



Katri Toivonen

# Halogeenikuivaimen käyttö ruistaikinan konsistenssin määrittämisessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

28.4.2022

# Tiivistelmä

Tekijä:	Katri Toivonen
Otsikko:	Halogeenikuivaimen käyttö ruistaikin konsistenssin määrittämisessä
Sivumäärä:	41 sivua
Aika:	28.4.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Pia-Tuulia Laine Teknologiaspesialisti Taru Nuorkivi

---

Ruisleivässä vähintään 50 % viljaraaka-aineista sisältää ruista ja sen pääraaka-aineet ovat raski, hiiva, ruisjauho, vehnäjauho sekä suola. Taikin konsistenssilla tarkoitetaan taikin jäähmyttä ja se vaikuttaa taikin leivottavuuteen. Insinööriyön tavoitteena oli selvittää voidaanko halogeenikuivainta hyödyntää ruistaikin konsistenssin määrittämisessä. Insinööriyön toimeksiantaja oli Vaasan Oy.

Insinööriyön mittaukset tehtiin kolmen viikon ruisleipäajoista Vaasan Oy:n Kuusankosken tehtaalla. Näytteeksi mittauksiin valittiin yksi tietty ruistaikinalaatu, josta tehtiin 114 mittausta. Mittauksissa käytettiin halogeenikuivainta, farinografia sekä kartiokonsistenssimittaria taikin näytteiden mittaamiseen. Ruistaikin lisäksi mittauksia tehtiin myös ruisraskista (n=37), jota mitattiin halogeenikuivaimella, kartiokonsistenssilla sekä Bostwick-mittarilla. Ruistaikinasta sekä raskista mitattiin myös lämpötilat ja raskista mitattiin lisäksi happoluku ja pH.

Tuloksissa havaittiin tilastollisesti merkitsevää yhteyttä halogeenikuivaimen sekä farinografian ( $p=1,4E-07$   $R=-0,47$ ) tuloksissa ruistaikin näytteissä. Tuloksista voidaan todeta, että halogeenikuivaimella on mahdollista selittää taikin konsistenssia ainakin osittain. Raskien tuloksissa havaittiin tilastollisesti erittäin merkitsevää yhteyttä ( $p=4,4E-09$   $R=0,79$ ). Raskein mittaustulosten voimakas yhteys halogeenikuivaimen kanssa kertoo myös siitä, että halogeenikuivaimella on mahdollista selittää taikin konsistenssia.

Mittauksista saatujen tulosten perusteella jatkotutkimuksissa voidaan hyödyntää tutkimuksessa saatuja muita mittaustuloksia kuten lämpötiloja ja raskien ominaisuuksia. Näitä hyödyntämällä on mahdollista kehittää malli, jolla voitaisiin ennustaa taikin konsistenssia, mikä tukisi taikinantekijöiden aistinvaraista arviointia konsistenssin arvioimisessa. Instrumentaalisen datan avulla pystytäisiin reagoimaan nopeasti tuotannossa mahdollisesti tapahtuviin konsistenssi muutoksiin ja näin pitää ruistaikin laatu tasaisena.

Avainsanat: halogeenikuivain, ruistaikina, konsistenssi, reologia

## Abstract

Author: Katri Toivonen  
Title: Use of a Halogen Dryer to Determine the Consistency of Rye Dough  
Number of Pages: 41 pages  
Date: 28 April 2021

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering  
Professional Major: Biotechnology and Food Engineering  
Supervisors: Pia-Tuulia Laine, Senior Lecturer  
Taru Nuorkivi, Technology Specialist

---

Rye bread contains at least 50 % cereal raw material and its main raw materials are starter, yeast, rye flour, wheat flour and salt. The consistency of the dough refers to firmness of dough and it affects the bakability of dough. The aim of the engineering thesis was to find whether a halogen dryer can be used to determine the consistency of rye dough. The engineering work was commissioned by Vaasan Oy.

The measurements of the engineering thesis were made during a three-week period of rye bread baking at Vaasan Oy's Kuusankoski factory. One specific rye dough grade was selected as a sample for the measurements, of which 114 measurements were made. The measurement cat used a halogen dryer, farinography and consistency meter to measure the dough samples. In addition to rye dough, rye starter (n = 37) was, which was measured with a halogen dryer, consistency and Bostwick meter. Temperatures were also measured for rye dough and rye starter, and acid number and pH were measured for rye starter.

The results showed a statistically significant relationship between the results of the halogen dryer and the farinograph ( $p = 1.4E-07$   $R = -0.47$ ) in the rye dough samples. It can be seen from the results that it is possible to explain the consistency of the dough at least in part with a halogen dryer. In the starter results, a statistically very significant association was observed ( $p = 4.4E-09$   $R = 0.79$ ). The strongest connection of the measurement results with the halogen dryer also indicates that it is possible to explain the consistency of the dough with the halogen dryer.

Based on the results obtained from the measurements, other measurement results obtained in the study, such as temperatures and starter properties, can be utilized in further studies. Utilizing these, it is possible to develop a model that could predict the consistency of the dough, which would support the organoleptic evaluation of the dough makers in assessing the consistency. With the help of instrumental data, it would be possible to react quickly to possible changes in consistency in production and thus keep the quality of the rye dough constant.

Keywords: halogen dryer, rye dough, consistency, rheology

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ruisleivontaprosessi ja sen mittaaminen	2
2.1	Yleistä ruisleivontaprosessista	2
2.2	Hiiva	3
2.3	Raski	4
2.4	Ruisjauhot	5
2.5	Ruisleivän valmistusprosessi	6
3	Ruistaikinan reologia	8
4	Lean leipomossa	9
5	Materiaalit ja menetelmät	11
5.1	Näytteet ja koeasetelma	11
5.2	Konsistenssikoe	12
5.3	Halogeenikuivaus	12
5.4	Kartiokonsistenssimittari	13
5.5	Farinografi	14
5.6	Taikinan rakenteen arviointi	16
5.7	Muut kokeet	16
5.7.1	Raski	16
5.7.2	Lämpötila	20
5.8	Tulosten analysoinnin menetelmät	20
6	Tulokset ja niiden tarkastelu	22
6.1	Yleistä	22
6.2	Tilastolliset tunnusluvut ruistaikinanäytteistä	22
6.3	Normaalijakauma ja korrelaatio ruistaikinanäytteistä	26
6.4	Regressioanalyysi ruistaikinanäytteistä	29
6.5	Diagnostiikka ruistaikinanäytteistä	34
6.6	Mallin avulla laadittu ennuste	35
6.7	Raskien konsistenssin mittaukset	36
7	Päätelmät	39



## 1 Johdanto

Ruisleivällä tarkoitetaan leipää, jonka valmistuksesta on käytetty ruista vähintään 50 % viljaraaka-aineiden määrästä [1, s. 56]. Ruisleivän leivontaprosessissa on kaksi vaihetta; raskin valmistus sekä suoraleivonnalla tapahtuva leivonta [2, s. 128].

Taikin konsistenssilla tarkoitetaan taikin jähmyyttä, kiinteyttä tai virtavuutta. Taikinaa sekoittaessa taikin konsistenssi kasvaa aina tiettyyn maksimumiin asti, kunnes taikin rakenne alkaa heikentymään. Kun taikinaa yli sekoitetaan tai siihen lisätään vettä sen konsistenssi pienenee ja taikin rakenteesta tulee löysää. [3, s. 86, 281]

Ruistaikin valmistuksessa tärkeässä osassa on taikinajuuren eli raskin valmistus. Raskin valmistukseen tarvitaan vettä, ruisjauhoja ja edellisen raskin siemenraskia. Raskin avulla ruistaikinaan saadaan sille tyypillinen hapen maku. Ruistaikin muita ominaisuuksia ovat sen hyvä säilyvyys ja konekestävyys, leipä säilyy mikrobiologisesti hyvin eikä ruisleivontaan välttämättä tarvita säilöntäaineita. [3, s. 118.]

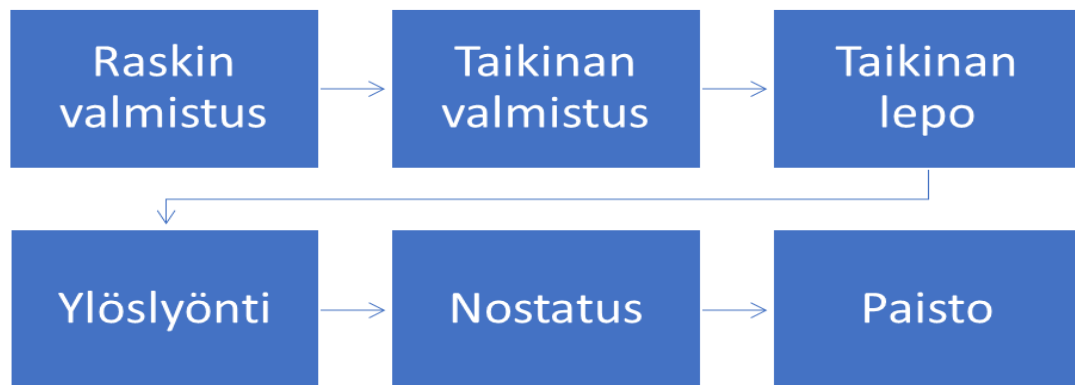
Työn toimeksiantaja oli Vaasan Oy:n Kuusankosken tehdas. Yrityksellä on tarkoituksena toteuttaa lean ajattelumallia, jossa tavoitteena on poistaa kaikki mahdolliset työvaiheet sekä prosessit, jotka eivät tuota lisäarvoa yritykselle. Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia, voidaanko taikin konsistenssia ennustaa halogeenikuivaimen avulla. Tavoitteena oli selvittää, löytyykö korrelaatioita halogeenikuivaimen ja muiden mittausmenetelmien välillä. Halogeenikuivan mittaa taikin kosteuspitoisuutta, ja sen mittausprosessi on yksinkertainen verrattuna konsistenssia mittaaviin laitteisiin, kuten farinografiin ja kartiokonsistenssiin. Näin ollen toimeksiantajalle olisi suuri hyöty saada laajempaa tietoa kosteuspitoisuuden ja konsistenssin mahdollisesta yhteydestä.

## 2 Ruisleivontaprosessi ja sen mittaaminen

### 2.1 Yleistä ruisleivontaprosessista

Ruisleiväksi voidaan kutsua leipää, jonka viljaraaka-aineiden määrä on vähintään 50 % rukiista [1, s. 56]. Ruisleivän leivontaprosessi (kuva 1) sisältää monia kriittisiä vaiheita, joiden onnistuminen takaa vakaan prosessin. Vakaalla prosessilla tarkoitetaan prosessia, joka pysyy samanlaisena jokaisella leivontakerralla. [3, s. 253.]

Prosessia sekä prosessissa käytettyjä raaka-aineita on analysoitava erilaisilla mittareilla, joiden tuloksia seuraamalla pystytään reagoimaan mahdollisiin laatu-muutoksiin tuotannon eri vaiheissa. On tärkeää myös ymmärtää, miten taikinain konsistenssin vaihtelee ja miten siihen voidaan vaikuttaa, jotta pystytään nopeasti reagoimaan ja tekemään tarvittavat muutokset tuotantoprosessin parantamiseksi. Tällä hetkellä toimeksiantajan yrityksessä ruistaikinoiden mittauksessa keskitytään suurilta osin vain raskin ominaisuuksien kuten pH:n ja happoluvun mittaamiseen. Raskilla on tärkeä rooli ruisleivän onnistumisessa, joten sen ominaisuuksia onkin tärkeää mitata. Ruistaikinoiden konsistenssia haluttiin ryhtyä mittaamaan, jotta saataisiin instrumentaalista dataa taikinoiden viskositeetista leipureiden suorittaman aistinvaraisen arvioinnin tueksi.



Kuva 1 Ruisleivän leivontaprosessi

Leivontaprosessin alussa tulee kiinnittää huomiota leivonnassa käytettäviin raaka-aineisiin. Raaka-aineiden tulee olla laadukkaita sekä täyttää asetetut vaatimukset. Vaatimukset asettavat valtio sekä leipomo ja raaka-aineiden tuottajien tulee huolehtia siitä, että tuote täyttää laatukriteerit myös elintarvikelaki asettaa vaatimuksia leipomoiden toiminnalle. Ruisleivän valmistuksessa käytetään raaka-aineina raskia eli taikinajuurta, hiivaa, ruisjauhoja, vehnäjauhoja, vettä sekä suolaa. [3, s. 46.] Seuraavaksi kerrotaan tarkemmin näiden raaka-aineiden roolista taikinassa.

## 2.2 Hiiva

Hiiva vaikuttaa taikinaan kolmella eri tavalla: hiilidioksidin tuotannolla, laajentamalla gluteenirakennetta sekä aromiaineiden tuottamisella. Hiilidioksidin muodostus on tärkeä osa leivontaa. Taikinassa olevat hiiva muodostavat hiilidioksidia taikinaan. Taikinan kovuus sekä lämpötila vaikuttavat hiivan toimintaan. Kovassa taikinassa ja yli 40 °C:ssa hiiva toimii hitaammin kuin pehmeässä ja alle 40 °C:ssa. Paiston aikana hiiva kuolee ja kaasun muodostus lakkaa noin 4 °C:ssa. [2, s. 132.]



Teollisessa leipomoympäristössä hiivaa käytetään nestemäisenä eli hiivakermana. Hiivakerma on aktiivisin vaihtoehto verrattuna puriste- ja kuivahiivaan ja lisäksi sen hiivapitoisuus on vakioitu. Hiivan määrä leivonnassa on suoraan verrannollinen nostatuslinjan pituuteen, jolloin hiivan määrän ollessa pienempi nostatus aika ja nostatuslinjan pituus kasvaa. Hiivan määrää voidaan vaihtaa nostatusajan mukaan: pitkässä nostatuksessa hiivan määrää vähennetään verrattuna lyhyeen nostatusaikaan. Annosteluun voivat myös vaikuttaa vuodenaajat, jotka aiheuttavat lämpötilan muutoksia tuotannossa. [2 s. 132–133.]

