	1,52107567	0,32572	4,669893885	0,0016027	0,769965072	2,272186263	0,76996507	2,272186263	
tärkk. V-% taikinassa	-0,0076409	0,003867	-1,975706758	0,0836023	-0,016559308	0,001277409	-0,01655931	0,001277409	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo -1,976 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen suuri poikkeavuus nolasta saattaa johtua sattumasta.									
P-arvo=0,084, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 8 %.									
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan sekoituskestävyys ovat toisistaan riippumattomia" jää voimaan.									

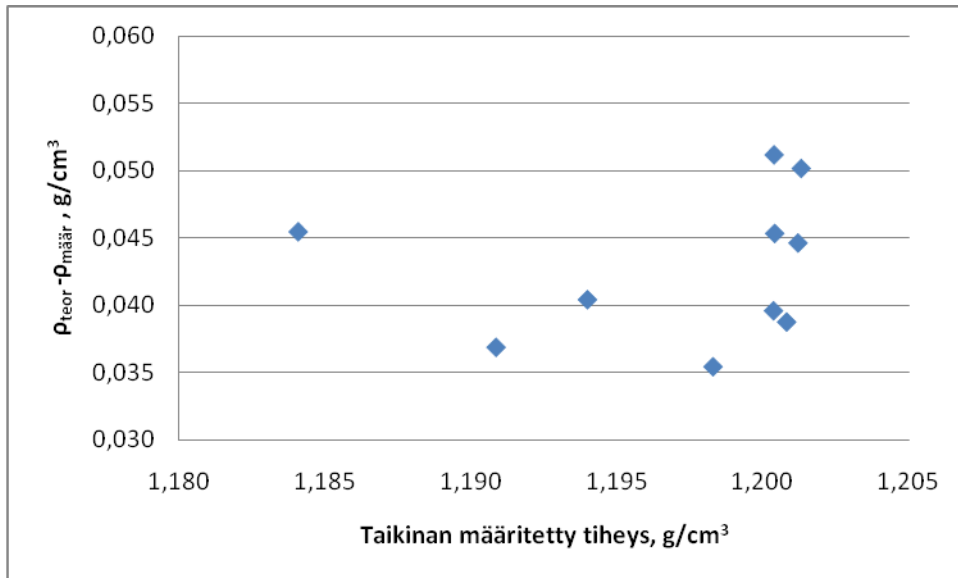
YHTEENVETO TULOSTUS		"Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan sekoituskestävyys ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,64869624	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,42080681	, joten n. 4 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,34840766								
Keskivirhe	0,08336857								
Havainnot	10								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	0,040397	0,040397454	5,8123172	0,042450216				
Jäännös	8	0,055603	0,006950318						
Yhteensä	9	0,096							
		<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95,0%</i>	<i>Ylin 95,0%</i>
Leikkauspiste	2,12777935	0,518234	4,105828048	0,0034102	0,932729796	3,322828903	0,9327298	3,322828903	
tärkk. m-% taikinassa	-0,0239038	0,009915	-2,410874771	0,0424502	-0,046767846	-0,001039792	-0,04676785	-0,001039792	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo -2,411 < 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen suuri poikkeavuus nolasta saattaa johtua sattumasta.									
P-arvo=0,042, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 4 %.									
Nollahypoteesi: "Tärkkelyksen massaosuus ja taikinan sekoituskestävyys ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.									

YHTEENVETO TULOSTUS		"Taikinan teoreettinen ja määritetty tiheys ovat toisistaan riippumattomia"							
		kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632							
Regressiotunnusluvut									
Kerroin R	0,910321	>0,632, joten mallilla voidaan kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.							
Korrelaatiokerroin	0,82868433	, joten n. 83 % aineistosta voidaan esittää tässä käytetyllä mallilla.							
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,80726987								
Keskivirhe	0,00281827								
Havainnot	10								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	0,000307	0,000307359	38,69742	0,000253642				
Jäännös	8	6,35E-05	7,94262E-06						
Yhteensä	9	0,000371							
		<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95,0%</i>	<i>Ylin 95,0%</i>
Leikkauspiste	0,28006557	0,136134	2,057277715	0,0736708	-0,033860138	0,593991285	-0,03386014	0,593991285	
taik. tiheys (g/cm3)	0,70983607	0,114108	6,22072504	0,0002536	0,446701963	0,972970168	0,44670196	0,972970168	
t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306.									
t:n arvo 6,221 > 2,306. Siten voidaan päätellä, että korrelaatiokerroimen suuri poikkeavuus nolasta ei voi johtua sattumasta.									
P-arvo=0,000, joten johtopäätöksen erehtymisriski on 0 %.									
Nollahypoteesi: "Taikinan teoreettinen ja määritetty tiheys ovat toisistaan riippumattomia" hylätään.									

