



# Tekstuurianalysaattorin käyttöönotto ja validointi

Paula Pääsky

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2022

Laboratoriotekniikan tutkinto-ohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Laboratoriotekniikan tutkinto-ohjelma

PÄÄSKY, PAULA:

Tekstuurianalysaattorin käyttöönotto ja validointi

Opinnäytetyö 49 sivua, joista liitteitä 9 sivua  
Toukokuu 2022

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli käyttöönottaa tekstuurianalysaattori ja validoida sillä tehtävät kovuus- ja tarttuvuusanalyysit. Työn toimeksiantaja oli elintarvikealalla toimiva yritys, joka valmistaa elintarviketuotteita niin kuluttajakäyttöön kuin toimeksiantajilleenkin. Koska laite oli yrityksessä täysin uusi ja analyysien oli tarkoitus korvata vanhoja menetelmiä, ennen varsinaista käyttöönottoa yritys esittelee uudet menetelmät vielä asiakkailleen sekä viimeistelee laitteelta saatavien tulosten käsittelyä. Nämä tehtävät rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle. Työn tavoitteena oli saada laite itsessään käyttöönottovalmiiksi.

Työn tarkoituksena oli optimoida tekstuurianalysaattorilla sopiva menetelmä erilaisille elintarvikkeille, tutkia korrelaatiota aikaisempien menetelmien kanssa graafisesti ja korrelaatiokerrointa hyödyntäen sekä validoida menetelmä todentamalla menetelmän toistettavuus.

Menetelmän optimoinnin aikana menetelmää testattiin maahantuojan ohjeiden pohjalta muutamien muunnoksien erilaisilla elintarvikkeilla sekä eri antureita käyttäen. Lopulta päädyttiin kahteen eri menetelmään, jotka validoitiin yhteensä 25:llä eri elintarvikkeella. Testattavia elintarviketyyppejä oli kaksi, joista toinen jaettiin vielä kahteen eri luokkaan elintarvikkeiden rakenteellisten eroavaisuuksien vuoksi. Validoinnin lisäksi joukosta elintarvikkeita analysoitiin kovuus ja tarttuvuus sekä niiden rinnakkaisista näytteistä vanhalla menetelmällä kovuus tai viskositeetti.

Työn aikana laite saatiin käyttövalmiiksi ja suunnitellut analyysit validoitua. Validoinnin perusteella analyysit olivat pääosin toistettavia. Korrelaatio aiemmin käytettyjen menetelmien kanssa tuki luotettavuutta. Vain yhden rakenteeltaan haastavamman elintarvikkeen tarttuvuusanalyysin tulosten toistettavuus oli siinä määrin heikkoa, että sen osalta analyysi vaatii lisätutkimuksia. Mittauksessa voisi keilla esimerkiksi vielä laakeampaa anturia, jotta tarttuvuusalue olisi isompi. Lisäksi jatkotutkimuksena mittausepävarmuuden määrittäminen toisi arvokasta tietoa tulosten luotettavuudesta.

Työssä käytetyt elintarviketuotteet on koodattu luottamuksellisuuden vuoksi kirjain- ja numeroyhdistelmin.

---

Asiasanat: tekstuurianalysaattori, kovuus, tarttuvuus, elintarvike

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Laboratory Engineering

PÄÄSKY, PAULA:

Introduction and Validation of Texture Analyzer

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 9 pages  
May 2022

---

The purpose of this thesis was to deploy a texture analyzer and validate hardness and adhesive force analyses. The thesis was made for a company in the food industry, which is a producer of a wide variety of food products for both consumers and clients. The instrument is new for the company and the analyses should replace old methods. The purpose of the work was to get the instrument ready for use.

The objectives of this thesis were to optimize a suitable method for the food products, to correlate with previous methods graphically and with a correlation coefficient, and to validate the reproducibility of the method. It was important to investigate the correlation of results with the results obtained with the earlier method. The aim of the new analyses was to improve the image of the structure of the products in comparison to the previous methods. In addition, reproducibility in physical measurements was considered a key issue for reliability.

During the optimization, the method was tested with a few modifications on different foods based on the importer's instructions. In addition, a few different probes were tested. In the end, two different methods were finalized and validated with 25 different food products. There were two types of food product to be tested one of which was divided into two categories due to structural differences in the foods. In addition to validation, a number of food products were analyzed for hardness and adhesive force, and parallel samples were analysed for hardness or viscosity using the previous method. Correlation was studied graphically and with correlation coefficient.

As a result of the thesis, the texture analyzer is ready for use and its hardness and adhesive force analyses have been validated mainly for reproducibility. In addition, the correlations for the previous methods support the reliability of the results obtained with the new method.

---

Key words: texture analyzer, hardness, adhesive force, food product

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	TEORIA .....	7
	2.1 Elintarvikkeiden tekstuuri ja mitattavat ominaisuudet .....	7
	2.1.1 Elintarvikkeiden tekstuuri .....	7
	2.1.2 Tarttuvuus .....	7
	2.1.3 Kovuus .....	8
	2.1.4 Koheesio .....	9
	2.1.5 Viskositeetti .....	9
	2.2 Tekstuurianalysointimenetelmien elintarvikkeiden mittaamisessa .....	10
	2.2.1 Tekstuurianalysointimenetelmä .....	10
	2.2.2 Puristustesti ja TPA-menetelmä .....	10
	2.3 Validointi ja korrelaatio .....	12
	2.3.1 Korrelaatio .....	13
	2.3.2 Toistettavuus .....	13
3	TYÖN SUORITUS .....	15
	3.1 Käyttöönotto ja menetelmä .....	15
	3.2 Suoritetut analyysit .....	17
	3.2.1 Näytteiden validointi .....	17
	3.2.2 Korrelaatiotutkimus .....	18
	3.2.3 Muut analyysit .....	18
	3.3 Kirjalliset työt .....	19
4	MENETELMÄN OPTIMOINTI .....	20
5	TULOKSET .....	25
	5.1 Toistettavuus .....	25
	5.2 Korrelaatio .....	29
	5.3 Näyteastioiden koon ja anturin puhdistuksen vaikutus .....	31
6	TULOSTEN TARKASTELU .....	34
7	POHDINTA .....	37
	LÄHTEET .....	39
	LIITTEET .....	41
	Liite 1. Elintarviketyypin 1 raja-arvotyökalu .....	41
	Liite 2. Elintarviketyypin 2 raja-arvotyökalu .....	45
	Liite 3. Koheesio- ja viskositeettiarvot .....	48

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli käyttöönottaa tekstuurianalysaattori ja validoida sillä tehtävät kovuus- ja tarttuvuusanalyysit. Tekstuurianalysaattori oli toimeksiantajan laboratorioon hankittu uusi laite, jolla oli tarkoitus saada toistettavampaa ja tarkempaa tietoa sillä mitattavien elintarvikkeiden rakenteesta, kuin aiemmin. Tavoitteena oli korvata analyyseilla aiemmin käytössä olleet eri laitteiden kovuus- ja viskositeettianalyysit. Uusilla parametreilla tavoiteltiin tuotteiden rakenteesta tarkempaa, totuudenmukaisempaa ja toistettavampaa tietoa aistinvaraisten testien tueksi.