### 2.3 Raski

Ruisleivän leivonnassa yksi tärkeimmistä tekijöistä on raski eli taikinajuuri. Raski muodostuu ruisjauhoja ja vettä sekoittamalla löysäksi taikinaksi ja sen annetaan käydä 8–18 tuntia 26–32 °C lämpötilassa. Raski vaatii myös 0,5–20 % edellisen päivän raskia tai siemenraskia. Edellisen päivän raskin tai siemenraskin tehtävänä on välittää raskimikrobit uuteen raskiin. Siemenraskia hyödynnetään usein teollisissa leipomoissa, ja poikkeuksetta siemenraski on yrityksen omaa aiempaa raskia. Raskissa olevat maitohappobakteerit ovat usein *Lactobacillus*-sukuun kuuluvia kuten *L. plantarum*, *L. brevis* sekä *L. sanfransicensis*. Syntyvä hiivalaji on usein *Saccharomyces cerevisiae*. [2, s. 128.]

Raskisiemenessä syntyvien mikrobien tehtävänä on parantaa ruisjauhojen leivontaominaisuuksia, nostattaa taikinaa sekä muodostaa leivän maku. Raskin mikroflooran kehitykseen ja siten raskin ominaisuuksiin vaikuttavat niin prosessiparametrit kuin ruisjauhot. Raskin happamoitumiseen vaikuttavat maitohappobakteerit tuottamalla maitohappoa sekä etikkahappoa. Happojen tehtävänä ruisleivässä on vaikuttaa sen makuun ja rakenteeseen. Raskissa olevien hiivojen tehtävänä on tuottaa kaasuja, aromiaineista sekä etanolia. Käymisolosuhteet vaikuttavat raskin ominaisuuksiin ja näin ollen leivonnan lopputulokseen. Avainasemassa toimivassa raskissa ovat elinvoimaiset ja stabiilit raskihiivat sekä maitohappobakteerit. [2, s. 128.]

Raskin käymisen alussa sen pH on 6, mutta se putoaa tasolle 3,5–3,9 maitohappobakteerien hapontuoton ansiosta. Muodostuneiden happojen kokonaismäärä eli happoluku on käymisen alussa noin 3, ja lopussa se nousee tasolle 10–21. Kokonaishappamuuteen voidaan vaikuttaa säätelemällä veden ja jauhon suhdetta taikinassa. Raskin happamuudella sekä ruisjauhojen tuhkapitoisuudella on lineaarinen yhteys. Ruisjauhojen korkea tuhkapitoisuus kasvattaa raskin kokonaishappamuutta sekä maitohappomäärää, mutta korkea tuhkapitoisuus ei kuitenkaan vaikuta pH-arvoon eikä etikkahappopitoisuuteen. [2, s. 128.]

Raskin valmistuksesta vastaa taikinantekijä, joka valmistaa raskin tuotantosuunnittelijan antaman aikataulun mukaan. Raskit valmistetaan suuriin säiliöihin automaattijärjestelmän avulla ja siellä raskien annetaan käydä 8–18 tunnin ajan 26–32 °C asteen lämpötilassa. Raskin laadunvarmistamiseksi tehdään mittauksia jokaisesta tuotantoon otetusta raskista. Mittauksissa tarkastellaan raskin pH, happoluku, lämpötila sekä ikä. Raskia voidaan käyttää tuotannossa ainoastaan silloin kun mittauksien tulokset ovat annettujen raja-arvojen sisällä.

## 2.4 Ruisjauhot

Ruistaikin optimaalinen rakenne on muovautuvaa eli plastista mutta myös tarttuvaa [3, s. 58]. Optimaalisen rakenteen saavuttamiseksi jauhoilla on erittäin suuri merkitys, sillä ne toimivat leivonnan pääraaka-aineena. Ruisleivän valmistuksessa voidaan taikinantekovaiheessa hyödyntää ruisjauhojen lisäksi vehnäjauhoja, kun taas raskin valmistuksessa hyödynnetään yleensä vain ruisjauhoja. Lisäämällä ruistaikinaan myös vehnäjauhoja parannetaan taikinän käsiteltävyyttä sekä valmiin ruisleivän rakennetta. [2, s. 129.]

Rukiista suurin osa jauhetaan täysjyväjauhoiksi. Rukiin jauhaminen tapahtuu yleensä valssimyllyllä, ja yksinkertaisemmalla prosessilla kuin vehnän jauhatus. Valssijauhatuksessa rukiista saadaan ruissihtijauhoja sekä ruislestyjauhoja täysjyväjauhojen lisäksi. Ruissihtijauhot ja ruislestyjauhot vastaavat ominaisuuksiltaan valkoista vehnäjauhoa sekä hiivaleipäjauhoa. [3, s. 58.]

Ruisleivonnassa ei muodostu ollenkaan sitkoa, joten jauhojen proteiinimäärä ei toimi hyvänä laadunmäärittäjänä. Ruisjauhojen laatua voidaan arvioida sakoluvulla, joka kuvaa jauhojen alfa-amylaasiaktiivisuutta. Ruis on altis tähkädännälle, minkä takia sille on tyypillistä liiallinen alfa-amylaasiaktiivisuus. Mikäli ruisjauhon sakoluku alittaa tavalliselle leivonnalle sovitun arvon, jauhoja voidaan hyödyntää hapanleivonnassa sekä raskijauhoina. [3, s. 58.]

## 2.5 Ruisleivän valmistusprosessi

Ruisleivän leivontaprosessi alkaa raskin valmistuksella ja raskin valmistuksen jälkeen tapahtuvat taikinan valmistus ja sekoitus, ylöslyönti, nostatus sekä paisto suoraleivontaprosessin mukaan. Suoraleivonnalla tarkoitetaan leivontaprosessia, jossa tuote leivotaan valmiiksi ilman välivarastointia. [2, s. 124; 128.]

Raskin valmistuksessa käytetään ruisjauhoja sekä vettä. Raski toimii kokonaan tai osittain ruisleipätaikinan nesteinä. Taikina määrittää lopullisen tuotteen laadun. Taikinan teossa on kaksi määrittävää tekijää: raaka-aineiden sekoittaminen hitaalla vaihteella sekä taikinan vaivaus nopealla vaihteella. Nopealla vaivauksella pyritään samaan taikinaan optimaalinen rakenne. [2, s. 124–125.]

Ruistaikinan optimaalinen rakenne on plastista, joten se vaatii vehnäleivonnalle poikkeavia laitteita sekä menettelyitä. Tyypillisesti ruisleivonnassa hyödynnetään lautajauhoja, joiden tehtävänä on estää taikinan tarttumisen laitteisiin. Sekoittamisella on iso merkitys ruistaikinan sillä sen aikana ruisjauhon proteiinit ja pentosaanit sitovat vettä ja paisuvat. Pentosaaneilla on kyky sitoa vettä jopa kymmenkertaisen määrän painoonsa nähden. Pentosaanien vaikutusta taikinaan voidaan jossakin määrin verrata sitkoproteiinin vaikutusta vehnäleivonnassa. Pentosaanit hidastavat taikinan hiilidioksidin diffuusiota ja niiden hyvä vedenpidätyskyky vaikuttaa leipään tekemällä siitä pehmeän ja tuoreen tuntuksen. [3, s. 118.]

Ennen taikinan ylöslyöntiä taikinan annetaan levätä. Taikinan lepoaika riippuu taikinaprosessista, mutta tavanomaisin lepoaika on 10–20 minuuttia. Taikinan levon aikana tapahtuu fysikaalisia muutoksia, jotka parantavat leivän laatua.

Levon aikana taikina kiinteytyy ja sen käsiteltävyys paranee taikinanesteen sitoutuessa jauhopartikkeleihin. [2, s. 125.]

Ylöslyönnissä levännyt taikina muotoillaan taikina-aihoiksi nostatusta varten. Ylöslyönnin aikana taikina paloitellaan ja muotoillaan pyöröriivaimella tai pitkäriivaimella lopulliseen muotoonsa. Ylöslyönnissä taikina sekoittuu, jolloin siitä poistuu kaasukuplia. Teollisissa leipomoissa ylöslyönti on osana linjastoa, jolloin taikina etenee ylöslyönnin eri vaiheista lopulta nostatusradalle. [2, s. 125.]

Nostatuksen aikana ylöslyönnissä muotoillut taikinapalat kohoavat hiivan tuottaman hiilidioksidin vaikutuksesta. Nostatukseen vaikuttavia tekijöitä ovat hiivan määrä, nostatusaika, lämpötila, kaasunpidätyskyky sekä elastisuus. Ruisleivän leivontaprosessissa raskilla on oma vaikutus nostatukseen. Korkea etikkahappopitoisuus hidastaa hiivan toimintaa, jolloin hiilidioksidin määrä jää vähäiseksi. Nostatuksen aikana on hankalaa erottaa nostatusvoimaa sekä kaasunpidätyskykyä. Taikina ei voi nousta, vaikka hiiva tuottaisi tarpeeksi kaasua, sillä taikina nousee vasta kun kaasu sitoutuu taikinan rakenteeseen. Kaasunpidätyskykyyn voidaan vaikuttaa tekemällä kovempia taikinoita, jolloin tarkkaillaan veden määrää taikinassa. [2, s. 126; 128.]

Viimeinen vaihe leivontaprosessissa on paisto. Paistossa leivän lopullinen rakenne muodostuu ja taikinassa olevat proteiinit denaturoituvat. Ruisleivän rakenne syntyy tärkkelyksestä, joka sitoo proteiinien tuottaman ylimääräisen veden itseensä, jolloin tärkkelys turpoaa ja liisteröityy. Paiston aikana on tärkeää, että ruisleivän happamuus on sopiva, jotta tärkkelyksen pilkkoutuminen estyy ja entsyymien toiminta hidastuu. Mikäli taikinan tärkkelystä pilkkoutuu liikaa paiston aikana, leivän rakenne voi romahtaa. Ruisleivän lopullinen väri sekä aromiaineet syntyvät paiston aikana, kun taikinan sokerit sekä aminohapot reagoivat keskenään. Toivottujen aromiaineiden kehitykseen kuluu aikaa, joten ruisleivillä paisto-aika on tavallisesti pitkä. [2, s. 126–128.]

### 3 Ruistaikinän reologia

Reologia käsitteenä kuvaa aineen muodonmuutosta sekä sen virtausta. Nämä ominaisuudet ovat avainasemassa käsiteltäessä taikinoita. Reologian avulla pystytään selvittämään taikinän ominaisuuksia eri olosuhteissa sekä tuotannon vaiheissa. [4, s. 1–2.] Näitä tietoja voidaan käyttää hyväksi taikinän toimintakyvyn arvioimisessa sekä taikinäprosessin eri vaiheissa kuten taikinän laadun arvioimisessa, prosessisuunnittelussa sekä taikinän nousun ennustettavuudessa. Reologisia ominaisuuksia on perinteisesti arvioitu vaivaamalla ja venyttämällä taikinaa.

Reologiset ominaisuudet ovat yleensä seurausta taikinän raaka-aineiden vuorovaikutuksesta ja suurimmat vaikutukset taikinän reologiaan on hiivalla, vedellä, jauholla sekä ilmalla. Hiiva muuttaa taikinän rakennetta alati, mikä tekee taikinän reologisten ominaisuuksien mittaamisesta haastavaa, sillä reologisten ongelmien havaitseminen on mahdollista vasta valmiista leivästä. Kuitenkin reologiset ominaisuudet sekä taikinän käyttäytyminen leivonnan aikana määrätty pitkälti leivonnan alkuvaiheista. [4, s. 343–344.]

Viimeinen vaihe, jolla voidaan vaikuttaa ruisleivän reologisiin ominaisuuksiin on sekoitusvaihe. Sekoituksen tarkoituksena on saada lopullinen taikina homogeeniseksi ja ilmaa sen joukkoon. Sekoituksen seurauksena jauhopartikkelit hydratoituvat eli vettyvät. Taikinän sekoitusvoimalla on tärkeä merkitys hydratoitumisessa; mitä suurempi sekoitusvoima sitä paremmin hydratoituminen tapahtuu. Yleensä ruistaikinoilla käytetään matalampaa sekoitus voimaa, jotta pentosaneille jää aikaa hydratuita. Sekoitusvaiheessa muut kriittiset tekijät sekoitusvoimakkuuden ohella ovat veden määrä sekä jauhojen laatu. Veden määrällä on tärkeä vaikutus taikinän reologisiin ominaisuuksiin, sillä mikäli taikinassa veden määrä jää liian vähäiseksi jauhojen komponentit eivät hydratoitu. Mikäli hydratoituminen ei tapahdu eli vettä ei ole tarpeeksi kaikille komponenteille taikinän rakenne ei ole optimaalinen. Ongelma muodostuu myös siitä, mikäli vapaata vettä on taikinassa liikaa. Silloin taikina jää löysäksi ja tarttuvaksi eikä taikina silloin vastusta laajenemista. [4, s. 344–347.]

## 4 Lean leipomossa

Lean on työtapojen kehittämismalli, jossa karsitaan kaikki yritykselle lisäarvoa tuottamattomat tekijät pois. Suoraan käännettynä lean tarkoittaa ohutta tai laihaa. Laiha työskentely tarkoittaa työtapaa, jossa saavutetaan haluttu lopputulos mahdollisimman pienellä vaivalla. Päästäkseen haluttuun lopputulokseen tulee prosessista poistaa tekijöitä, jotka eivät tuota lisäarvoa asiakkaalle. [5, s.3.] Poistettavia tai prosessista vähennettäviä tekijöitä ovat muun muassa jätteet, työvoima, tuotantotilat sekä investoinnit [6, s. 1].

Lean malli on saanut alkunsa Japanista Toyota Motor Corporationista [7]. Lean-tuotantojärjestelmän osa-alueet ovat ihmisten kehittäminen, prosessin tehostaminen sekä työkalut. Lean-tuotantojärjestelmässä kaikkien kolmen osa-alueen tulee toimia tasapainossa, jotta järjestelmästä saadaan paras mahdollinen hyöty. Leanin toteutuksen työkaluista osa on lähtöisin Toyotan ajoilta, ja osa on kehittynyt ajan kuluessa. Erilaisia työkaluja ovat muun muassa 5S, six sigma sekä standardisointi. [8, s. 179.]