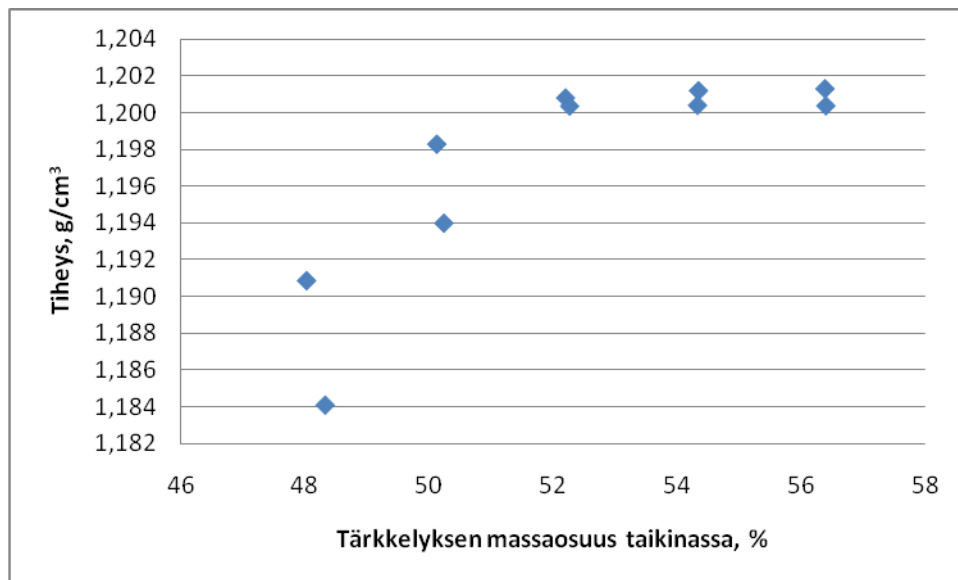
TAIKINAN TIHEYDEN MÄÄRITTÄMINEN ARKHIMEDEEN KORISSA

1. Haettiin ämpärillinen käänteisosmoosilla käsiteltyä vettä olosuhdehuoneeseen vähintään 12 tuntia ennen määrittystä.
2. Valmistettiin näyte ja muotoiltiin se kevyesti pitkulaiseksi, jotta näyte oli helppo pudottaa koriin.
3. Punnittiin näyte ilmassa. Tämä tehtiin kolmen minuutin kuluessa näytteen valmistuksesta, jotta näyte ei kuivunut tai siinä ei tapahtunut muita muutoksia.
4. Näyte pudotettiin, yhden minuutin kuluessa sen punnitsemisesta ilmassa, vedessä olevaan koriin. Aikaa taikinapalan upottamisesta vaa'an näyttämän arvon tasaantumiseen kului 15 - 20 sekuntia. Paino kirjattiin välittömästi arvon tasaannuttua ja taikinapala poistettiin heti vedestä tärkkelyksen irtoamisen minimoimiseksi.
5. Näytteen tilavuus V määritettiin laskemalla erotus massa ilmassa m_i (g) – massa vedessä m_v (g). Tilavuus V on erotuksen arvo (cm^3).
6. Näytteen ominaispaino määritettiin jakamalla näytteen massa ilmassa m_i (g) näytteen tilavuudella V (cm^3).
7. Näytteen tiheys $\rho_{\text{näyte}}$ määritettiin kertomalla näytteen ominaispaino veden tiheydellä ρ_v määrittelylämpötilassa. Veden tiheys ρ_v 23,5 °C lämpötilassa on 0,99799 g/cm^3 (Handbook of chemistry and physics 1985 - 1986, F-4).