Työn toimeksiantajana oli elintarviketeollisuuden yritys, joka valmistaa elintarviketuotteita niin kuluttajakäyttöön kuin eri toimeksiantajille. Tarkoituksena oli optimoida tekstuurianalysaattorilla sopiva menetelmä suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia menetelmän korrelaatiota aikaisempien menetelmien kanssa sekä validoida menetelmä todentamalla menetelmän toistettavuus.

Tekstuurianalysaattorin tulosten korrelaatio jo käytössä olevien menetelmien kanssa oli tärkeää, koska se kertoo uuden menetelmän luotettavuudesta ja soveltuvuudesta suunnitelluille näytteille. Toisaalta uusilla analyyseillä haluttiin parantaa rakenneanalyyseilla saatavaa kuvaa rakenteesta verrattuna edeltäviin menetelmiin, etenkin haastavien tuotteiden osalta. Lisäksi luotettavuuden kannalta fysikaalisten ominaisuuksien mittaamisessa toistettavuutta pidettiin keskeisenä asiana.

Menetelmää optimoitiin muutamien muutoksin ja eri antureita kokeillen analysoiden erilaisia elintarvikkeita. Lopulta päädyttiin kahteen menetelmään, joiden kovuus- ja tarttuvuusanalyysit validoitiin yhteensä 25 eri elintarvikkeella. Laitteella analysoitaviksi suunniteltuja elintarviketyyppejä oli kaksi, joista toinen jaettiin vielä kahteen eri luokkaan rakenteellisten eroavaisuuksien perusteella. Luokkajako tehtiin, koska virtaavimmat tuotteet vaativat oman menetelmän.

Validoinnin lisäksi korrelaatiota tutkittiin analysoimalla joukosta elintarvikkeita kovuus ja tarttuvuus ja niiden rinnakkaisista näytteistä vanhalla menetelmällä kovuus tai viskositeetti riippuen elintarviketyypistä. Tutkittiin myös näyteastian koon sekä anturin puhdistuksen vaikutusta tuloksiin. Lisäksi korrelaatiotuloksia hyödyntäen tehtiin työkalu raja-arvojen määrittämiseen ja tehtiin laitteelle pikaohje sekä opastettiin työntekijälle laitteen käyttö.

Työssä käytetyt elintarvikkeet on koodattu kirjain- ja numeroyhdistelmillä luottamuksellisista syistä. Opinnäytetyön ulkopuolelle rajattiin menetelmän esittely yrityksen toimeksiantajille sekä tulosten siirron viimeistely.

## 2 TEORIA

### 2.1 Elintarvikkeiden tekstuuri ja mitattavat ominaisuudet

#### 2.1.1 Elintarvikkeiden tekstuuri

Elintarvikkeiden laadussa merkittävä tekijä on elintarvikkeen tekstuuri eli rakenne. Se on tekijä, joka vaikuttaa ihmisen tuntemuksiin syöntitilanteessa: miltä ruoka tuntuu suussa pureskeltaessa ja ruokailuvälineillä käsiteltäessä tai kädessä pitäessä. Ruuan rakenne onkin hyvin monitahoinen eikä sitä voi sitoa vain yksittäiseen ominaisuuteen. (Bourne, 2002, 33; Texturetechnologies 2022)

Elintarvikkeiden valmistuksessa pienetkin muutokset voivat vaikuttaa sen tekstuuriin. Jopa raaka-aineen toimittajan vaihtuminen voi vaikuttaa lopullisen tuotteen rakenteeseen. Myös ulkoiset voimat, kuten lusikointi testausvaiheessa, voivat vaikuttaa elintarvikkeen tekstuuriin sitä löystyttäen. Jotta voidaan varmistua elintarvikkeen täyttävän sen rakenteelle asetetut laatuvaatimukset, on optimaalista, että laadunvalvonnassa tuotteen rakennetta voidaan mitata ja valvoa sekä aistinvaraisesti että numeerisesti. (Alanen, 2016, 27; Väyrynen, 2022; Liz, Staniewski, Ziajka 2021)

Tuotteiden rakenteesta voidaan mitata erilaisia ominaisuuksia ja havainnollistaa niitä luvuilla. Elintarviketuotteiden rakenteen ominaisuuksia voidaan mitata esimerkiksi mittaamalla kovuutta, koheesiota, tarttuvuutta tai viskositeettia. Lisäksi käytössä on usein aistinvarainen mittaus. Aistinvaraisen mittauksen tueksi toistettavamman ja siten luotettavamman kuvan elintarvikkeen rakenteesta voi kuitenkin saada mekaanisella rakennemittauksella. (Alanen, 2016, 27; Texture Pro 2021)

#### 2.1.2 Tarttuvuus

Tarttuvuudella, eli pinnan tahmeudella tarkoitetaan elintarvikkeen kykyä vastustaa irtoamista pinnasta, kuten hampaat, kieli tai kitalaki (Liukkonen 2015, 42;

Texture Pro 2021). Tarttuvuusprosessissa vaikuttavat niin mekaaniset, termodynaamiset kuin kemiallisetkin mekanismit. Tarttuvuuden selittämiseksi on monia teorioita, kuten mekaaninen lukkiutuminen, kostuminen ja termodynaaminen adsorptio, sekä kemiallinen adheesio. Yhdessä voi esiintyä useampi mekanismi yhtä aikaa. Esimerkiksi polymeerien lukkiutuminen huokosiin on mekaanista lukkiutumista ja termodynaamista adsorptiota tapahtuu materiaalien välisessä kosketuksessa kostutuksen ollessa tyydyttävää. Tarttuvuutta voidaan parantaa huomattavasti etenkin primaarisilla sidoksilla, kuten kovalenttisillä sidoksilla. Kovalenttinen sidos muodostuu atomien jakaessa elektroniparin tai -pareja (Mingos 2016, 13). Kemiallisten sidosten ja kostuvuuden on todettu olevan ainakin makaraelintarvikkeiden kuoren tarttuvuudessa tärkeämpi tekijä, kuin mekaanisen adheesio. (Nussinovitch 2017, 17–18, 22, 26)

Tarttuvuuden mittaamista on vaikea standardisoida, mutta suositelluin mittausmekaniikka siihen on vetotesti. Ruuan tarttuvuutta pintaan mitataan vetotesteissä puristaen elintarvikenäytteeseen kiekko, jonka jälkeen se vedetään näytteestä pois ja mitataan sen irrottamiseen tarvittava voima. Tarttuvuus mitataan aina ensimmäisen puristuksen jälkeisestä vetotestistä, vaikka käytettäisiin kaksivaiheista puristustestiä. Vetolujuusparametreja on kehitetty paljon ja tunnistettu testeillä saaduista käyristä voiman lisäksi myös useita muita. (Bourne 2002, 142)