Leipomossa lean-tuotantojärjestelmää voidaan hyödyntää monessa osa-alueessa. Yksi osa-alue on jätteen vähentäminen ja tuotteiden laadun parantaminen. Käytännössä leipomossa nämä toimenpiteet voidaan toteuttaa selvittämällä ensin mistä jätteet syntyvät ja keksiä uusia innovaatioita niiden vähentämiseksi. Toiseksi tuotteen laadun parantamiseen vaaditaan mittareita, joilla selvitetään laatuvaatimukset ja tämän jälkeen voidaan helposti selvittää mistä mahdolliset laadun epätasaisuudet johtuvat. [9, 10 s. 146–154.]

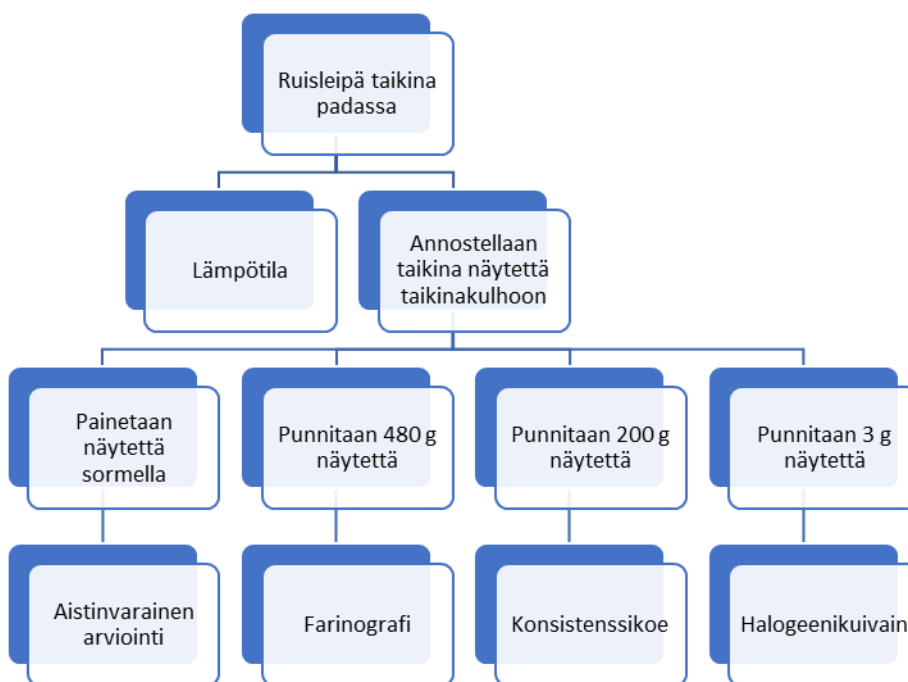
Leipomoteollisuudessa on olemassa erilaisia jätteiden lähteitä. Kun nämä jätteiden lähteet minimoidaan saadaan yritykselle enemmän lisäarvoa. Kyseisiä jätteen lähteitä ovat etäisyydet tuotannossa, odotusaika tuotannon välissä, ylituotanto, varaston ylikuormitus ja liiallinen kuljetus sekä optimointihäviöt, jolloin linjasto ei ole tasapainossa, ja näin yksi osa linjastosta pystyy valmistamaan enemmän tuotetta kuin toinen. [10 s, 146–154.]

Lean on hyvä työkalu leipomon tehostamiseen. Maria del Rocio Quesada Cast-ron sekä Juan Gregorio Arrieta Posadan tutkimuksessa havaittiin, että leanin käyttöönotossa leipomoon onnistutaan parhaiten, kun johto on sitoutunut kysei-seen toiminta tapaan ja yrityksellä on mahdollista tarjota taloudellista tukea. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin leanin käyttöönotossa mahdollisiksi ongelma-kohdiksi prosessin luonne, automatisointitasot, laatuvaatimukset sekä useiden tuotteiden lyhyt elinkaari. [9.]

## 5 Materiaalit ja menetelmät

### 5.1 Näytteet ja koeasetelma

Insinööriyössä päätettiin ottaa tarkasteluun Vaasan Oy:n Kuusankosken tehtaalla valmistettuja ruisleipätaikinoita (n=114). Tutkimuksessa tarkasteltiin yhden linjan ruistaikinänäytteitä. Taikinänäytteet kerättiin taikinapadoista, jossa ne olivat olleet patalevossa noin 10–15 minuuttia. Taikinaa kerättiin taikinakulhoon niin paljon, että siitä voitiin tehdä halogeenikuivaimen, farinografin, kartiokonsistenssimittarin sekä aistinvaraisen arvioinnin mittaukset. Välittömästi taikinänäytteen keräämisen jälkeen taikinasta mitattiin lämpötila ja insinööritöntekijä arvio taikinan aistinvaraisesti. Taikinan kovuutta tarkasteltiin aistinvaraisesti painamalla taikinänäytettä sormella. Kuvassa 2 nähdään taikinoille tehdyt mittaukset. Taikinänäytettä pyrittiin käsittelemään mahdollisimman vähän näytteen ottamisen jälkeen, jotta mittaustuloksissa ei näkyisi käsittelyn vaikutusta. Taikinänäytteiden lisäksi analysoitiin taikinan valmistuksessa käytetty raski.



Kuva 2 Ruistaikinoiden mittausten menetelmät



Tarkempaa mittausaikataulua ei ollut mahdollista tehdä, sillä tuotantosunnitelmat vaihtelivat päivittäin. Tarkoituksena oli tehdä yhden mittauspäivän aikana noin kahdeksasta taikina näytteestä mittaukset sekä näiden samojen taikinoiden valmistamiseen käytettyjen raskien mittaukset. Raskeista mitattiin osittain eri ominaisuuksia ja niitä tarkastellaan osiossa myöhemmin.

## 5.2 Konsistenssikoe

Konsistenssikokeita tehtiin halogeenikuivaimella (Precisa XM60, Sveitsi), farinografilla (Brabender GbH & Co. Farinograph-AT, Saksa) sekä konsistenttimittarilla (kartiokonsistenssi). Laitteiden antamia tuloksia vertailtiin keskenään Pearsonin korrelaatiolla sekä regressioanalyysillä, jotka tehtiin Excel-ohjelman avulla. Yrityksen kiinnostuksena oli ymmärtää, miten leipomoiden omia halogeenikuivaimia voitaisiin hyödyntää taikinoiden konsistenssimittauksessa ja miten halogeenikuivaimen tulokset vertautuivat muiden laitteiden antamiin tuloksiin. Kokeet pyrittiin suorittamaan mahdollisimman samanaikaisesti samoista taikinanäytteistä, jotta niitä pystytiin vertailemaan keskenään. Konsistenttikokeiden lisäksi suoritettiin muita taikinan ominaisuuksista kertovia kokeita kuten raskeille suoritettut pH ja happoluku kokeet.

Kyseiset mittausmenetelmät valikoituivat tutkimukseen, sillä aiemmissa yrityksen sisäisissä tutkimuksissa hyödynnettiin samoja mittausmenetelmiä. Aiemmat tutkimukset toteutettiin toisessa Vaasan Oy:n leipomossa, joten yritys tulee saamaan vertailukelpoista tietoa toisesta leipomosta.

## 5.3 Halogeenikuivaus

Tutkimuksessa oli kiinnostuttu sekä taikinoiden että raskien kosteuspitoisuudesta. Mittauksissa hyödynnettiin Precisa XM60 (Sveitsi) -halogeenikuivainta, jota käytetään taikinoiden kosteuspitoisuuden määrittämiseen (kuva 3). Halogeenikuivaus perustuu termogravimetriseen periaatteeseen, jossa kuiva-ainepitoisuus määritetään näytteen painosta, josta vesi on haihtunut voimakkaan halogeenivalon kuumentamisen seurauksena. Kuivauksen aikana laite määrittää

jatkuvasti näytteen painon sekä kosteushäviön. Kuivauksen päätyttyä laite ilmoittaa näytteen kosteuspitoisuuden sekä kuiva-ainepitoisuuden. [11.]

Mittaukset tehtiin punnitsemalla ensin metalliselle alustalle kolme grammaa taikina tai raski näytettä. Näyte levitetään tasaisesti alustalle ohueksi kerrokseksi, jotta kuivaus tapahtuu mahdollisimman nopeasti. Halogeenikuivain kuivattaa näytteen 200 °C:ssa, jonka jälkeen kosteuspitoisuus luetaan näytöltä. Raskien mittauksessa laitteelta kului aikaa noin 12 minuuttia ja taikinoiden mittauksessa noin 8 minuuttia. Halogeenikuivaimen mittaus prosessi on kuvattu kuvassa 3.

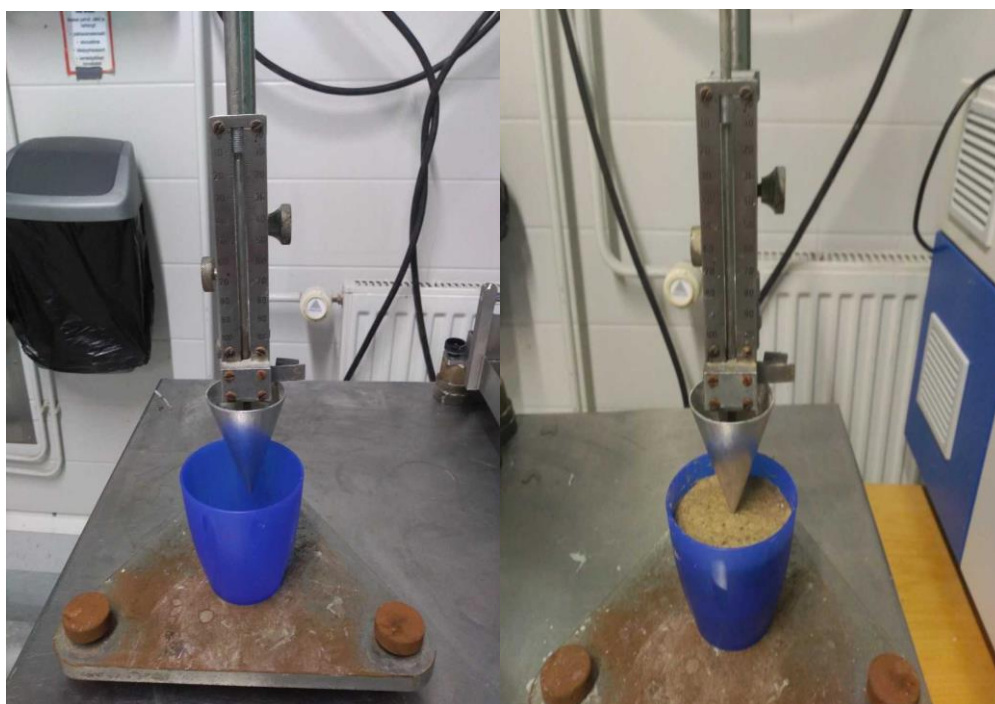


Kuva 3 Halogeenikuivain, jota käytettiin taikinoiden kosteuspitoisuuksien määrittämiseen. Kuvasarjassa ruistaikinänäyte punnitaan metallialustalle, jonka jälkeen se painellaan tasaiseksi.

#### 5.4 Kartiokonsistenssimittari

Konsistenttilaite on vanha-aikainen tapa mitata taikinan elastisuutta. Laitteessa oleva kartio painuu taikina tai raski näytteeseen, ja tällä selvitetään näytteen massan kovuutta.

Taikina tai raski näytettä punnittiin näytemukiin 200 g ja näyte paineltiin varovasti ja tasaisesti mukiin, mukissa olevan viivan (piirretty 1,7 cm alaspäin mukin reunasta) kohdalle. Tämän jälkeen muki asetettiin kartion alle siten, että kartion pää ei aivan osunut näytteeseen. Kartio annettiin olla vapaana 30 sekunnin ajan ja tämän jälkeen kartio pysäytettiin ja mitta-asteikolta luettiin kuinka pitkälle (millimetreinä) kartio on valunut näytteeseen (mm/30 s). Kuvassa 4 on havainnollistettu kartiokonsistenssimittarin mittaussprosessi.

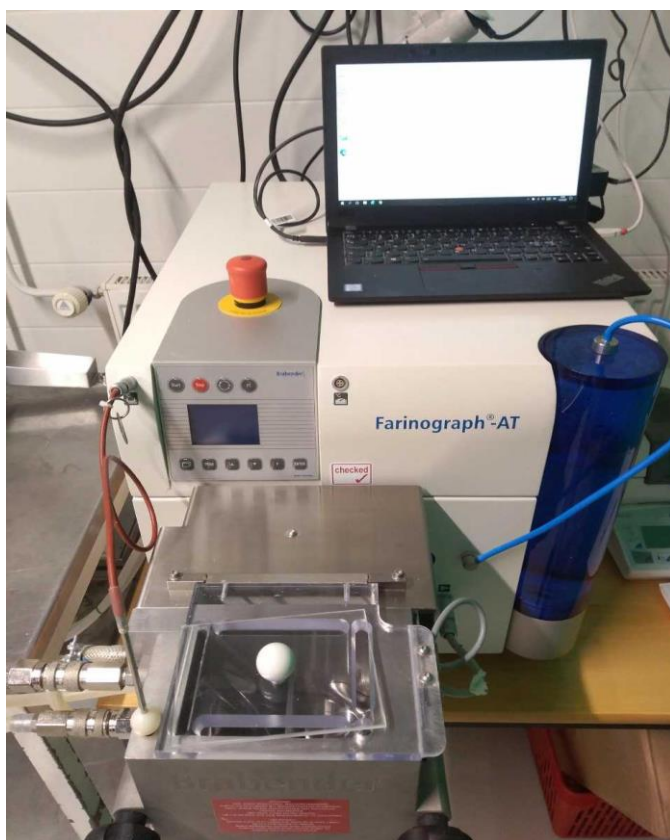


Kuva 4 Kartiokonsistenssimittari vasemmalla puolella ilman näytettä ja oikealla ruistaikinänäytteen kanssa

## 5.5 Farinografi

Leipomossa valmistettujen taikinoiden reologisia ominaisuuksia arvioitiin Brabender GbH & Co. Farinograph-AT (Saksa) -laitteella (kuva 5). Farinografi mittaa taikinan vääntömomenttia. Vääntömomenttien avulla arvioidaan jauhojen veden imeytymistä, suhteellista sekoittumisaikaa, ylisekoittumiskestävyyttä ja taikinan reologisia ominaisuuksia. Taikinan sekoitus tapahtui kahdella sigman

muotoisella terällä, jotka pyörivät nopeudella 3:2. Lämpötila pidettiin vakiona sekoituksen aikana termostaattiohjatulla kiertävällä vesihauteella, joka pumppasi vettä sekoituskaukalossa olevan ontelon läpi. Tutkimuksessa vesihaude asetettiin 30,5 °C:een. Tavallisesti farinografilla mitataan vehnä jauhojen ominaisuuksia, jolloin sekoituskaukaloon lisätään jauhoja ja farinografi lisää mittausten edessä vettä mittauskulhoon. Tässä työssä kuitenkin mitattiin taikinaa, jolloin farinografiin ei lisätty enää ylimääräistä vettä. Työssä haluttiin selvittää taikinan kovuutta ja sitä kuvasi farinografian konsistenssi, jonka mittayksikkö on FE. [12.]