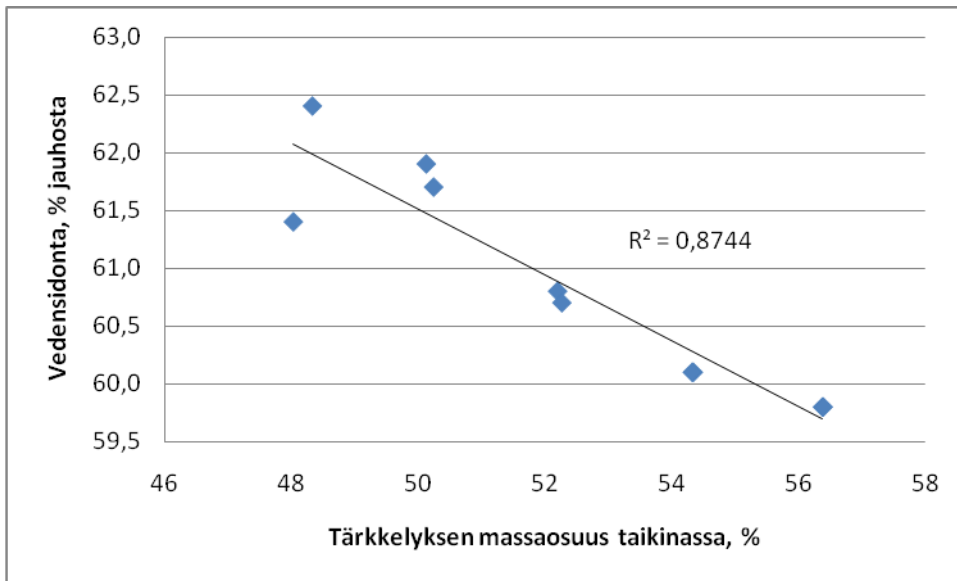
KUVAAJIA TÄRKKELYKSEN MASSAOSUUDEN VAIKUTUKSISTA TAIKINAN REOLOGIAAN



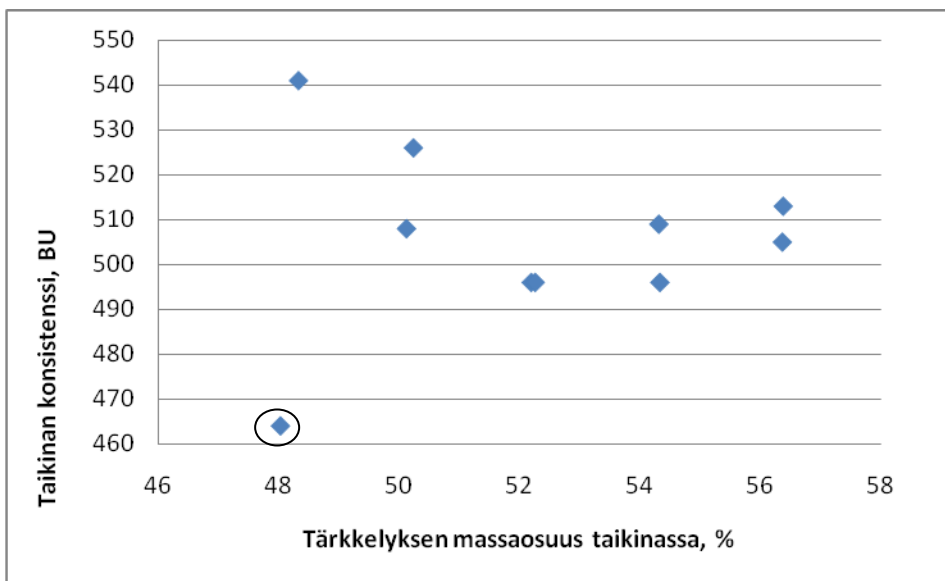
KUVA 39 Teoreettisen ja määritetyn tiheyden erotuksen yhteys taikinän tiheyteen vesiosuuden vaihdellessa.