### 2.1.3 Kovuus

Elintarvikemittauksissa kovuus on voima, joka tarvitaan elintarvikkeen hajoamiseen ensimmäisellä puraisulla. Mitä enemmän elintarvike vastustaa muodonmuutosta, sitä kovempi tuote se on. Kovuutta voidaan mitata monilla erilaisilla toimintaperiaatteilla ja eri yksiköissä riippuen mittaustavasta ja laitteesta. Mittausmekaniikat voivat perustua esimerkiksi etäisyys- tai puristusmittaukseen. (Bourne 2002, 17, 113)

Etäisyyteen perustuvista kovuuden mittaustekniikoista yksi esimerkki on penetrometri. Penetrometrin toimintaperiaate perustuu siihen, kuinka pitkän matkan penetrometrin kartion muotoinen pistoanturi tunkeutuu näytteeseen, kun anturin annetaan työntyä siihen painovoiman vaikutuksesta. (Bourne 2002, 147–149)



#### 2.1.4 Koheesio

Koheesiolla tarkoitetaan tuotteen sisäistä lujuutta ja tarttuvuutta, eli molekyylien välisiä vetovoimia, jotka pitävät tuotteen koossa. Koheesiolla voidaan kuvata elintarvikkeen koossapysyvyyttä ja muodonmuutoksen vastustuskykyä. Vahvan koheesion omaavalla eli koossapysyvällä elintarvikkeella on hyvä kyky kestää siihen kohdistettavaa puristus- ja vetojännitystä. Tällöin elintarvike vaatii siis enemmän pureskelua, kuin heikon koheesion omaava tuote. Usein nestemäisemmällä elintarvikkeilla koheesio on alhaisempi. Myös esimerkiksi hunajan koheesio on alhainen, vaikka se on hyvin tarttuvaa. Koheesion voi määrittää kaksivaiheisella puristustestillä TPA-menetelmää käyttäen. (Nurmi 2020, 3; Stable Micro Systems 2022 C; Texturetechnologies 2022)

#### 2.1.5 Viskositeetti

Viskositeetti kertoo nesteen virtaus- ja valumisominaisuuksista. ”Viskositeetti määritellään nesteen sisäiseksi kitkaksi tai sen taipumuksena vastustaa virtausta” (Bourne 2002, 17). Vaikka näennäisesti viskositeetista puhuttaessa puhutaan nestemäisistä tuotteista ja rakenteesta puhuttaessa kiinteistä, ero ei ole niin yksinkertainen. Myös kiinteän oloiset elintarvikkeet voivat käyttäytyä rasituksen alaisena kuin neste, jolloin niitä voidaan mitata viskositeetin avulla. (Bourne 2002, 17–18)

Elintarvikkeiden ja muiden sähkönjohtavien aineiden viskositeetin tutkimiseen voi käyttää noin yli 6000 mPa · s (cP) viskositeetin tuotteilla esimerkiksi näytteen valumanopeutta mittaavaa viskosimetriä, joka perustuu kapasitiiviseen mittaukseen. 20 °C asteessa esimerkiksi vesi on noin 1000 mPa · s ja raakaöljy noin 7500 mPa · s. Viskosimetrin kapasitiivinen anturi reagoi sen magneettikentän alueella valuvan elintarvikkeen aiheuttamiin muutoksiin ja ilmoittaa valumanopeuden millimetreinä tiettyä aikaa kohden. Viskosimetrin mittausaikaa voi johdonmukaistaa riippuen mitattavien tuotteiden viskositeetista. Vakioasetukset laitteella ovat 5, 7, 15 tai 30 sekuntia, mutta tarvittaessa tehtaalla voidaan asettaa

muitakin aikoja. (LabWrench 2022; PCE-instruments 2022; PJ Control Oy 2022, Roymech 2022)

## **2.2 Tekstuurianalysointilaitteiden mittauksissa**

### **2.2.1 Tekstuurianalysointilaitteiden**

Tekstuurianalysointilaitteiden menetelmiä käytetään niin elintarviketeollisuudessa kuin erikoistuneissa tutkimuslaitoksissakin. Laitteen etuna on nopea mittaus, jonka avulla on mahdollista saada monenlaista tietoa tutkittavan näytteen tekstuuriominaisuuksista. Menetelmät tuovat etua mittauksiin, joissa halutaan testata nopeasti suuri määrä näytteitä ja ne soveltuvat hyvin esimerkiksi tuotekehityksen tutkimuksiin. (Liz ym. 2021)

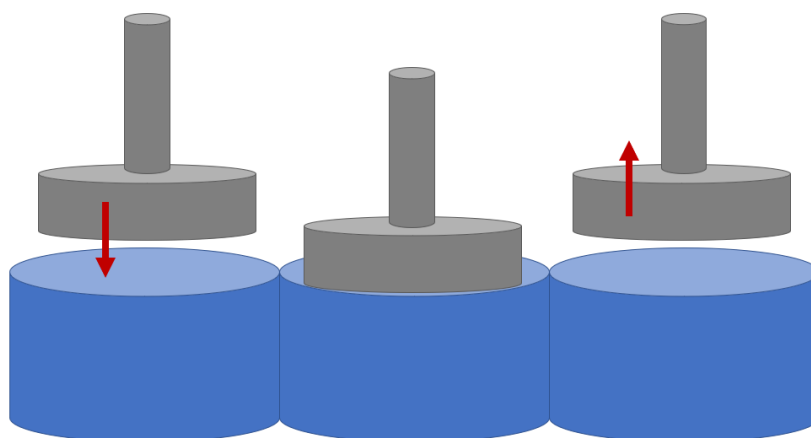
Tekstuurianalysointilaitteiden menetelmä on mekaaninen laite, jonka tavoitteena on luonnehtia elintarvikkeen ominaisuuksia samoin, kuin ihminen tuntee ne aisteillaan (Brookfield Ametek 2019, 5). Mittaustekniikka perustuu alas ja ylös päin liikkuvaan puristukseen tai venytykseen. Liikkuvassa varressa on herkkä punnituskenno, jonka avulla laite tunnistaa siihen kohdistuvan voiman. Testin aikana laite kerää voima-, etäisyys- ja aikatiedot sekä piirtää niistä käyrän. Näiden tietojen perusteella laite pystyy analysoimaan näytteen rakenteellisia ominaisuuksia monin eri parametrein. Laitteeseen on mahdollista saada laajalti erilaisia antureita ja kiinnikkeitä, joiden avulla onnistuu laajalti erityyppisten elintarvikkeiden analysointi. Tekstuurianalysointilaitteiden menetelmää käytetään hyvin yleisesti elintarvikkeiden kovuuden mittaamiseen. Laitteella käytetään lisäksi usein Texture Profile Analysis (TPA) -menetelmää, joka on kaksivaiheinen puristustesti. (Stable Micro Systems 2022, a, b)