Kuva 5 Farinografi

Farinografissa käytettiin 480 g taikinanäytettä. Taikina näyte eroteltiin näyte kulhosta toiseen kulhoon, kuitenkin niin että ylimääräistä taikinan painelua pyrittiin välttämään. Farinografiin asetettiin entuudestaan sovitut asetukset:

- metodina käytettiin Brabender ICC BIPEA 300 metodia.
- Mixerin oli asetettu 300 g:n ja arviointi oli Brabender\_ICC\_BIPEA.

- Vauhdiksi asetettiin 63,0 1/min.
- Näytteen paino oli 300 g.
- Kosteuspitoisuus oli 14 %
- mittausaika oli 6 min.
- WA oli 78 %.

Kun asetukset olivat valmiit voitiin farinografi käynnistää. Näyte asetettiin sekoituskaukalo koneen antamien ohjeiden mukaan ja silloinkin pyrittiin välttämään ylimääräistä painelua taikinaan. Sekoituskaukalon ympärillä oleva vaippa lämmitettiin 30,5 °C:een. Farinografian annettiin käydä 6 minuutin ajan. Mittauksen jälkeen farinografi antoi tuloksen FE-yksikkönä, joka kuvaa taikinan konsistenssia ja tarkoittaa taikinan elastisuutta (farinograph elasticity of dough) [13].

## 5.6 Taikinan rakenteen arviointi

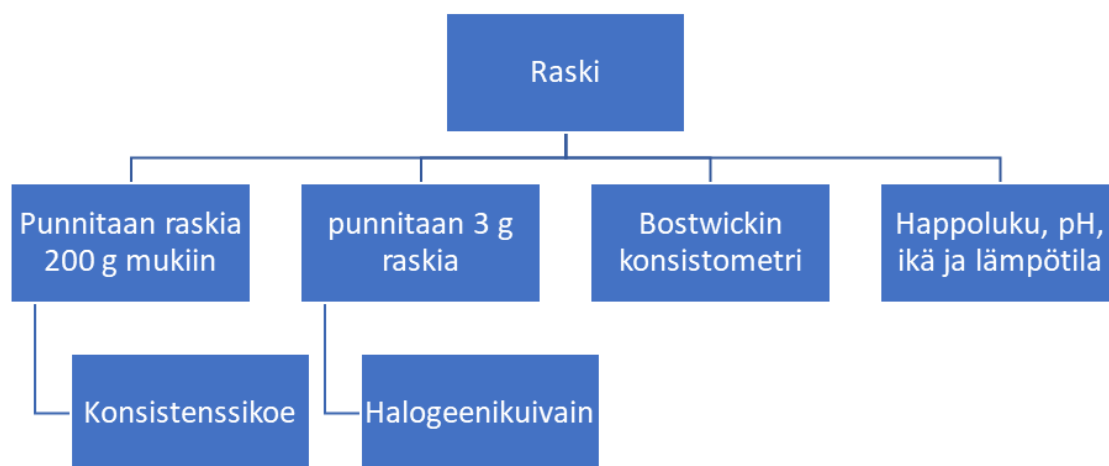
Aistinvarainen arviointi tehtiin ruistaikinanäytteestä, joka oli kerätty näyte astiaan. Insinööriyöntekijä arvioi näytteen aistinvaraisesti painamalla näyteastiassa olevaa taikinaa sormella, samalla arvioiden onko taikina löysän, kovan vai normaalin tuntuista. Haasteeksi aistinvaraisen arvioinnin mittaamisessa muodostui alkuvaiheessa puutteellinen aikaisempi kokemus taikinan arvioinnissa. Mittausten edetessä taikinoiden aistinvarainen arviointi muuttui luotettavammaksi.

## 5.7 Muut kokeet

### 5.7.1 Raski

Ruisraskeja mitattiin 37 kappaletta ja niiden mittaaminen tehtiin Bostwickin konsistometri -mittarilla (Englanti) sekä jo aiemmin esitetyillä kartiokonsistenssimittarilla ja halogeenikuivaimella. Taikinantekijät mittasivat raskeista myös pH,

happoluku, lämpötila sekä iän. Insinööriyöntekijän tehtävä oli kerätä taikinante-  
kijöiden mittaustulokset tabletilta. Raskien mittausten menetelmät ovat kuvassa 7  
vuokaaviona.



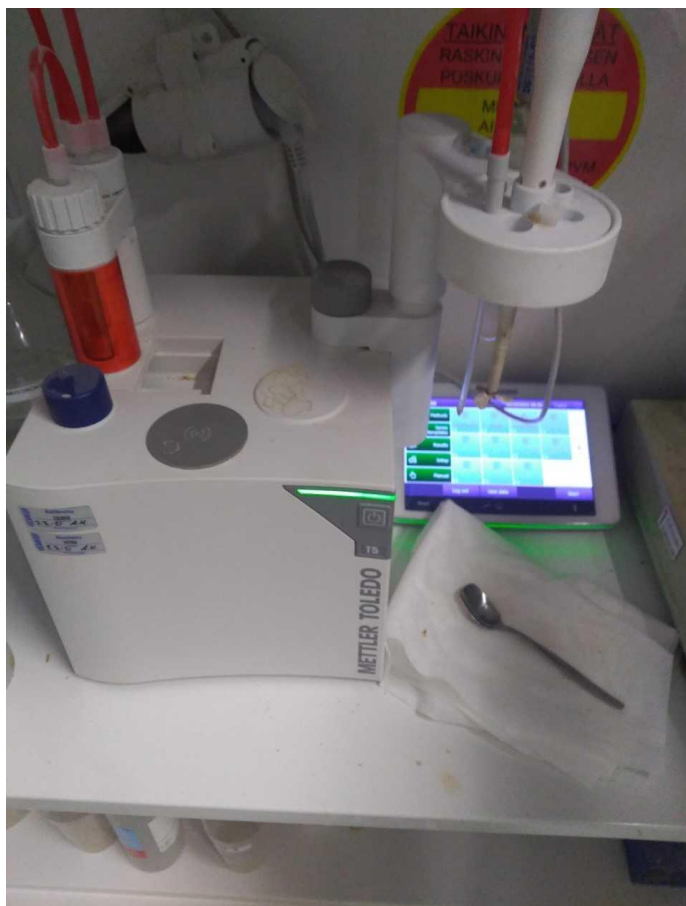
Kuva 6 Ruisraskin mittausten menetelmät

Bostwickin konsistometri -mittari (kuva 7) valittiin mittaustalitteeksi, sillä se mit-  
taa hyvin raskin viskoosia ja kertoo onko raski ollut löysää vai kovaa. Raskin  
ominaisuudesta oltiin kiinnostettu, sillä sen avulla voitiin arvioida lopullisen taiki-  
nan koostumusta. Mittauksessa Bostwicki laitteen alle asetettiin viisi senttimet-  
riä korkea alusta, jolloin mittarin valuma kulmaksi muodostui 9 asteen kulma  
pöydän tasoon nähden. Mittarin päähän asetettiin taikinoiden teossa käytettyä  
raskia siihen mentävän tilavuuden verran. Raskin määrää oli mahdotonta pun-  
nita sillä laite oli liian suuri punnitusaluealle, joten epävarmuutta mittauksiin ai-  
heutti raskin määrän vaihtelu. Tämän jälkeen raskin edessä oleva portti avattiin,  
jolloin raski valui mitta-asteikkoa pitkin 10 sekunnin ajan. Tämän jälkeen mitta-  
asteikolta luettiin raskin valuma pituus senttimetreinä (cm/10 s)



Kuva 7. Bostwick konsistometri mittausprosessi, ensimmäisessä ja toisessa kuvassa on tyhjä Bostwick laite, kolmannessa kuvassa raski näyte on asetettu kaukaloon ja neljännessä kuvassa kaukalon portti avattiin ja raski valui mittaria pitkin.

Taikinantekijät käyttivät happoluvun sekä pH:n määrittämisessä Mettler Toledo Titration Excellence T5 -titraattoria (kuva 8). Laitteen toiminta perustuu happo-emäs-titraukseen. Raskien pH:sta oli kiinnostuttu, sillä pH-arvo vaikuttaa paljon raskin mikrobien ja entsyymien toimintaan. Raskin pH-arvo ilmaisee siinä olevien positiivisten vetyionien määrän sekä niiden laadun. Tyypillisesti raskin pH on 3,8 ja valmiin leivän pH 4,5. Happoluvusta oltiin myös kiinnostuttu, sillä se kuvaa raskissa muodostuneiden happojen kokonaismäärää. Raskituksessa muodostuneista hapoista pääosa on maitohappoja näin ollen voidaan sanoa, että happoluku kuvaa maitohappojen määrää raskissa. [3, s. 124] Happoluku määritettiin näytteestä, josta ensin on mitattu pH ja tämän jälkeen näyte titrattiin emäksisellä liuoksella. Kun näytteen pH oli 8,5 titraus lopetettiin ja siinä vaiheessa kulunut emäksen määrä oli happoluku. Happoluku tyypillisesti on 13–15. [3, s. 124.]



Kuva 8. Mettler Toledo Titration Excellence T5 titraattori, jolla määriteltiin ruisraskin pH ja happoluku.

Raskin mittaaminen titraattorilla tapahtui siten, että ensin raski näytettä punnittiin muoviseen dekanteriin 10 g ja näytteen päälle punnittiin 100 g tislattua vettä. Raski näyte tuli olla hyvin sekoitettua ennen mittauksia. Elektrodista poistettiin suojatulppa täyttöaukosta ja samalla tarkistettiin, että täyttöliuoksen pinta oli hiososan yläpuolella. Elektrodi huuhdeltiin tislatulla vedellä ennen mittauksen aloitusta. Elektrodi sekä sekoittaja asetettiin näytteeseen siten, että näytteenpinta jäi elektrodin holkiliitoksen yläpuolelle. Lopuksi tarkistettiin, ettei sekoittaja osu elektrodiin tai mittausdekanterin seinämiin. Näytteen valmistelun jälkeen voitiin happolukuohjelma käynnistää. Titrauksen päätyttyä näytöltä luettiin happoluku sekä pH. [14.]



### 5.7.2 Lämpötila

Taikinoiden sekä raskien lämpötiloja oli tärkeää mitata, sillä oletettiin niiden vaikuttavan eritoten taikinoiden konsistenssiin. Tämän voi havaita esimerkiksi siitä, että mitä lämpimämpi tai kosteampi taikina oli, sitä löysempää taikina yleensä oli. Taikinan tekijän tehtävänä oli tarkkailla taikinoiden lämpötiloja ja säädellä sitä taikinaan lisätyn veden lämpötilan avulla. Taikinoiden sekä raskien lämpötiloja mitattiin TempTest Blue Smart Thermometer (valmistaja UK) mittarilla (kuva 9).



Kuva 9 Lämpötilamittari

### 5.8 Tulosten analysoinnin menetelmät

Mittausten tuloksia analysoitiin Excel-ohjelman avulla. Mittaustuloksista tehtiin kuvaajia sekä laskettiin erinäisiä kuvailevia tunnuslukuja. Analysointi suoritettiin halogeenikuivaimen toimiessa verrokkina, johon konsistenssia mittaavia laitteita

verrattiin. Excel-ohjelmalla laskettiin myös korrelaatiokertoimet sekä regressio-analyysit ja selvitettiin tulosten tilastollinen merkitsevyys.

## 6 Tulokset ja niiden tarkastelu

### 6.1 Yleistä

Tuloksista haluttiin selvittää, voitiinko kosteuspitoisuuden avulla selittää taikinan konsistenssia. Näin ollen tuloksissa keskitytään ensin tarkastelemaan ruistaikinan näytteiden (n=114) tuloksia, jolloin mahdollisesti saadaan yksiselitteinen selitys siitä, pystytäänkö pelkällä halogeenikuivaimella selittämään taikinan konsistenssia. Taikinanäytteiden tulosten tarkastelun jälkeen käydään lopuksi läpi raskien mittaustulokset. Raskien mittaustuloksia tarkastellaan myös konsistenssia mittaavien laitteiden näkökulmasta (kartiokonsistenssi ja Bostwick-mittarilla), jolla mahdollisesti selitetään lisää halogeenikuivaimen ja konsistenssin mahdollista yhteyttä. Saaduista mittaustuloksista tehtiin kuvaaja sekä laskettiin Excel ohjelman avulla regressioanalyysit halogeenikuivaimen toimiessa verrokkina.