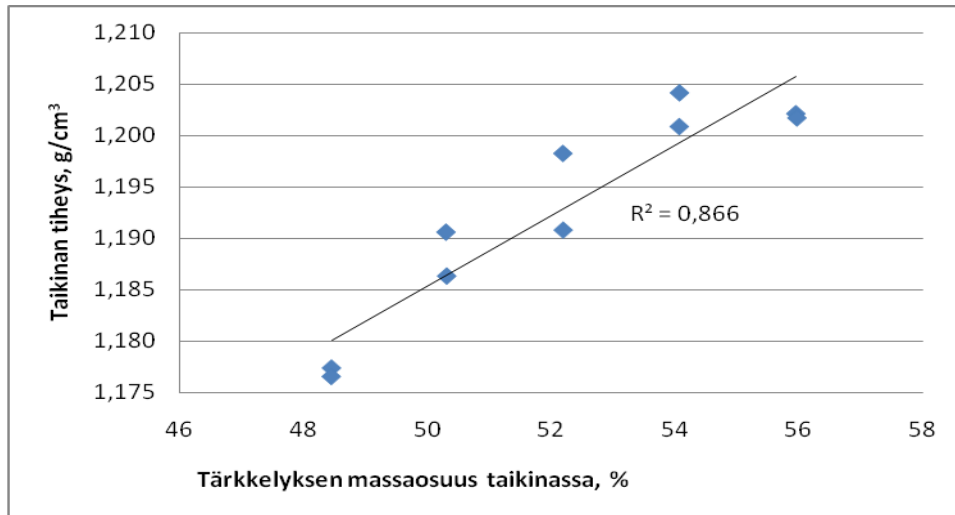
KUVA 40 Tärkkelyksen massaosuuden vaikutus taikinän tiheyteen vesiosuuden vaihdellessa (R^2 - arvo 0,639).



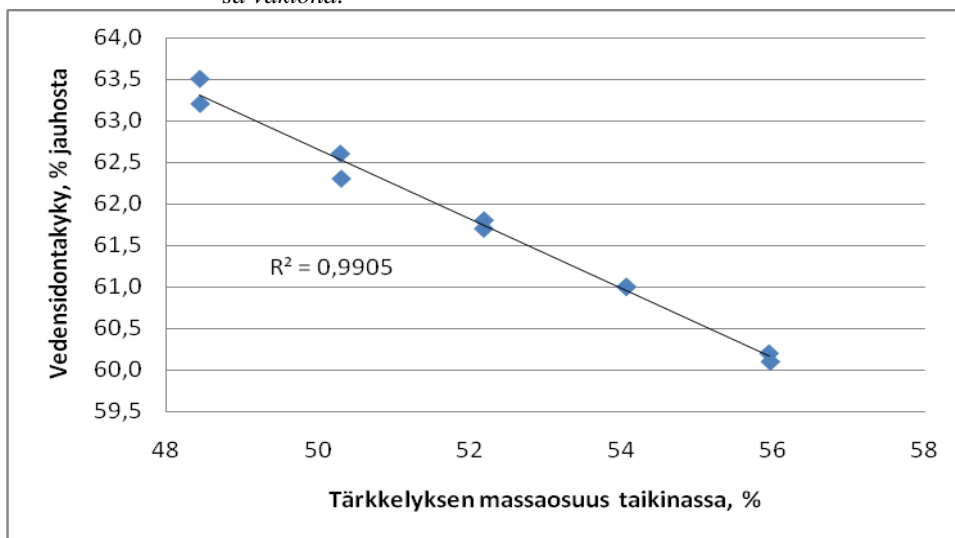
KUVA 41 Tärkkelyksen massaosuuden vaikutus jauhojen vedensidontakykyyn vesiosuuden vaihdella.



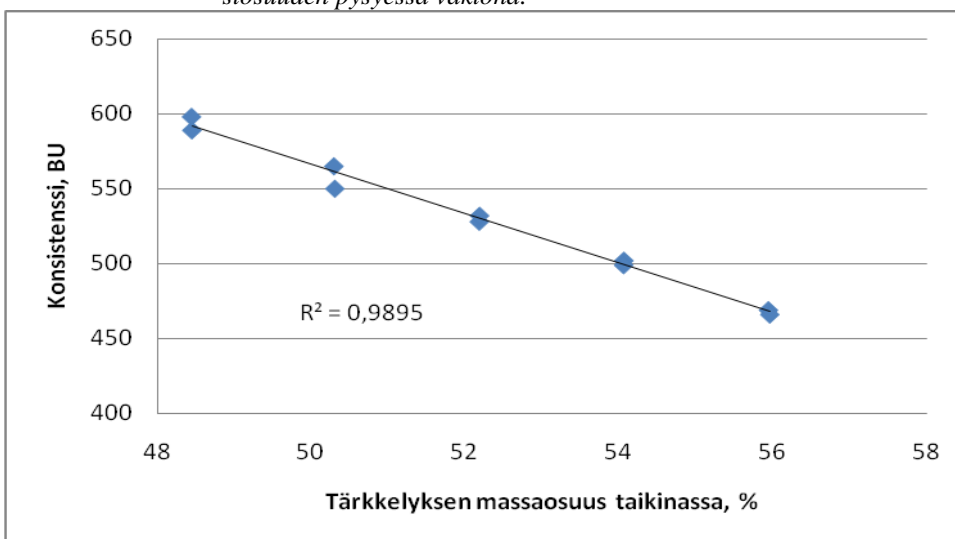
KUVA 42 Tärkkelyksen massaosuuden vaikutus taikinän konsistenssiin vesiosuuden vaihdella.