### **2.2.2 Puristustesti ja TPA-menetelmä**

Puristusmittaus on jaettu kahteen luokkaan: tuhoavaan ja ei-tuhoavaan. Tuhoavassa puristusmittauksessa kiekon muotoinen anturi puristuu näytteeseen, joka puristuu kiekon ja alustan väliin murtuen. Tuhoavassa luokassa voidaan mitata

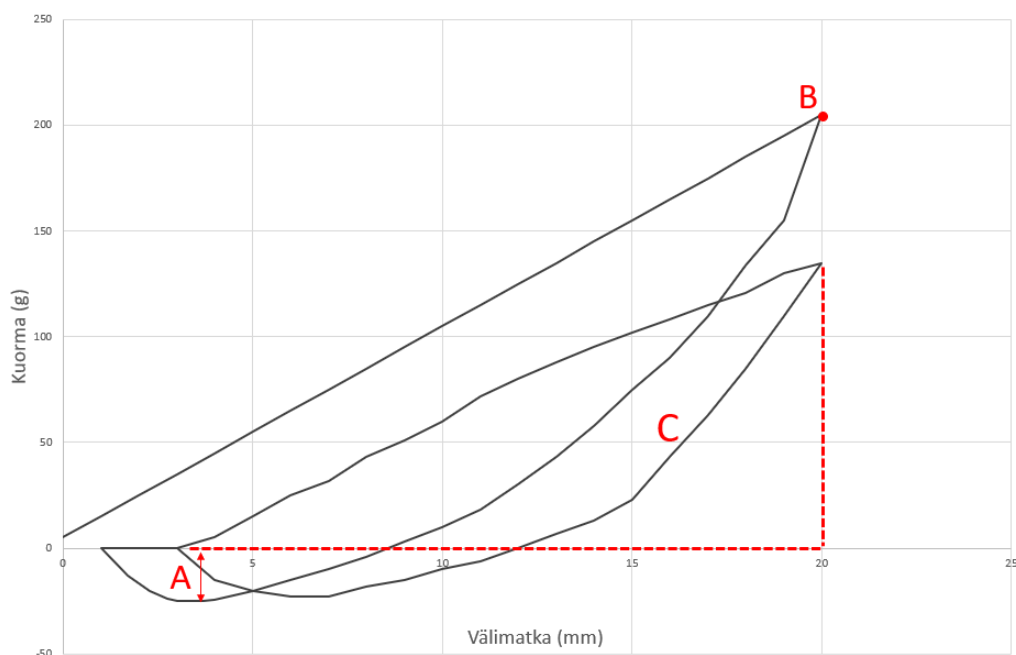
myös puolikiinteitä elintarvikkeita, jotka murtumisen sijaan valuvat puristuskiekon ja alustan välistä. (Bourne 2002, 139–140)

Puristustestissä tekstuurianalysoija simuloi leuan liikettä ihmisen puraistessa elintarviketta. Puristustestin kaksivaiheinen TPA-testi on kehitetty nimenomaan elintarvikkeiden rakenteen erilaisten ominaisuuksien analysointiin. Kahden syklin puristuksessa saadaan tietoa siitä, kuinka elintarvike käyttäytyy pureskeltuna. Kuviossa 1 on esitetty puristustestin ensimmäinen sykli, jossa anturi puristuu näytteeseen ja sen jälkeen laite vetää anturin pois näytteestä. Toinen sykli tapahtuu samalla tavalla. (Stable Micro Systems 2022, a; Texturetechnologies 2022)



KUVIO 1. Puristustesti, sykli 1

Puristustestillä tekstuurianalysoija analysoi ensimmäisestä syklistä muun muassa kovuuden ja tarttuvuuden ja toisen syklin avulla esimerkiksi koheesion. Puristustestiä voidaan kuvata esimerkkikäyrällä, josta nähdään puristuksen vaiheet ja analysoitavia parametreja (Kuvio 2). (Stable Micro Systems 2022, a; Texturetechnologies 2022)



KUVIO 2. Puristustestiesimerkki kuorman suhde välimatkaan.

Laitteen simulaatio ensimmäisen syklin puraisussa kertoo elintarvikkeen kovuuden, joka mitataan grammoina suurimpana voimana kiekon puristuessa elintarvikkeeseen ja elintarvikkeen vastustaessa puristusta. Tämä löytyy käyrän huipukohdasta B (Kuvio2). Mitatessaan tarttuvuuden laite irtaantuu elintarvikkeesta kuin kitalaki syödystä ruuasta, joka tuntuu ihmiselle tahmeutena. Tarttuvuutta kuvaava parametri löytyy käyrässä ensimmäisen syklin suurimpana negatiivisena voimana grammoissa (kohta A). (Bourne, 168; Stable Micro Systems 2022, a; Texturetechnologies 2022)

Koheesiolla kuvataan ensimmäisen ja toisen puraisun suhdetta (Bourne, 168). Sen laite laskee jakamalla toisen syklin käyrän alapuolella olevan pinta-alan syklin alun ja kohdearvon väliltä (alue C) ensimmäisen syklin vastaavalla pinta-alalla (Texture Pro 2021).

### 2.3 Validointi ja korrelaatio

Validoinnilla tarkoitetaan mittaustapahtuman luotettavuuden osoittamista käyttötarkoituksessaan. Validoinnissa tutkitaan menetelmän soveltuvuutta ja suorituskykyä suunniteltuun mittaukseen erilaisten parametrien avulla, kuten

toistettavuus. Validointia suoritetaan usein myös jo menetelmän ja laitteen kehitysvaiheessa, jolloin voidaan myös määrittää laitteen mittausepävarmuus. Validointi tulee yleensä tehdä aina, kun menetelmää aletaan käyttämään uudessa laboratorioissa. Näin varmistutaan menetelmän sopivuudesta ja tieteellisestä pätevydestä käyttötarkoituksessaan suunnitelluissa käyttöolosuhteissa. (Metrologian neuvottelukunta ja MIKES 2011, 9, 24–25)

### 2.3.1 Korrelaatio

Korrelaatiosta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä Pearsonin korrelaatiokerrointa. Korrelaatio kertoo kahden muuttujan välisestä lineaarisesta riippuvuudesta. Riippuvuus voi olla joko positiivinen tai negatiivinen, eli muuttujan kasvaessa toinen muuttuja joko kasvaa tai pienenee. Korrelaatiota voidaan kuvata graafisesti pistediagrammilla ja regressiosuoralla, jolloin sirontakuvio ja siihen sovitettava regressiosuora on joko nouseva tai laskeva. Korrelaatiokertoimella voidaan mitata muuttujien välisen korrelaation voimakkuutta. Korrelaatiokertoimen ollessa  $\pm 1$ , on muuttujien välinen riippuvuus 100 prosentista. Kertoimen ollessa 0, lineaarista riippuvuutta ei ole. Jotta korrelaatio voidaan osoittaa, havaintoja tulisi olla vähintään 50, mielellään yli 100. Sirontakuvion ja regressioanalyysin avulla riippuvuuksia voidaan tarkastella tarkemmin. (Kovarianssi ja korrelaatio, 2022)