### 6.2 Tilastolliset tunnusluvut ruistaikinanäytteistä

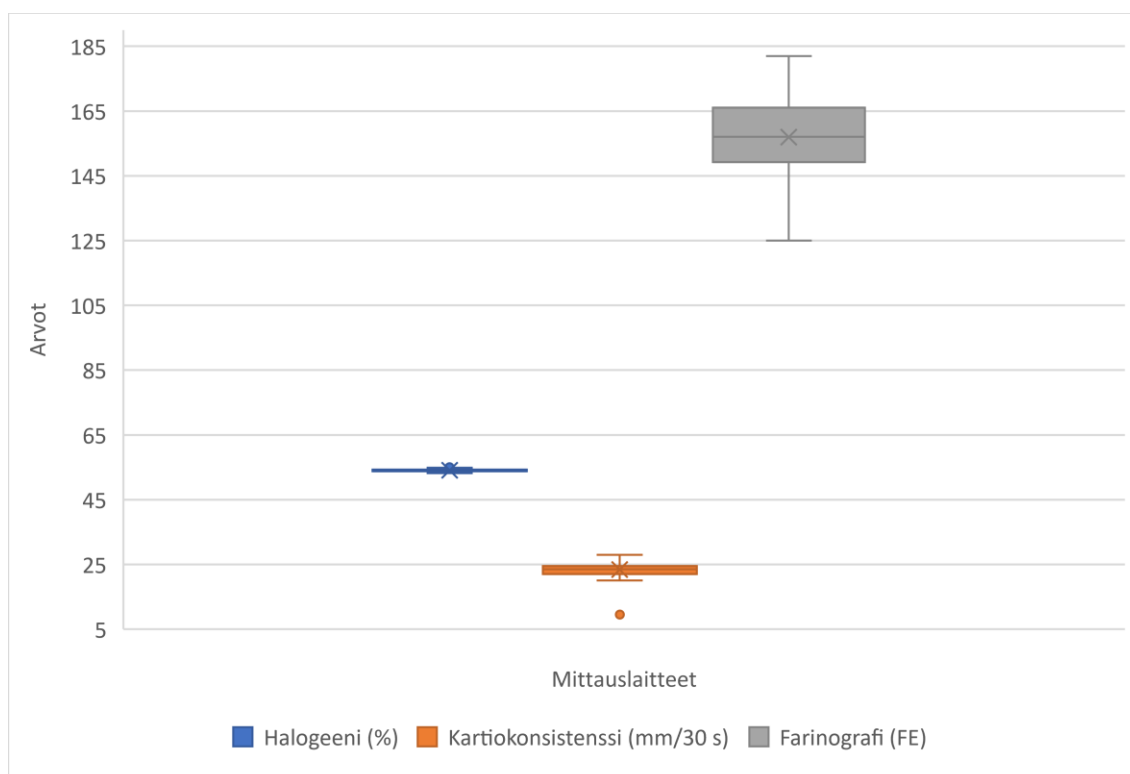
Tutkimuksen tavoitteen mukaisesti mittaustuloksia lähdettiin tarkastelemaan halogeenikuivaimen tulosten (eli kosteuspitoisuuden) toimiessa verrokkina. Tavoitteena oli selvittää voidaanko kosteuspitoisuuden tulosta selittää, jonkin muun mittaustuloksen (kuten kartiokonsistenssin tai farinografin) suhteen. Taulukossa 1 on esitetty eri mittauksissa laskettuja tunnuslukuja.

Taulukko 1 Mittaustulosten kuvailevia tunnuslukuja ruistaikinanäytteistä

Kuvailevia tunnuksia	Halogeeni (%)	Kartiokonsistenssi (mm/30 s)	Farinografi (FE)
<b>Keskiarvo</b>	54,04	23,36	156,96
<b>Mediaani</b>	53,99	23,5	157
<b>Keskihajonta</b>	0,44	2,15	11,47
<b>Minimi</b>	53,14	9,5	125
<b>Maksimi</b>	56,05	28	182
<b>Havaintojen lkm.</b>	114	114	114

Taulukosta 1 havaitaan, että kaikilla mittauslaitteilla keskiarvo ja mediaani ovat hyvin lähellä toisiaan, jolloin millään mittauslaitteilla ei esiinny monia poikkeavia arvoja. Poikkeavia havaintoja ovat havaintoarvot, jotka poikkeavat vastaavista havaintoarvoista, tai jotka eivät noudata muiden arvojen noudattamaa mallia. Poikkeavat arvot voivat syntyä kirjoitus-, kopiointi- tai mittausvirheistä. Poikkeava arvo voi olla aito arvo, joka on vain hyvin harvinainen. [15, s. 287.] Mittauslaitteiden keskihajonnat ovat pieniä ja ne kasvavat, kun havaintojen arvo välit kasvavat. Halogeenikuivaimella havaintoarvojen väli on pienin, jolloin keskihajonta on myös pienin, kun taas farinografin arvoväli on suurin, jolloin keskihajonta on siinä suurin.

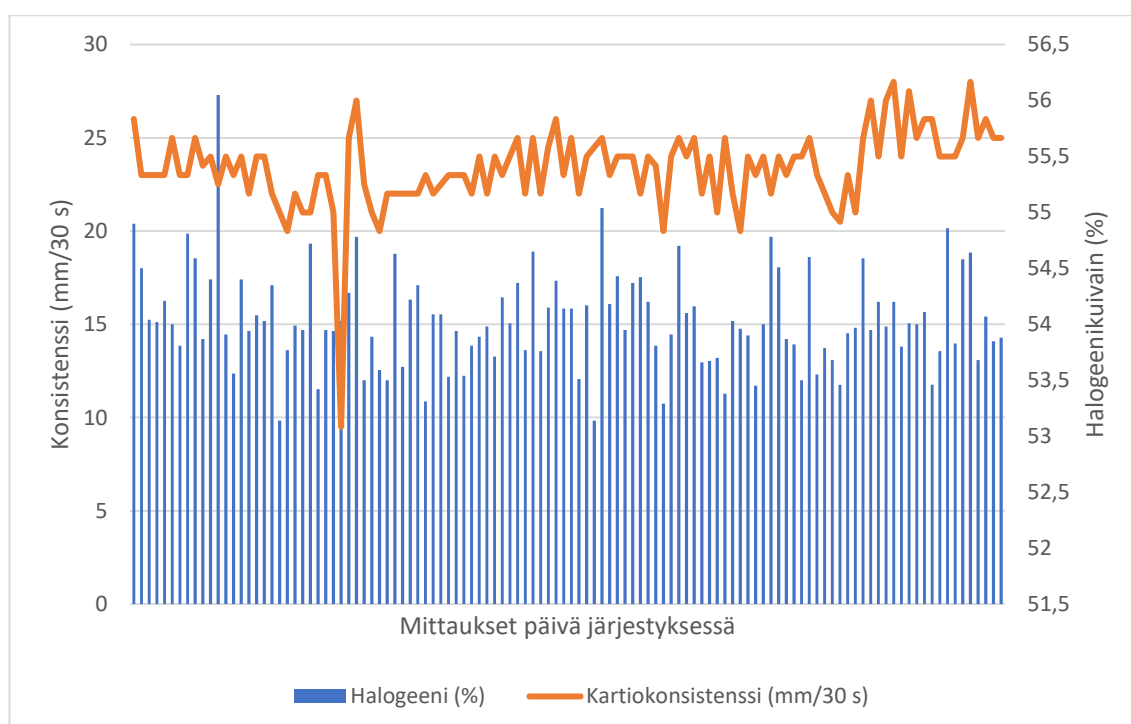
Taulukon 1 tuloksista piirrettiin Excelillä kuvaajia. Kuvaajien avulla voidaan helpommin hahmottaa mittauksia. Kuvassa 10 on esitetty eri mittauslaitteiden haja- ja keskiarvoja. Keskiarvot on havainnollistettu kuvaajien keskellä olevien rastien avulla ja haja-arvot ovat kuvaajan hakaset.



Kuva 10 Mittaustulosten keski- ja haja-arvoja ruistaikinäytteistä

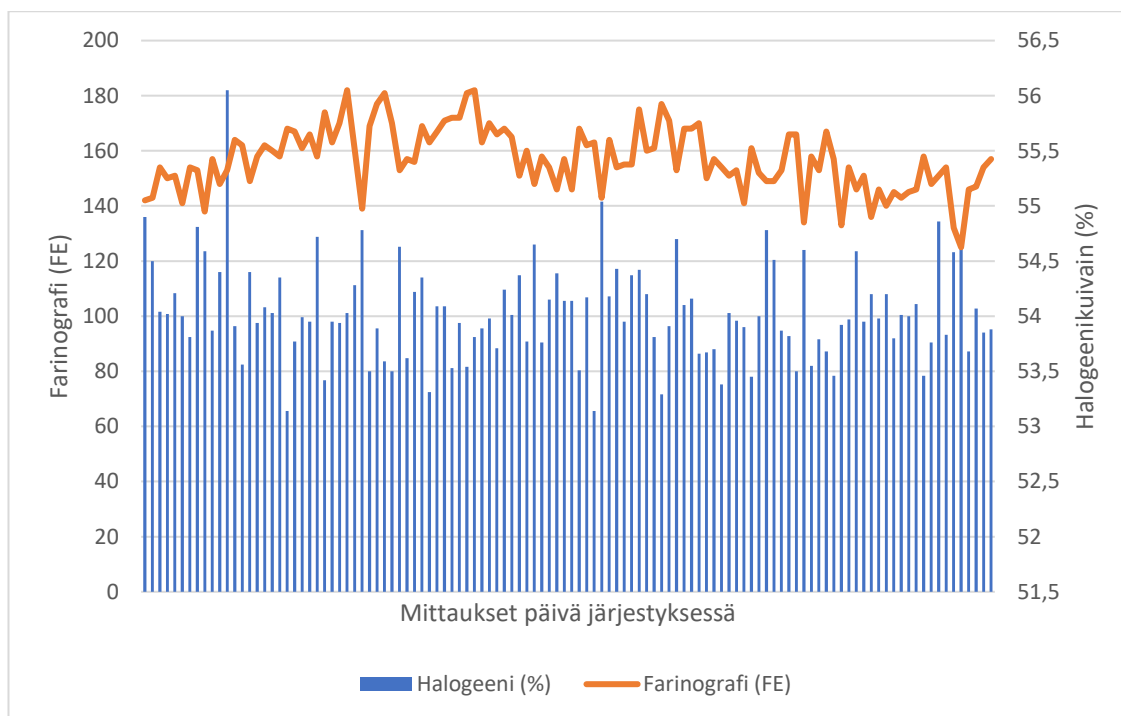
Kuvaajasta havaitaan sama kuin tunnusluvuista eli suurin vaihtelu mittaustuloksissa on farinografilla ja pienin halogeenikuivaimella. Kartiokonsistenssin tuloksissa on yksi merkittävästi poikkeava tulos, joka on pisteenä kartiokonsistenssi palkin alla. Kartiokonsistenssin poikkeava tulos johtune mittauksen yhteydessä tapahtuneesta virheestä. Mittauksen aikana mittauslaitteen kartio pysähtyi heikon otteen johdosta, jolloin kartion pudotusvoima heikkeni, ja kartio ei valunut niin syväälle taikinaan kuin muissa onnistuneissa mittauksissa. Muista mittaustuloksista eroava tulos havaitaan myös halogeenikuivaimen kohdalla, jossa poikkeava tulos on osittain palkin päällä. Kyseiselle poikkeavalle tulokselle ei löydy loogista selitystä, sillä taikinassa käytetyn raskin arvot olivat raja-arvojen sisällä, eikä mittauksen yhteydessä tapahtunut mitään normaalista poikkeavaa.

Seuraavaksi tarkastellaan kuinka muiden mittauslaitteiden (kartiokonsistenssin ja farinografin) tulokset vertautuvat halogeenikuivaimen tuloksiin. Kuvassa 11 on havainnollistettu kartiokonsistenssin ja halogeenikuivaimen mittaustulokset.



Kuva 11 Halogeenikuivaimen ja kartiokonsistenssin tulokset ruistaikinänäytteistä (n=114)

Kuvaajasta havaitaan halogeenikuivaimen ja kartiokonsistenssin tulosten mu-  
kailevan toisiaan: kun kartiokonsistenssi saa suuria arvoja myös halogee-  
nikuivain saa suurempia arvoja. Kuvaajan käyrästä erottuu myös kartiokonsis-  
tenssin poikkeava arvo. Kuvaajan palkeista voidaan myös havaita muita korke-  
ampi palkki, joka on halogeenikuivaimen poikkeava arvo.



Kuva 12 Halogeenikuivaimen ja farinografin tulokset ruistaikinanäytteistä (n=114)

Kuvaajasta havaitaan, että halogeenikuivaimen tulosten kasvaessa farinografin tulokset pienenevät. Kuvaajat eivät kerro koko totuutta mahdollisista korrelaatioista, mutta kuvaajassa havaitut mahdolliset yhteydet on syytä selvittää tarkemmillä tilastollisilla tutkimuksilla.

### 6.3 Normaalijakauma ja korrelaatio ruistaikinanäytteistä

Normaalijakauma on monen tilastollisen testin oletusarvo. Se on myös yleisin todennäköisyysjakauma. Empiirisen jakauman normaalisuutta voidaan arvioida vinoudella ja huippukuudella. Vinous ja huipukkuus määritetään Excelin avulla. Vinous ja huipukkuus (kurtosis) ovat suoran jakauman tunnuslukuja ja ne mitaavat jakauman poikkeamaa normaalijakaumasta. Jakauman vinouden tulee olla nolla, jotta muuttujat olisivat normaalisti jakautuneita. Huipukkuuden tulos alkuperäisesti tulee olla +3, jotta muuttujat olisivat normaalisti jakautuneita. Excelissä huipukkuudessa käytetään ”normitettua” tunnuslukua. Kun tämä tunnusluku saa arvon nolla muuttujat ovat normaalisti jakautuneet. Tuloksen poikkeassa selvästi nolasta muuttujat eivät ole normaalisti jakautuneita. [15, s. 94–95.] Taulukossa 2 on huipukkuuden sekä vinouden tulokset koko ruistaikinanäytteiden aineistosta.

Taulukko 2 Muuttujien huipukkuus (kurtosis) ja vinous ruistaikinanäytteistä n=114

Sarake1	Halogeeni	Kartiokonsistenssi	Farinografi
Huipukkuus	2,86	14,26	-0,13
Vinous	0,96	-2,17	-0,074

Taulukosta 2 nähdään halogeenikuivaimen tulosten poikkeavan hieman nolasta sekä huipukkuuden että vinouden suhteen. Poikkeavuuteen vaikuttanee kuvassa 11 nähtävä poikkeava tulos (56,05 %). Kyseiselle poikkeavalle tulokselle ei löydy loogista selitystä, niin kuin aiemmin todettiin. Näin ollen tulos saa jäädä otantaan, mutta sen vaikutusta tarkastellaan kriittisesti tilastollisissa testeissä. Farinografin muuttujat ovat taulukon 2 valossa normaalisti jakautuneita. Kartiokonsistenssin tulokset eivät ole normaalisti jakautuneita, mikä johtunee kuvassa 10 havaittavasta poikkeavasta tuloksesta (9,5 mm/30 s). Aiemmin selvitettiin poikkeavan tuloksen johtuvan mittausvirheestä, joten näin ollen tämä muista merkittävästi poikkeava tulos voidaan poistaa otannasta mittausvirheeseen vedoten. Taulukosta 3 on kartiokonsistenssin kohdalta poistettu kyseinen mittausvirhe, mutta muut tulokset ovat pysyneet samoina.