KUVA 43 Tärkkelyksen massaosuuden vaikutus taikinan tiheyteen vesiosuuden pysyessä vakiona.



KUVA 44 Tärkkelyksen massaosuuden vaikutus vehnäjauhojen vedensidontaan vesiosuuden pysyessä vakiona.



KUVA 45 Tärkkelyksen massaosuuden vaikutus taikinan konsistenssiin vesiosuuden pysyessä vakiona.

AINEISTON TILASTOLLISEN TARKASTELUN KUVAUS

Aineiston tilastolliseen tarkastelemiseen käytettiin Excelin analyysityökaluista regressioanalyysiä. Esimerkiksi tutkittaessa tärkkelyksen tilavuusosuuden vaikutusta taikinan tiheyteen edettiin seuraavalla tavalla:

- Valittiin tietojen analysoinnista regressio, johon määritettiin halutut tietoalueet. Tämän pohjalta tietokoneohjelma teki regressioyhteenvedon.
- Otsikon: ”YHTEENVETO TULOSTUS” jälkeen määritettiin testattava nollahypoteesi, esim. ”Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan tiheys ovat toisistaan riippumattomia”.
- Todettiin, että kriittinen korrelaatiokerroin kaksisuuntaisessa testissä, 5 % merkitsevyydellä vapausastein 10 on 0,632 (Holopainen ja Pulkkinen 2003, 334).
- Verrattiin regressiotunnuslukujen korrelaatiokerrointa (kerroin R) kriittiseen korrelaatiokertoimeen. Todettiin korrelaatiokertoimen 0,846 olevan kriittistä korrelaatiokerrointa (0,632) suurempi, joten mallilla voitiin kuvata muuttujien välistä yhteyttä ja muuttujien välistä vaihtelua.
- Lineaarisen tarkastelun korrelaatiokerroin on arvo R^2 . Tämän arvon perusteella tiedetään, kuinka suuri osuus aineistosta voidaan esittää lineaarisella mallilla. Tässä tapauksessa arvo oli 0,716, joten mallilla voidaan esittää n. 72 % aineistosta.
- Todettiin, että t-jakauman kaksisuuntaisen testin kriittinen arvo 5 % merkitsevyydellä vapausastein 8 on 2,306 (Holopainen ja Pulkkinen 2003, 332).
- Verrattiin ANOVA- taulukon t:n arvoa sen kriittiseen arvoon. t:n arvo $4,495 > 2,306$. Siten voitiin päätellä, että korrelaatiokertoimen (0,716) suuri poikkeavuus nolasta ei johdu sattumasta.
- Tarkistettiin P-arvo, joka oli 0,002, mikä tarkoittaa, että johtopäätöksen erehtymisriski on 0,2 %.
- Näiden tietojen pohjalta tehtiin päätös nollahypoteesin ”Tärkkelyksen tilavuusosuus ja taikinan tiheys ovat toisistaan riippumattomia” hylkäämisestä tai voimaan jättämisestä. Tässä tapauksessa se hylättiin, joten tilastollisesti tärkkelyksen tilavuusosuudella on vaikutusta taikinan tiheyteen.

Verrattaessa tärkkelyksen tilavuus- ja massaosuuksien vaikutusta taikinan tiheyteen ym. ominaisuuksiin verrattiin R^2 -arvoja toisiinsa. Tässä tapauksessa tilavuusosuuden arvo oli suurempi, joten sillä todettiin olevan lineaarisempi vaikutus taikinan tiheyteen kuin massaosuudella.