### 2.3.2 Toistettavuus

Toistettavuus on parametri, joka kertoo analyysin tuloksien täsmällisyydestä ja paikkaansa pitävyydestä. Toistettavuutta mitattaessa näytteet tulee määrittää samanlaisissa olosuhteissa (samat tekijät, laite, lämpötila yms.) lyhyen ajan sisään. Näytteistä analysoidaan monta rinnakkaista näytettä ja mahdollisten vaihteluiden syy näytteiden välillä on pyrittävä selvittämään. (Metrologian neuvottelukunta 2011, 19–20)

Toistettavuutta tutkittaessa näytteestä ja sen rinnakkaisista lasketaan usein suhteellinen keskihajonta (RSD%). Lisäksi hyödyllinen arvo on otoskeskihajonta (SD), joka kuvaa keskiarvon epävarmuutta samassa yksikössä.

Otoskeskihajonta tarkemmin sanottuna kertoo rinnakkaisten näytteiden keskimääräisen etäisyyden jakauman keskiarvosta. Keskihajonta voidaan laskea keskiarvon ja neliöjuuren avulla kaavalla 1, jossa  $(x_i - \bar{x})$  on havainnon ja keskiarvon erotus ja  $n$  havaintojen lukumäärä. (Metrologian neuvottelukunta ja MIKES 2011, 46; Nummenmaa 2009, 69)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (1)$$

Suhteellinen keskihajonta (RSD) voidaan laskea jakamalla otoskeskihajonta keskiarvolla ja kertomalla 100 %:lla (kaava 2):

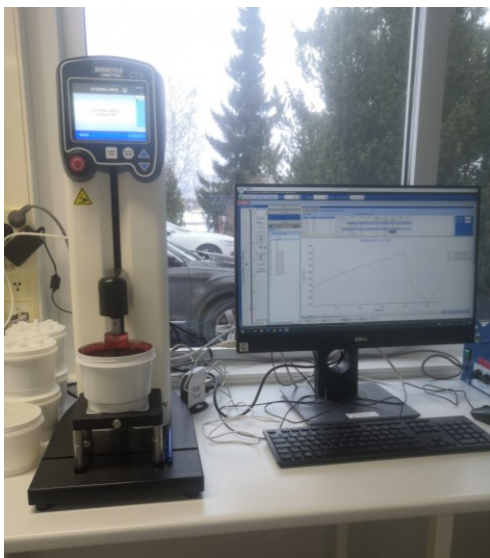
$$RSD = \frac{SD \cdot 100 \%}{\bar{x}} \quad (2)$$

### 3 TYÖN SUORITUS

#### 3.1 Käyttöönotto ja menetelmä

Laitteen maahantuojalta saatiin ohjeistusta laitteen ohjelmiston käyttöön sekä haluttuun tarkoitukseen sopivista asetuksista ja parametreista. Lisäksi käyttöönoton ja sopivan menetelmän optimoinnissa käytettiin apuna valmistajan it-tukea sekä maahantuojan edustajan apua. Käyttöönoton alkuvaiheessa todettiin, että laitteelta Excel-tiedostoon siirrettävien tulosten muoto ei sopinut yrityksen tarpeisiin. Tämä vuoksi kehitettiin jokapäiväiseen työhön soveltuva, kätevä ja nopea tapa muokata laitteen tulokset yrityksen tarpeisiin sopivampaan Excel-muotoon.

Työssä käytettiin AMETEK Brookfieldin CTX Texture Analyzeria (kuva 1) ja siinä sovelluksena Texture Pro v 1.0 Build 19 Standard Edition -ohjelmaa. Testeissä käytettiin puristustestiä TPA-menetelmällä. Anturina käytettiin lieriömäistä akryylianturia TA4/1000 ja mittauksen kohdetyyppinä käytettiin etäisyyttä.



KUVA 1. CTX Tekstuurianalysaattori

Ympäristön lämpötila käyttöönoton ja validoinnin aikana oli noin 18,5 °C. Tekstuurianalysaattorin punnituskennosarjana oli käytössä 5 kg sarja. (Brookfield Ametek 2019, 5). Tuotteiden lämpötila oli elintarviketyypin 1 näytteillä + 6 °C ( $\pm$  2) ja elintarviketyypin 2 näytteillä huoneenlämpö eli noin 18,5 °C.

Menetelmän optimoinnin aikana testattiin kaikkein heterogeenisimpiin tuotteisiin myös maahantuojan suosittamaa kapeampaa ja pidempää lieriön muotoista akryylianturia TA10 sekä juoksevampiin valmistajan it tuen suosittamaa pyöreää metallista anturia TA18.

Lopulta tulosten perusteella validointiin valitussa metodissa etäisyyden tavoitearvona käytettiin 20,0 mm ja juoksevammilla tuotteilla 17,0 mm. Anturi puristui näytteeseen 5 g kuormalla. Mittausalueella anturi laskeutui nopeudella 5 mm/s, jonka jälkeen nopeus hidastui testialueella 1 mm/s nopeuteen. Testialueen jälkeen käytettiin jälleen 5 mm/s nopeutta. Myös toisessa syklistä testivaiheiden nopeudet olivat samat kuin ensimmäisessä. Filttiarvona käytettiin arvoa 0,75, jolloin ohjelma perustaa mittauksen suurimmaksi osaksi uuteen tietoon ja heijastaa aiemmin oppimaansa vain vähän. Filttiarvon voi asettaa 0,75–0,95 välille. Suurempi filttiarvo toisi tarkkuutta tuloksiin, mutta ohjelma perustaisi mittauksensa enemmän jo opittuun tietoon. (Texture Pro 2021). Menetelmän tiedot on koottu taulukkoon 1.

TAULUKKO 1. Menetelmän tiedot

Ohjelma	Texture Pro v 1.0 Build 19 Standard Edition
Testi	Puristustesti
Menetelmä	TPA
Anturi	TA4/1000
Filtteri	0,75
Kohdetyyppi	Etäisyys
Tavoitearvo	20 mm / 17 mm
Kuormakenno	5 g
Testiä edeltävä nopeus	5 mm/s
Testinopeus	1 mm/s
Testin jälkeinen nopeus	5 mm/s

Metodi tehtiin laitteen maahantuojan edustajan opastuksen pohjalta ja sillä testattiin kaksitoista erilaista elintarviketta. Kovuus- ja tarttuvuustuloksia tarkasteltiin vertaamalla niitä rinnakkaisista näytteistä otettuihin kovuus- ja viskositeettituloksiin, jotka mitattiin sillä hetkellä käytössä olevilla menetelmillä. Lisäksi vertailussa



otettiin huomioon aistinvarainen arviointi. Metodia muokattiin ja testattiin muokkauksien vaikutusta, minkä lisäksi testattiin myös kahta erilaista mittauspäättä.