Taulukko 3 Muuttujien huipukkuus (kurtosis) ja vinous kartiokonsistenssi ruistaikinanäytteistä n=113

Sarake1	Halogeeni	Kartiokonsistenssi	Farinografi
Huipukkuus	2,86	0,081	-0,13
Vinous	0,96	0,25	-0,074

Taulukosta 3 huomataan kartiokonsistenssin normaalijakaumaan vaikuttaneen suuresti mittausvirhe. Kun kartiokonsistenssista poistetaan mittausvirhe tulokset noudattavat normaalia jakaumaa.

Kun on varmistettu, että tulokset noudattavat normaalijakaumaa, voidaan siirtyä tarkastelemaan muuttujien korrelaatioita. Korrelaatiokerrointa voidaan hyödyntää, kun halutaan tutkia muuttujien välistä yhteyttä. Korrelaatiokerroin mittaa muuttujien välisen yhteyden voimakkuutta. Yleisin korrelaatiokerroin on Pearsonin korrelaatiokerroin ja sitä voidaan hyödyntää, kun muuttujat ovat mitattu välimatka- tai suhdeasteikolla. Muuttujien tulee noudattaa ainakin likimäärin normaalijakaumaa ja tapausten tulee muodostaa satunnaisotokset perusjoukosta. Korrelaatiokerroin poikkeaa yleensä nolasta ja on välillä -1 ja +1. Mitä lähempänä korrelaatiokerroin on lukua 1, sitä voimakkaampaa muuttujien välinen lineaarinen yhteys on. Korrelaatiokertoimen ollessa positiivinen luku hajontakuvion pisteet sijaitsevat nousevalla suoralla, kun taas korrelaatiokertoimen ollessa negatiivinen, hajontakuvion pisteet sijaitsevat laskevalla suoralla. [15, s. 233–234, 242.]

Korrelaatiokertoimeen vaikuttaa suuresti arvot, jotka selkeästi poikkeavat muusta aineistosta. Tämä johdosta päätettiin Pearsonin korrelaatio toteuttaa samalla tavalla kuin toinen normaalijakauman testaus eli ilman kartiokonsistenssin mittausvirhettä. Tämän takia tarkasteltavien havaintojen määrä on 113. Taulukossa 1 on esitetty muuttujien välinen korrelaatiomatriisi, jossa ei ole käytetty poikkeavaa havaintoa, jolloin havaintojen määrä on 113.

Taulukko 4 Pearsonin korrelaatiomatriisi ruistaikinanäytteistä otoskoko n=113



<i>Mittauslaitteet</i>	<i>Halogeeni</i>	<i>Kartiokonsistenssi</i>	<i>Farinografi</i>
<b>Halogeeni</b>	1		
<b>Kartiokonsistenssi</b>	0,276 p-arvo 0,0031	1	
<b>Farinografi</b>	-0,471 p-arvo 1,4E-07	-0,589	1

Taulukon 4 tulosten perusteella havaitaan, että halogeenikuivaimen tulosten suhteen kartiokonsistenssi ja farinografi eivät ole suurempia kuin 0,5 tai -0,5. Pearsonin korrelaatio kerroin osoittaa vain heikkoa lineaarista yhteyttä muuttujien välillä, jos luku jää alle 0,5 tai -0,5. Kuitenkin vaikka muuttujien välillä olisi vain heikko lineaarinen yhteys se voi olla käytännössä tärkeä, sillä korrelaatio mittaa vain lineaarista yhteyttä. [15, s. 256.]

Halogeenikuivaimen ja farinografin tuloksilla on tilastollisesti suurempi merkitsevyys, kuin halogeenikuivaimen ja kartiokonsistenssin tuloksilla. Halogeenikuivaimen ja farinografin korrelaatio on negatiivinen, kun taas kartiokonsistenssilla ja halogeenikuivaimella korrelaatio on positiivinen. Halogeenikuivaimen ja farinografin negatiivinen korrelaatio voidaan perustella samaan aiheeseen pohjautuvan opinnäytetyön tulosten perusteella. Työssä havaittiin farinografin arvojen suurenevan, mitä kovempaa ruistaikina on [16.] Kovemmassa ruistaikina on enemmän kuiva-ainetta kuin löysemässä taikinassa tämän takia, siinä on myös pienempi kosteuspitoisuus (halogeenikuivaimen tulos). Näiden havaintojen pohjalta voidaan selittää farinografin ja halogeenikuivaimen negatiivinen korrelaatio.

Halogeenikuivaimen ja kartiokonsistenssin korrelaatio on positiivinen. Tämä havainto voidaan selittää myös tarkastelemalla aiemmin mainitun opinnäytetyön tuloksia. Opinnäytetyössä oli havaittu tilastollisesti merkitsevä yhteys farinografin ja rakenneanalyysoitsijan tulosten välillä. Työssä havaittiin rakenneanalyysoitsijan arvojen suurenevan, kun farinografin arvot suurensivat. Rakenneanalyysoitsijassa oleva anturin työntyy taikinanäytteeseen ja samalla mittaa siihen käyttämän työn voimakkuutta. Näin ollen, mikäli taikina näyte on kovaa rakenneanalyysoitsijaa tekee kovemmin töitä upotukseen näytteeseen ja saa näin suurempia

arvoja [16.] Kuitenkin kartiokonsistenssissa, mikäli näyte on kovempaa kartio ei valu näytteeseen syvälle, jolloin mittauslaitteen arvot (mm) jäävät pieneksi. Näin ollen taikinan ollessa kovaa sekä kartiokonsistenssin arvot, että halogeenikuivaimen (kosteuspitoisuuden) arvot jäävät pieniksi.

Insinööriyössä oli kiinnostuttu halogeenikuivaimen tulosten suhteesta konsistenssia mittaaviin laitteisiin, kuitenkin taulukosta havaitaan farinografilla - ja kartiokonsistenssin tuloksilla olevan merkitsevä negatiivinen lineaarinen yhteys (-0,589). Tämä on mielenkiintoinen havainto, sillä farinografian ja kartiokonsistenssin tulisi mitata samaa muuttujaa (konsistenssia), jolloin tulosten tulisi muokkautua toisiaan. Negatiivinen korrelaatio voidaan kuitenkin selittää aiemmin viitatussa opinnäytetyön tuloksiin. Kartiokonsistenssi saa pieniä arvoja kovassa taikinassa, kun taas farinografi saa suuria arvoja. Tästä johtuen muuttujien välinen negatiivinen korrelaatio toteutuu myös käytännössä.

Taulukossa on myös korrelaatioiden p-arvot. P-arvo kuvaa tilastollisen virheen todennäköisyyttä. Mikäli p-arvo on alle 0,05 tulos on melkein merkitsevä, kun p-arvo on alle 0,01 tulos on merkitsevä ja jos p-arvo alittaa 0,001 tulos on erittäin merkitsevä. [17] Taulukosta havaitaan, että kartiokonsistenssin ja halogeenikuivaimen p-arvo on alle 0,01, jolloin sen tulos on tilastollisesti merkitsevä ja farinografian ja halogeenikuivaimen p-arvo alittaa 0,001, jolloin niiden korrelaatiot ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä.

#### 6.4 Regressioanalyysi ruistaikinänäytteistä

Kun korrelaatiokertoimen avulla on selvitetty muuttujien välinen tilastollinen riippuvuus, voidaan selvittää onko muuttujien välillä syy-seuraussuhdetta. Regressioanalyysin tavoitteena on löytää muuttujien välinen yhteys ja kuvata sitä matemaattisen mallin avulla. Muuttujia on kaksi, joista halogeenikuivaimen tulokset ovat selittäviä (x) muuttujia ja farinografi ja kartiokonsistenssi ovat selitettäviä muuttujia (y). Havaintojen pistejoukoista sovitetaan regressioyhtälöön. [15, s. 261.]

$$y = b_0 + b_1x$$

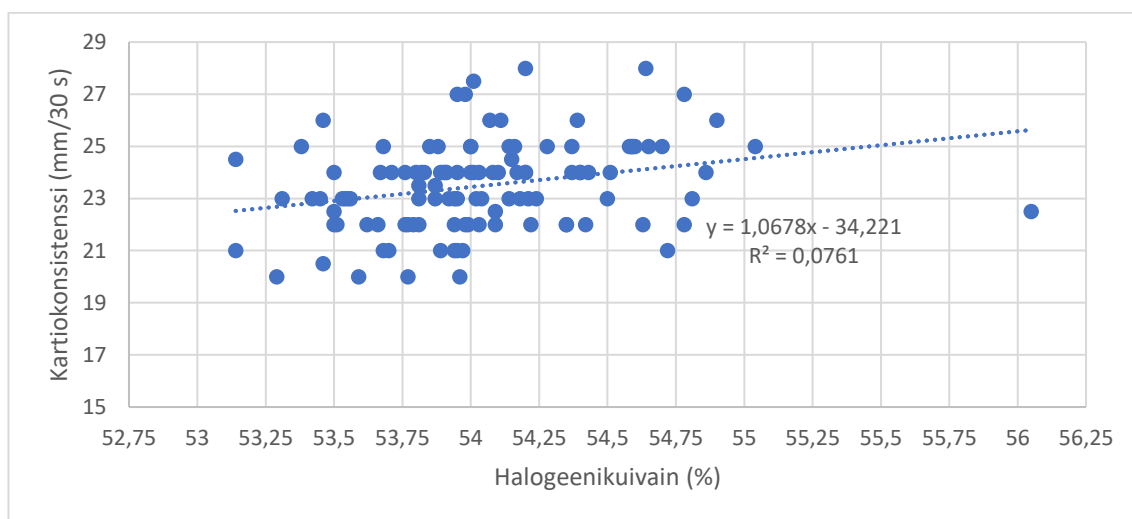
Regressioyhtälön parametrit saadaan pienimmän neliösumman menetelmällä

$$b_1 = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

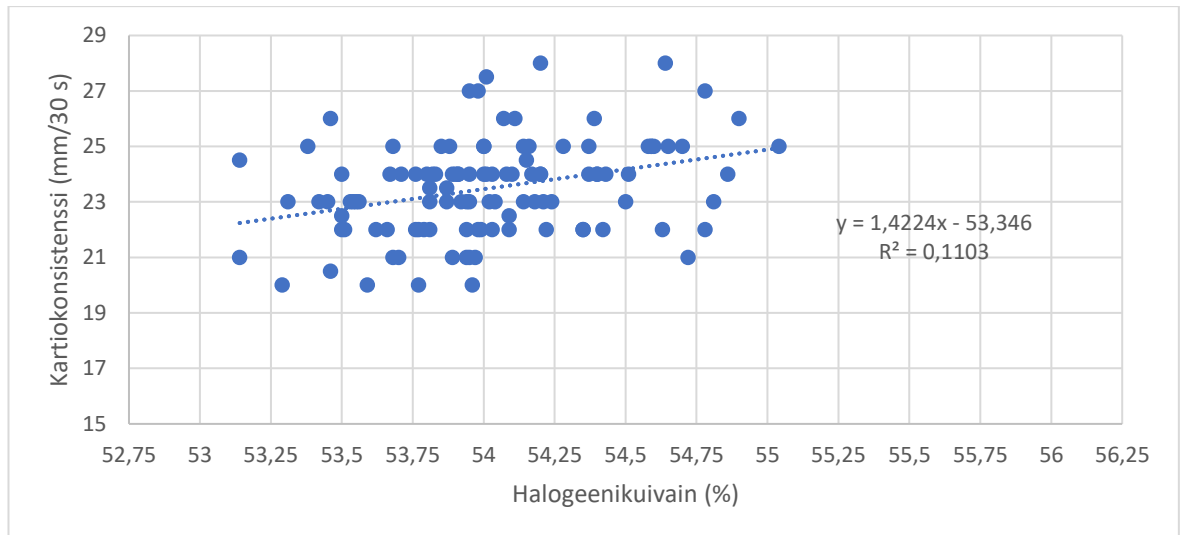
$$b_0 = \frac{\sum y_i - b_1(\sum x_i)}{n} = \bar{y} - b_1\bar{x}$$

Regressiokertoimista vakio  $b_1$  ilmaisee suoran kulmakertoimen ja vakio  $b_0$  ilmaisee pistettä, jossa suora leikkaa y-akselin. Kulmakerroin ilmaisee mihin suuntaan y:n arvot muuttuvat, kun x kasvaa yhden yksikön verran. [15, s. 260–261.]

Kuvassa 13 on regressiosuora kartiokonsistenssin ja halogeenikuivaimen suhteen. Kuvassa 14 on sama regressiosuora, josta on poistettu muista tuloksista selkeästi poikkeava piste (56,05;22,5). Regressiosuoralla tärkeä muuttuja on selityskerroin ( $R^2$ ), jonka avulla voidaan selvittää kuinka luotettavina regression ennustetta voidaan pitää. Vaikka selityskerroin olisi suuri se ei välttämättä takaa tarkkoja ennusteita. [15, s. 277.]