## **3.2 Suoritetut analyysit**

### **3.2.1 Näytteiden validointi**

Validointiin valittavien tuotteiden valinta tuli tehdä tarkasti. Ensinnäkin validoitavien tuotteiden rakenteen tuli edustaa mitattaviksi suunniteltujen elintarvikkeiden erilaisia tekstuurityyppejä mahdollisimman laajasti. Jotta validoitavista tuotteista saatiin mitattavia elintarvikkeita hyvin edustava joukko, tuli valinnassa ottaa huomioon tuotteiden rakenne niin aistinvaraisesti koettuna kuin niiden aiempien kovuus- ja viskositeettiarvojen perusteella. Lisäksi validointi haluttiin kohdistaa etenkin usein valmistettaviin elintarvikkeisiin. Osa valituista ei tätä vaatimusta täyttänyt, jos esimerkiksi sen rakenteellinen erilaisuus oli huomattavaa muihin elintarvikkeisiin nähden. Toisaalta taas, jos monia rakenteeltaan hyvin samantyyppisiä elintarvikkeita valmistettiin kaikkia usein, saatettiin niistä valita vain yksi validointiin.

Mittauksiin suunniteltuja pääasiallisia elintarviketyyppejä oli kaksi. Validoitavaksi valittiin elintarviketyyppi 1:stä 19 ja -tyyppi 2:sta 6 tuotetta. Myöhemmin elintarviketyyppi 1 jaettiin kahteen osaan, jolloin validoitavat jaettiin luokkiin 1, 2 ja 3, joissa validoitavia oli 17, 2 ja 6 kappaletta. Yhteensä validoitiin 25 eri elintarviketuotetta, joista jokaisesta oli 24–26 rinnakkaista näytettä.

Validoitujen näytteiden tuloksista laskettiin keskiarvo, otoskeskihajonta sekä suhteellinen keskihajonta. Otoskeskihajontaan (SD) käytettiin kaavaa 1 ja suhteelliseen keskihajontaan (RSD) kaavaa 2. Näytteet koottiin luokittain taulukoihin, johon merkittiin lisäksi pienin ja suurin tulos, rinnakkaisten määrä sekä rinnakkaisen näytteen aiemmalla tekniikalla mitattu kovuus- tai viskositeettitulokset riippuen elintarviketyypistä. Tekstuurianalysaattorin tarttuvuus- ja kovuustuloksille tehtiin omat taulukot.

### 3.2.2 Korrelaatiotutkimus

Jotta voitiin tutkia korrelaatiota aiemmin käytettyjen menetelmien kanssa, analysoitiin luokkien 1–2 eli elintarviketyypin 1 näytteitä 125 kappaletta ja luokan 3 eli elintarviketyypin 2 näytteitä 100 erilaista näytettä. Näytteisiin kuului monia eri tuotteita, mutta myös saman tuotteen eri annoksista otettuja näytteitä.

Elintarviketyypin 1 tuloksista tehtiin kaksi kuviota. Ensimmäisessä kaaviossa tarkasteltiin näytteiden viskositeetin ja kovuuden korrelaatiota ja toisessa kaaviossa viskositeetin ja tarttuvuuden korrelaatiota. Elintarviketyypin 2 tuloksista tehtiin myös kaksi kuviota. Näistä ensimmäisessä kaaviossa tutkittiin näytteiden penetrometrillä mitattujen kovuuksien korrelaatiota tekstuurianalysointorilla mitattuihin kovuuksiin ja toisessa kaaviossa penetrometrillä mitattujen kovuuksien korrelaatiota tarttuvuuteen. Korrelaatiolla oli tarkoitus osoittaa uusien analyysien luotettavuutta ja lisäksi vertailla tiettyjen tulosten totuudenmukaisuutta. Uusilla analyysillä oli tarkoitus korvata aiemmat kovuus- ja viskositeettianalyysit, minkä vuoksi korrelaatio oli myös tärkeää. Koska tekniikat ja parametrit olivat erilaisia ja analyysillä oletettiin saatavan aiempaa totuudenmukaisempaa tietoa elintarvikkeiden rakenteesta, täydellistä korrelaatiota ei kuitenkaan haettu.

### 3.2.3 Muut analyysit

Koska joskus laitteella tutkittavia näytteitä tulee tutkittavaksi pienemmissä näyteastioissa, kuin validoinnissa käytetyt näyteastiat, testattiin purkin koon vaikutusta tuloksiin. Tämä tehtiin ottamalla samasta annoksesta 24 rinnakkaista elintarvikenäytettä sekä isoon että pieneen näyteastiaan. Näytteet testattiin ja ison ja pienen purkin tuloksia vertailtiin keskenään.

Lisäksi tehtiin pieni tutkimus liittyen laboratoriotyöskentelyn virheisiin. Koska mittausanturi sotkeutuu aina puristuessaan näytteeseen, haluttiin selvittää huolimattoman puhdistuksen vaikutusta tuloksiin. Tätä tutkimusta varten mitattiin 10 rinnakkaista näytettä puhdistuksen mittaustulosten liioittelun huonosti. Näytteet olivat rinnakkaisia yhden validointinäytteisiin kuuluneen näytesarjan kanssa. Näitä

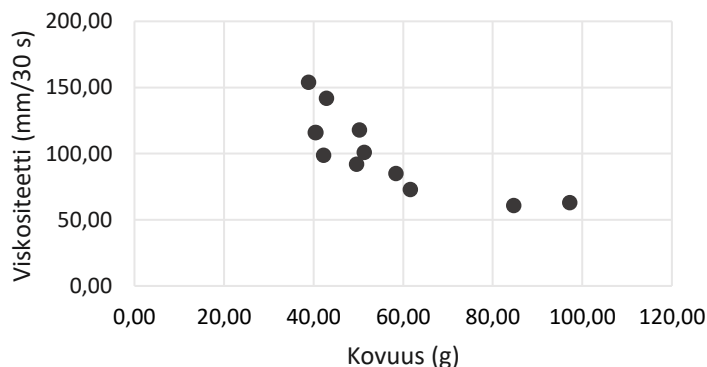
huonosti puhdistetulla anturilla mitattuja arvoja verrattiin hyvin puhdistetulla anturilla mitattuihin arvoihin.