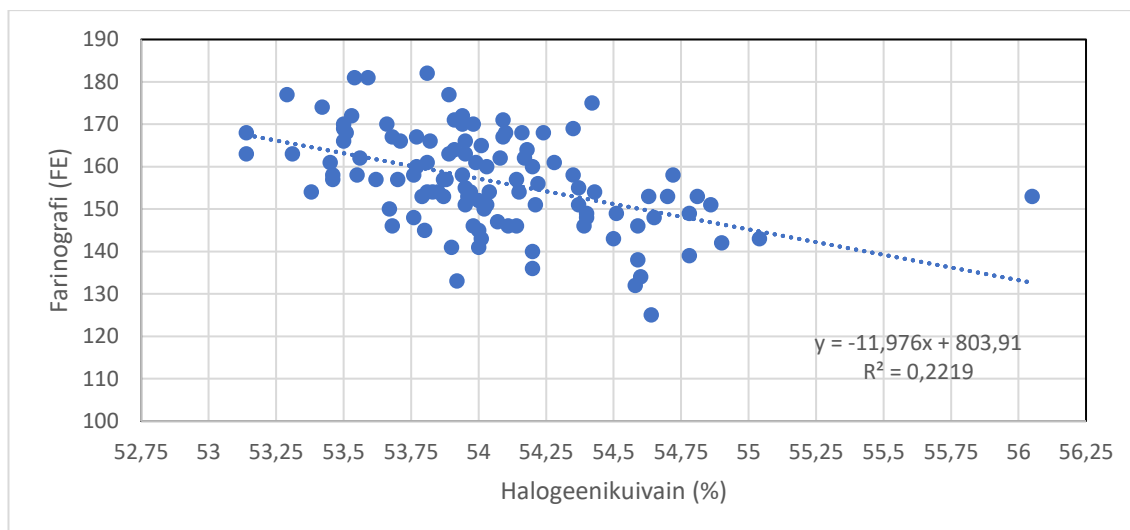
Kuva 13 Regressiosuora ruistaikinanäytteistä kartiokonsistenssin suhteen (n=113). Selityskertoimen  $R^2$ :n mukaan 7,6 prosenttia kartiokonsistenssin arvoista voidaan selittää halogeenikuivaimen tulosten vaihteluilla.



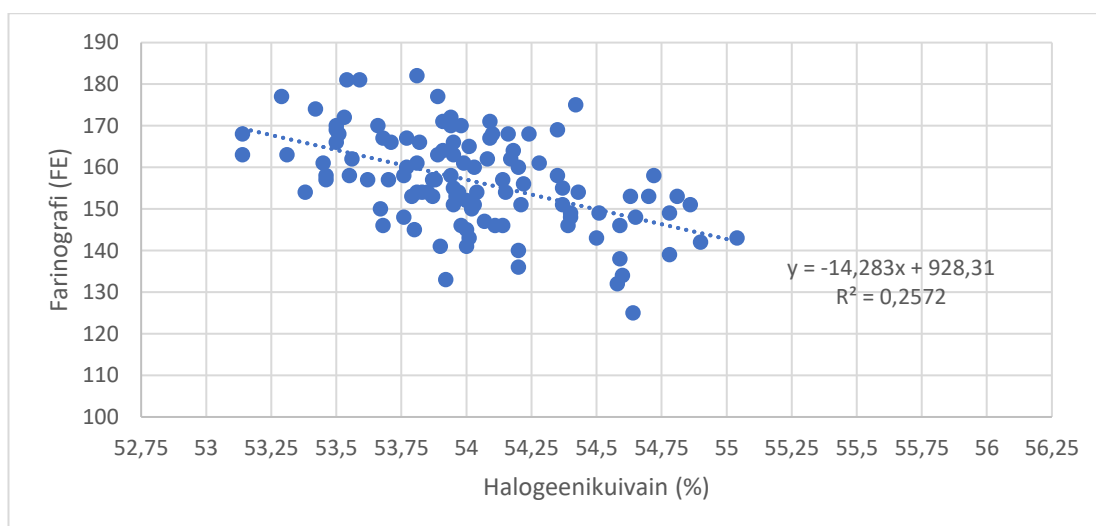
Kuva 14 Regressiosuora ruistaikinanäytteistä kartiokonsistenssin suhteen (n=112). Selityskertoimen  $R^2$ :n mukaan 11,0 prosenttia kartiokonsistenssin arvoista voidaan selittää halogeenikuivaimen tulosten vaihteluilla.

Regressiosuorasta nähdään muuttujien välinen selityskerroin, joka kuvaa kuinka monta prosenttia muuttujan y arvon vaihteluista voidaan selittää muuttujan x avulla. Selityskertoimen ollessa pieni, x-muuttuja ei yksin selitä y-arvojen vaihteluista vaan suurin osa johtuu silloin muusta kuin x:stä. [15, s. 278.] Kuvan 13 mukaan selityskerroin jää varsin pieneksi eli 7,6 %, jolloin voidaan sanoa, ettei halogeenikuivaimen arvot selitä paljoakaan kartiokonsistenssin arvoista. Kuitenkin kuvasta 14 havaitaan selkeä parannus selityskertoimeen 11 %. Tulokseen täytyy kuitenkin suhtautua kriittisesti, sillä poistetun pisteen mittaustilanteissa ei havaittu mitään poikkeavaa.

Yhden muuttujan regressioissa selityskerroin jää usein pieneksi, sillä harvemmin pystytään vain yhden muuttujan suhteen selittämään täysin toisen muuttujan vaihteluita. Näin ollen selityskertoimen tulos ei ole yllättävä. Kuvassa 15 on vastaava regressiosuora farinografin ja halogeenikuivaimen suhteen ja kuvassa 16 on sama kuvaaja, josta on poistettu muista selkeästi poikkeava tulos (56,05;153).



Kuva 15 Regressiosuora ruistaikinanäytteistä farinografin suhteen (n=113). Selityskertoimen  $R^2$  mukaan 22 prosenttia farinografin arvoista voidaan selittää halogeenikuivaimen tulosten vaihteluilla.



Kuva 16 Regressiosuora ruistaikinanäytteistä farinografin suhteen (n=112). Selityskertoimen  $R^2$  mukaan 25,7 prosenttia farinografin arvoista voidaan selittää halogeenikuivaimen tulosten vaihteluilla.

Kuvasta 15 havaitaan selityskertoimen olevan parempi kuin kartiokonsistenssilla. Selityskertoimen mukaan 22 % farinografin tuloksista voidaan selittää halogeenikuivaimen tulosten vaihteluilla. Tulos on varsin hyvä yhden muuttujan regressiossa. Kun kuvaajasta (kuva 16) poistetaan poikkeava piste (56,05;153) tulos paranee 25,7 %:iin. Regressiosuorien analysoimisen jälkeen suoritetaan

Excel-ohjelmalla regressioanalyysi. Regressioanalyysin keskeisimmät tulokset ovat esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5 Regressioanalyysin arvoja ruistaikinänäytteistä n=113

Halogeeni x-muuttuja	Kertoimet	Keskivirhe	Kerroin R	T-arvo	P-arvo
Kartiokonsistenssi y-muuttuja	1,068	0,353	0,276	3,023	0,0031
Farinografi y-muuttuja	-11,976	2,129	0,471	-5,625	1,4E-07

Taulukosta 5 tarkastellaan ensin arvoja, jotka vaikuttavat mallin tilastolliseen merkitsevyyteen eli t- ja p-arvoja. T-arvon avulla testataan, poikkeavatko parametrin arvot tilastollisesti nolasta. Mikäli parametrin arvot poikkeavat tilastollisesti nolasta t-arvon tulisi itseisarvona vähintään kaksi. Kun tarkastellaan taulukosta muuttujien t-arvoja havaitaan molempien t-arvojen olevan itseisarvoltaan suurempia kuin kaksi, jolloin molemmat muuttujat poikkeavat selvästi nolasta. P-arvo kuvaa myös mallin tilastollista merkitsevyyttä. Molemmat p-arvot ovat tilastollisesti merkitseviä, sillä arvot ovat pienempiä kuin 0,01. Näin ollen regressioanalyysin kaikki arvot eroavat tilastollisesti merkitsevästi nolasta.

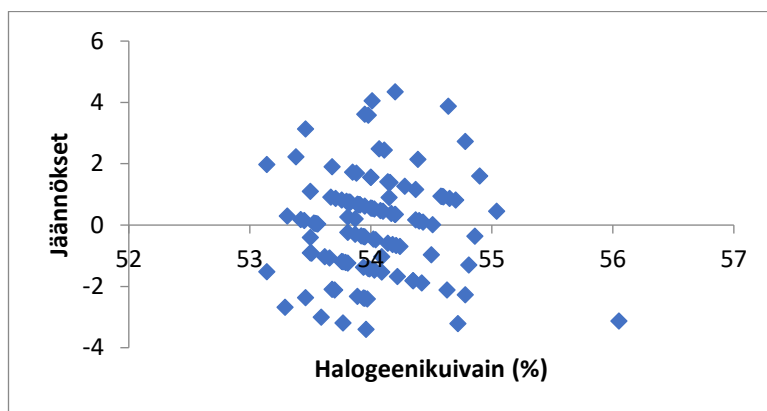
Taulukon kertoimet kuvaavat kuinka paljon y-muuttujan arvo muuttuu, kun x-muuttujan arvo nousee yhdellä. Kertoimista voidaan päätellä, että kun halogeenikuivaimen eli kosteuspitoisuuden arvon nousee yhdellä kartiokonsistenssin arvo nousee myös yhdellä. Toisessa regressioanalyysissä kosteuspitoisuuden arvo nousee yhdellä, jolloin farinografian arvo laskee kahdellatoista.

Keskivirheellä kuvataan regression onnistuneisuutta ilmoittamalla regressiomallin virhetermien keskihajonnan. Mallin selitysvoima on sitä pienempi mitä suurempi keskivirheen luku on. [17] Kartiokonsistenssissa keskivirhe on hyvin pieni ja näin ollen sen selitysvoima on suuri. Farinografissa keskivirheen arvo on suurempi, mutta kun sen suhteuttaa farinografian vaihtelu väliin (125–182 FE) arvo ei ole kovin suuri, joten farinografian selitysvoimaa voidaan pitää myös kohtuullisen hyvänä.

Kerroin R kuvaa regression korrelaatioita, joten tulokset ovat samat kuin Pearsonin korrelaatio testissä.

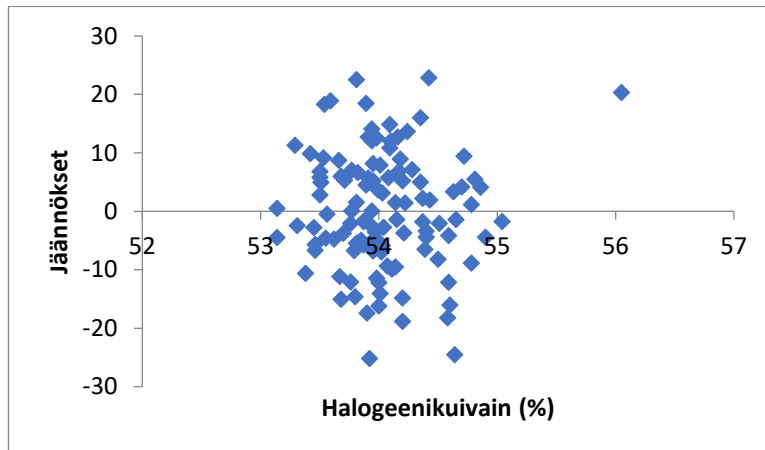
## 6.5 Diagnostiikka ruistaikina näytteistä

Matemaattisen mallin sopivuutta voidaan testata myös jäännöstermien avulla. Jäännöstermien avulla tehtyä sopivuuden arviointia kutsutaan diagnostiikaksi, ja sen avulla pyritään selvittämään poikkeavien arvojen olemassaoloa sekä mallin mahdollista väärää määrittelyä. Jäännöstermien sopivuutta testataan hajontakuviolla, jossa jäännöstermit ovat pystyakselilla ja x-muuttujat vaakakselilla. Malli on todennäköisesti käyttökelpoinen, mikäli sen hajontakuviossa ei esiinny säännönmukaisuutta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että pistejoukko sijaitsee nollan molemmin puolin eikä pistejoukossa esiinny trendiä. [15, s.283.] Kuvassa 15 on kartiokonsistenssin ja halogeenikuivaimen jäännöskaavio.



Kuva 17 Kartiokonsistenssin ja halogeenikuivaimen jäännöskaavio ruistaikinäytteistä

Kuvasta 17 havaitaan jäännöskaavion noudattavan optimaalista rakennetta, jossa pistejoukot ovat sijoittuneet nollan molemmin puolin ilman säännönmukaisuutta. Näin ollen voidaan päätellä matemaattisen mallin sopivan kartiokonsistenssin ja halogeenikuivaimen regressioanalyysiin. Kuva 17 muistuttaa hyvin paljon kuvaa 18 ja näin ollen siitä voidaan vetää samanlaiset johtopäätökset eli matemaattinen malli on tässäkin analyysissä sopiva.



Kuva 18 Farinografin ja halogeenikuivaimen jäännöskaavio ruistaikinanäytteistä

## 6.6 Mallin avulla laadittu ennuste

Matemaattisten mallien avulla voidaan laatia ennusteita. Ennusteiden avulla voidaan määrittää  $y$ :n arvon ennuste, sitä vastaavan  $x$ :n arvolle. Ennusteen laatiminen tapahtuu sijoittamalla regressiosuoran yhtälöön  $x$ :n paikalle tarkasteltava arvo, jonka jälkeen yhtälöstä voidaan laskea sitä vastaava  $y$ :n estimaatti eli ennuste, jota merkitään  $\hat{y}$ :llä. [15, s. 266.] Alla on esitetty kaavat kartiokonsistenssin ( $\hat{y}_{Kartio}$ ) sekä farinografin ( $\hat{y}_{Farino}$ ) ennusteelle. Yhtälöiden  $x$ :n paikalle sijoitetaan halogeenikuivaimesta saatu arvo.

$$\hat{y}_{Kartio} = 1,07x + 34,22$$

$$\hat{y}_{Farino} = -11,98x + 803,91$$

Ennusteen laatiminen on varsin helppoa suorittaa mekaanisesti. Ennusteen avulla laskeminen on mahdollista vain, jos yhtälössä käytettävän  $x$ :n arvoja, jotka ovat sille tyypillisiä. [15, s. 267] Mekaaninen ennuste saatiin suoraan regressiosuoran yhtälöstä. Tässä kyseisessä tilanteessa  $x$ :n arvot tulisi olla saattujen halogeenikuivaimen raja-arvojen sisällä (53,14–56,05 %).



Tarkasteltaessa edellisissä tilastollisia analyysejä voidaan vetää johtopäätös, että farinografin antama malli on parempi verrattuna kartiokonsistenssin malliin. Tulos on erittäin hyvä, sillä farinografi antaa tarkempia tuloksia konsistenssista kuin vanhempi kartiokonsistenssi laite. Farinografin malli regressioanalyysin perusteella selittää halogeenikuivaimen tulosten vaihteluista 22 %, joka on varsin hyvä tulos siihen nähden, että selittäviä muuttujia on vain yksi. Kaikki edellä olevat tilastolliset analyysit ovat myös merkitseviä, joten tuloksia voidaan tarkastella oikeina.

## 6.7 Raskien konsistenssin mittaukset

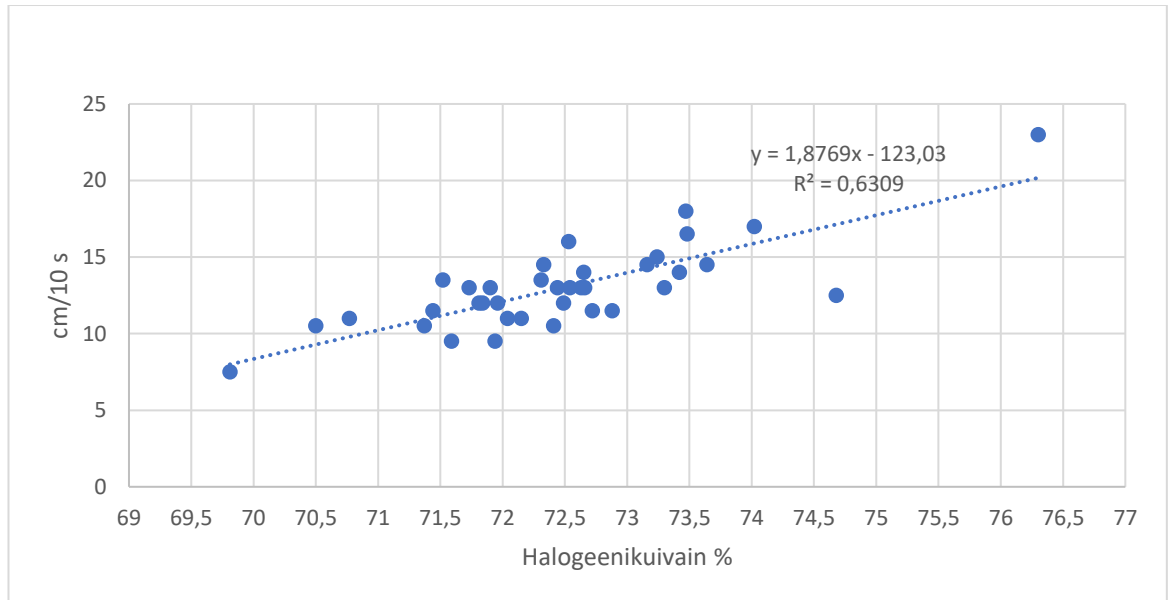
Raskeille tehtiin konsistenssia määrittäviä mittauksia (n=37 kpl) kartiokonsistenssilla sekä Bostwick-mittarilla. Kartiokonsistenssin antamat mittaustulokset eivät poikenneet toisistaan juurikaan, sillä raski oli rakenteeltaan löysää, jolloin kartiokonsistenssin kartio valui joka näytteen kohdalla pohjaan. Näin ollen tarkasteltiin ainoastaan Bostwick-mittarin ja halogeenikuivaimen yhteyttä regressioanalyysillä (taulukko 6).

Taulukko 6 Regressioanalyysin arvoja (n=37) raskinäytteistä

Halogeenikuivain x-muuttuja	Kertoimet	Keskivirhe	Kerroin R	T-arvo	P-arvo
<b>Bostwick-mittari y-muuttuja</b>	1,877	0,243	0,794	7,735	4,4E-09

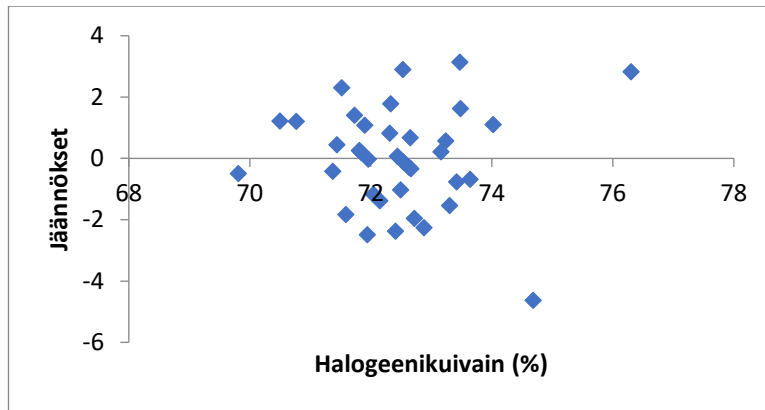
Taulukosta 6 tarkastellaan ensin t- ja p-arvoja, joiden valossa regressio analyysi on tilastollisesti merkitsevä, sillä t-arvo poikkeaa arvosta kaksi ja p-arvo on pienempi kuin 0,01. Kerroin R kuvaa mittaustulosten välistä korrelaatiota ja tulos 0,79 kuvaa erittäin voimakasta lineaarista yhteyttä tulosten välillä. Korrelaatiokerroin on positiivinen, mikä tarkoittaa sitä, että hajontakuvion arvot sijaitsevat nousevalla suoralla. Positiivinen korrelaatiokerroin selittyy sillä, että raskin ollessa löysää raskivaluu Bostwickin-mittaria pitkin pitkälle, jolloin mittarin antaa suuria arvoja. Kun raski on löysää ja valuu Bostwickin-mittarilla pitkälle on sen kosteuspitoisuus myös suuri, joten halogeenikuivain saa myös suuria tuloksia. Taulukon kerroin perusteella voidaan päätellä, kun halogeenikuivaimen eli

kosteuspitoisuuden arvo nousee yhdellä Bostwick-mittarin arvo nousee 1,9. Kesquivirhe arvo jää pieneksi, jolloin regressioanalyysin selitysvoima on suuri. Kuvassa 19 on esitetty regressiosuora Bostwick-mittarin ja halogeenikuivaimen tuloksista.



Kuva 19 Regressiosuora raskien näytteistä Bostwick-mittarin suhteen (n=37). Selityskertoimen  $R^2$  mukaan 63 prosenttia Bostwick-mittarin arvoista voidaan selittää halogeenikuivaimen tulosten vaihteluilla.

Regressiosuorasta havaitaan selityskertoimen mukaan 63 % Bostwick-mittarin tuloksista voidaan selittää halogeenikuivaimen tulosten vaihteluilla. Tulos on erittäin hyvä siihen nähden, että analyysissä käytettiin vain yhtä muuttujaa selittävänä tekijänä. Kuvassa 20 on kuvattu Bostwick-mittarin ja halogeenikuivaimen tulosten jäännöskaavio. Kuvasta voidaan päätellä mallin olevan todennäköisesti käyttökelpoinen, sillä jäännöskaavion noudattavan optimaalista rakennetta, jossa pistejoukot ovat sijoittuneet nollan molemmin puolin ilman säännönmukaisuutta.



Kuva 20 Bostwick-mittarin ja halogeenikuivaimen jäännöskaavio raskinäytteistä (n=37)

Bostwick-mittarin ja halogeenikuivaimen mittaustulosten valossa Halogeenikuivaimen tulosta voidaan selittää Bostwick-mittarin tuloksilla. Kuitenkin tulokseen tulee suhtautua tietyllä kriitikillä, sillä Bostwick-mittarilla mittausepävarmuus jäi varsin suureksi, sillä raski näytteitä ei ollut mahdollista punnita ennen mittaamista. Bostwick-mittari ei myöskään yksiselitteisesti mitannut näytteen konsistenssia kuten esimerkiksi farinografi, vaan se mittasi raskin valuvuutta eli oliko raski löysää vai kovaa. Myös tulee miettiä sitä, lisätäänkö Bostwick tulos mahdolliseen malliin, sillä mittaria ei tällä hetkellä hyödynnetä tuotannossa rutiinomaisesti. Kuitenkin tulos antaa hyvät lähtökohdat siihen, että halogeenikuivainta voitaisiin hyödyntää konsistenssin määrittämisessä ruistaikinoissa.

## 7 Päätelmät

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää voidaanko halogeenikuivaimen avulla ennustaa ruistaikin konsistenssia. Työn tavoite saavutettiin, sillä saatiin tuloksia, jotka viittaavat siihen, että halogeenikuivaimella on mahdollista ennustaa ruistaikin konsistenssia.

Työssä havaittiin heikkoa yhteyttä konsistenssia mittaavien laitteiden tulosten ja halogeenikuivaimesta saatujen tulosten välillä ruistaikinäytteissä. Suurempi tilastollisesti merkitsevä yhteys havaittiin farinografin ja halogeenikuivaimen välillä kuin kartiokonsistenssin ja halogeenikuivaimen välillä. Tulos oli positiivinen, sillä farinografi mittaa konsistenssia tarkemmin kuin kartiokonsistenssi. Matemaattisten mallien avulla pystyttiin laatimaan malli ruistaikina näytteille, minkä avulla voidaan ennustaa konsistenssia halogeenikuivaimen tuloksen avulla. Farinografin ennuste ei ole tarkka, sillä sen avulla voidaan selittää vain 22 % kosteuspuiteisuuden vaihtelusta. Tulos on kuitenkin suuri siihen nähden, että konsistenssia tarkastellaan vain yhden muuttujan vaihteluilla.

Raskien mittaustuloksissa havaittiin voimakasta yhteyttä Bostwick-mittarin ja halogeenikuivaimen tulosten välillä. Kuitenkin Bostwick-mittari ei mittaa tarkasti raskin konsistenssia vaan se mittaa raskin löysyyttä/kovuutta. Tämän takia tulos ei ole niin yksiselitteinen kuin esimerkiksi ruistaikinoiden kohdalla farinografin antamat tulokset. Bostwickin ja halogeenikuivaimen tilastollisesti merkitsevä yhteys kertoo kuitenkin siitä, että halogeenikuivaimella on mahdollista selittää taikinoiden konsistenssia.

Insinööriyön aikana saatuja tuloksia voidaan hyödyntää toimeksiantaja yrityksessä ottamalla käyttöön halogeenikuivaimet tuotantoon ja näin saada instrumentaalista dataa taikinoiden konsistenssista, taikinantekijöiden aistinvarasien arvioinnin tueksi. Tämän avulla tuotannon pystytään reagoimaan mahdollisiin konsistenssi muutoksiin ja samalla pitämään ruistaikin laatu tasaisena. Tulevaisuudessa kannattaa vielä selvittää miten jo tuotannossa mitattavia muuttujia

(pH:ta, happolukua ja lämpötilaa) hyödyntämällä voidaan mahdollisesti saada parempi malli konsistenssin määrittämiseen.

## Lähteet

- 1 Elintarviketieto-opas. 2019. Ruokavirastonohje 17068/2.
- 2 Saarela, Anna-Maria; Hyvönen, Paula; Määttä, Sinikka & von Wright; Atte. 2010. Elintarvikeprosessit. 3., uudistettu painos. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
- 3 Salovaara, H; Ignatius, A; Jussila, A & Hurri-Martikainen, M. 2017. Leivonnan teknologia. Helsinki: Bookwell Oy.
- 4 H. Faridi, H.& Faubion, J.M.1990. Dough Rheology and Baked Product Texture. 1sted.Springer US.
- 5 Sehested, Claus & Sonnenberg, Henrik. 2011. Lean Innovation A Fast Path from Knowledge to Value. E-kirja. Springer Heidelberg Dordrecht.
- 6 Wang, John X. 2011. Lean Manufacturing: Business Bottom-Line Based. E-kirja. Taylor & Francis Group.
- 7 Leanin historia. Verkkoaineisto. Six sigma. <<https://sixsigmafi.test.cchostring.fi/leanin-historia/>>. Luettu 20.1.2022.
- 8 Junttila, Ahti; Koskenvesa, Anssi; Heloma, Tiina & Laine, Satu.s. 2010. Raken-tajain kalenteri 2011. E-kirja. Rakennustieto 2010.
- 9 del Rocio Quesada Castro, Maria & Gregorio Arrieta Posada, Juan. 2019. Implementation of lean manufacturing techniques in the bakery industry in Medellin. Verkkoaineisto. Scielo Brazil. <<https://www.scielo.br/j/gp/a/hLwgLHBZ4GxrKVY5SkZQyHy/?lang=en#>>. Luettu 20.1.2022.
- 10 Dudbridge, Michael. 2011. Handbook of Lean Manufacturing in the Food Industry. E-kirja. John Wiley & Sons, Incorporated.
- 11 Halogen Oven Moisture Content Determination. Verkkoaineisto. Engineering purdue. <<https://engineering.purdue.edu/~abe305/moisture/html/page26.htm>>. Luettu 20.1.2022.
- 12 WHEAT QUALITY & CARBOHYDRATE RESEARCH, Farinograph. Verkkoaineisto. North Dakota state university. <<https://www.ndsu.edu/faculty/simsek/wheat/farinograph.html>>. Luettu 20.1.2022.

- 13 Use of farinograph measurements for predicting extensograph traits of bread dough enriched with carob fibre and oat wholemeal. Verkkoaineisto. Kundog. <<https://coek.info/pdf-use-of-farinograph-measurements-for-predicting-extensograph-traits-of-bread-doug.html>>. Luettu 20.1.2022.
- 14 pH ja happolukumittaus raskista ja leivästä Mettler Toledo T5 -laitteella. 2021. Vaasan Oy.
- 15 Holopainen, Martti & Pulkkinen, Pekka. 2013. Tilastolliset menetelmät. 5.–8. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- 16 Salonen, Lotta. 2018. Ruistaikinoiden vertaileva tutkimus rakenneanalysointorilla ja farinografilla. Opinnäytetyö. Hämeen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 17 Hypoteesien testaus. Verkkoaineisto. KvantiMOTV. <<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/hypoteesi/testaus.html>>. Luettu 20.1.2022.
- 18 Regressioanalyysi. Verkkoaineisto. KvantiMOTV. <<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/regressio/analyysi.html>>. Luettu 20.1.2022.