### **3.3 Kirjalliset työt**

Validoinnin ja korrelaatiotutkimuksen lisäksi työssä muun muassa laadittiin laitteelle pikaohje ja opastettiin laitteenkäyttö sitä käyttävälle työntekijälle. Lisäksi käyttöönoton edistämiseksi tehtiin analysoiduista tuotteista niiden mittausajan kohtana voimassa olleista raja-arvoista taulukko. Aiempien raja-arvojen ja saatujen tulosten perusteella kirjattiin tekstuurianalysointilaitteen analyysiin sopivat raja-arvot. Raja-arvot arvioitiin tuotekehittäjien uuden tuotteen raja-arvon määrittämisessä käytettävän ohjeistuksen mukaisesti. Taulukon on tarkoitus olla helpottavana työkaluna raja-arvojen määrittämisessä, kun laite varsinaisesti otetaan käyttöön. Raja-arvoihin saattaa tulla vielä muutoksia esimerkiksi, jos taulukon teon ajankohdan ja laitteen käyttöönoton välissä esimerkiksi tuotteiden valmistuksessa on tapahtunut muutoksia. Raja-arvotaulukot löytyvät liitteistä 1 ja 2 taulukoissa 15 ja 16.

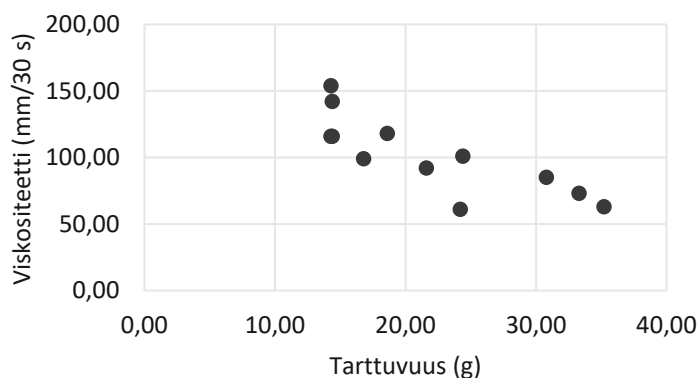
## 4 MENETELMÄN OPTIMOINTI

Menetelmää testattiin 12 erilaisella elintarviketyypin 1 näytteellä, joiden kovuus- ja tarttuvuustulokset ovat kuvioissa 3 ja 4. Kuviossa on myös näytteiden rinnakkaisien viskositeettitulokset, joihin tuloksia vertailtiin. Viskositeetti mitattiin mittamalla valumanopeutta viskosimetrillä.



KUVIO 3. Kovuuden ja viskositeetin korrelaatio

Kuviossa 3 ja 4 nähdään, että vähemmän valuvat tuotteet ovat saaneet isompia kovuus- ja tarttuvuusarvoja, kuin valuvammat näytteet. Kaikkein juoksevimmän rakenteen näytteissä eroa on kovuudessa jonkin verran, mutta tarttuvuudessa eroavaisuuksia näkyy vähemmän. Valuvimpien näytteiden tarttuvuutta oli vaikea arvioida myöskin aistinvaraisesti.



KUVIO 4. Tarttuvuuden ja viskositeetin korrelaatio

Yli 100 mm/30 sekunnissa valumanopeuden omaavissa tuotteissa sekä kovuus- että tarttuvuusarvot olivat melko samanlaisia, vaikka niiden viskositeetti oli melko erilainen. Myös aistinvaraisesti lähellä 100 mm/30 s tuotteet olivat selkeästi vähemmän valuvia, kuin 160 mm/30 s viskositeetin omaavat tuotteet. Tämän vuoksi metodia muokattiin kahdesti, jotta nähtiin, tuleeko tuloksiin selkeämpiä eroja. Filteriarvolla pyrittiin tulosten oikeellisuuden tasaamiseen, joten nostettiin se 0,95:een. Kuormakennon suositusarvo oli tuotteille laitteen maahantuojan mukaan 5–10 g, joten kokeiltiin 10 g kuormaa. Kummankaan arvon muokkaamisella ei merkittäviä eroavaisuuksia kovuus- tai tarttuvuusarvoihin kuitenkaan saatu. Lisäksi osa virtaavimmista tuotteista pääsivät mittauksen syvimmissä kohdassa valumaan anturin päälle, joten mittaustapaa piti pohtia joka tapauksessa uusiksi. Suurimmalla osasta tuotteista tämä menetelmä vaikutti kuitenkin toimivan, joten sillä lähdettiin tekemään jo korrelaatiota varten tarvittavia mittauksia.

Vaikka kovuuden ja tarttuvuuden saa mitattua myös yhden syklin puristustestillä, mittaukset päätettiin tehdä kahden syklin TPA-testillä, jotta saatiin myös sen mahdollistamat analyysitulokset tarkasteluun, kuten koheesio. Vain testaamalla voidaan osoittaa varmaksi, mikä anturi ja analyysi toimii ja antaa lisäarvoa juuri tämänkaltaisille näytteille (Argentieri 2022). Tällöin toimeksiantajalle jää halutesaan myöhemmin mahdollisuus tarkastella myös muiden analyysien tuloksia ja mahdollisuuksia, kuin tässä opinnäytetyössä käsitellyt kovuus ja tarttuvuus.

Ratkaistavana oli joka tapauksessa juoksevimpien tuotteiden mittaustapa, koska kaikkein virtaavimmat tuotteet pääsivät mittauksen syvimmissä kohdassa valumaan anturin päälle. Pohdittiin siis, saisiko kovuuden lisäksi jollain muulla tekstuurianalyysaattorin analyysilla lisäarvoa virtaavimpien näytteiden tekstuurin arviointiin. Laitteen valmistajan puolesta virtaavimmille näytteille ehdotettiin mahdollisesti soveltuvaksi analyysiksi koheesiota ja koheesion mittaukseen suositeltiin pyöreäpäistä anturia, jottei terävä reuna ”riko” pintajännitystä (Argentieri 2022). Pyöreäpäinen TA18 anturi ei kuitenkaan tunnistanut virtaavia näytteitä, joten näille näytteille se ei ollut sopiva.

Koska pyöreä pää ei tunnistanut juoksevimpia näytteitä, päätettiin valuvimpien näytteiden etäisyysarvoa anturin TA4/1000 kanssa hieman pienentää 20 millimetristä 17 millimetriin. Tällöin tuote ei päässyt syvimmissä mittauskohdassa

enää valumaan anturin päälle. 17 mm etäisyysarvolla testejä tehdessä huomattiin, että eroavaisuuksia eri tuotteiden välille kovuus- ja tarttuvuusarvoihin tuli tapauksissa, joissa aistinvaraisestikin oli selkeät erot. Taulukossa 2 on uudella 17 millimetrin etäisyysarvolla saatuja tuloksia ja pieni kuvaus tuotteiden aistinvaraisista valuvuuseroista. Tämän pienen otannan mukaan kovuus- ja tarttuvuusarvot kuvasivat nyt tarkemmin tuotteen rakennetta, kuin viskositeetti. Tuote Z, josta ei viskositeettia ole mitattu aiemmin, sai sekä kovuudesta että tarttuvuudesta pienimmät arvot. Y, X, V1 ja V2 tuotteet saivat melko samanlaisia kovuusarvoja, mutta tarttuvuusarvoissa oli selkeä ero, kuten myös aistinvaraisesti arvioituna. Lisäksi tuote U, joka oli valuva, mutta etenkin pinnasta selkeästi jähmeämpi kuin muut, sai selkeästi korkeamman kovuusarvon. Tulosten perusteella valuvimmat tuotteet päätettiin validoida 17 mm etäisyysarvolla.

TAULUKKO 2. Valuvimmat elintarvikkeet 17 mm etäisyysarvolla mitattuna  
Viskositeetti = Valumanopeus

Tuote	Rakenne	Kovuus (g)	Tarttuvuus (g)	Viskositeetti (mm/30 s)
Z	Erittäin valuva	36,2	9,3	-
Y	Melko valuva	44,6	14,2	180
X	Melko valuva	45,1	15,8	140
V1	Vähän valuva	41,0	24,1	125
V2	Vähän valuva	46,4	22,0	100
U	Vähän valuva, pinnalta jähmeä	54,1	23,2	137

Maahantuojan mukaan tietynlaisten heterogeenisten elintarvikkeiden kovuus- ja tarttuvuusanalyysit voisivat onnistua niiden haastavan rakenteen vuoksi paremmin TA10 anturilla. Anturi on pidemmän muotoinen akryylilieriö, jonka vuoksi sen arvioitiin mittaavan elintarvikkeen kattavammalta alueelta. Kattavamman alueen oletettiin parantavan tulosten luotettavuutta.

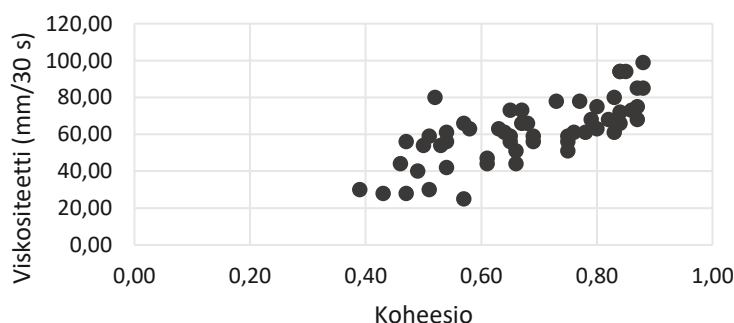
Kahden haastavarakenteisen tuotteen TA10 anturilla saadut tulokset ovat taulukossa 3. Taulukkoon otettiin vertailun vuoksi myös TA4/1000 mitatut tulokset. Näytteitä ei ollut saatavissa lisää, joten nämä mitattiin jo TA10 anturilla mitatuista näytteistä. Tällöin tulokset ovat vain suuntaa antavia, koska näytteen pinta oli jo

kerran rikottu. TA10 anturilla mitatut kovuusarvot olivat 87,8 ja 84,8 g ja tarttuvuusarvot 45,3 ja 43,0 g. Aistinvaraisesti esimerkiksi lusikalla painaen arvioi-  
dessa näyte oli moninkertaisesti kovempi, kuin aiemmissa testeissä alle 100 g kovuuden saaneet näytteet. Tuote oli myös selkeästi tarttuvampi, kuin TA10 anturin mittaustulokset antoivat ymmärtää. TA4/1000 anturilla kovuus oli 400 g luokkaa ja tarttuvuus 200 g luokkaa, jotka olivat selkeästi todenmukaisemmalla tasolla, kun vertasi muihin yhtä koviin ja tarttuviin tuotteisiin. Tämän vuoksi myös tämänlaisen rakenteen omaavat tuotteet päätettiin validoida TA4/1000 anturilla.

TAULUKKO 3. Eri antureiden tulokset heterogeenisellä tuotteella

Anturi	Kovuus (g)	Tarttuvuus (g)	Kovuus, Penetrometri ( $\frac{1}{10}$ mm)
TA10	87,8	45,3	197,0
TA10	84,8	43,0	197,0
TA4/1000	408,8	194,2	197,0
TA4/1000	394,0	216,5	197,0

Korrelaatiotestien edetessä tarkasteltiin koheesioanalyysien arvoja. Tässä vaiheessa eri näytteitä oli analysoitu 21:stä eri tuotteesta yhteensä 55. Kuviossa 5 on tarkasteluvaiheen koheesioanalyysien tulokset sekä näiden rinnakkaisten näytteiden valumanopeuden tulokset. Kuvion 5 koheesio- ja viskositeettiarvot löytyvät liitteestä 3 taulukossa 17.



KUVIO 5. Koheesio ja viskositeetti

Testien edetessä huomattiin, että saman tuotteen eri annosten arvojen välillä saattoi olla vaihtelua näin pienessäkin mittakaavassa 0,12 yksikköä. Koska arvot sijoittuivat pääasiallisesti 0,40–0,90 välille, ei tulosten todettu tuottavan kovin paljon lisäarvoa. Vaikka tuotteiden rakenteissa oli isoja eroja, niiden koheesioerot olivat vain vähäisiä.



## 5 TULOKSET

### 5.1 Toistettavuus

Luokan 1 validoitujen tuotteiden kovuusarvot vaihtelivat 53,5–275,6 g välillä ja kovuusarvojen otoskeskihajonnat 1,0–13,1 g välillä. Suuremmissa kovuusluokissa keskihajonnat olivat suurempia ja pienemmissä pienempiä. Suhteelliset keskihajonnat vaihtelivat 1,7–6,1 %:ssa. Keskimäärin RSD oli 3,2 %. Tulokset on järjestetty taulukkoon 4 tuotteiden viskositeetti- eli valumanopeusarvojen mukaan pienimmästä suurimpaan.

TAULUKKO 4. Luokan 1 kovuus tulokset

Näyt. määrä = Rinnakkaisten näytteiden määrä, Viskositeetti = Valumanopeus

Näyte, Luokka 1	Kovuus, keskiarvo (g)	Pienin (g)	Suurin (g)	SD (g)	RSD (%)	Näyt. määrä (kpl)	Visko- siteetti (mm/30s)
A	187,4	173,5	195,2	5,8	3,1	26	35
B	105,7	102,4	111,6	2,5	2,3	24	40
C	216,5	195,1	241,0	13,1	6,1	25	40
D	183,2	166,8	194,5	7,2	3,9	25	40
E	275,6	255,8	297,4	12,5	4,6	25	40
F	247,9	231,6	262,4	7,6	3,1	25	50
G	124,5	114,5	142,7	5,7	4,6	25	54
H	94,5	90,1	98,6	2,0	2,1	24	59
I	97,7	89,9	108,1	4,6	4,7	25	68
J	77,6	74,9	79,9	1,3	1,7	24	70
K	111,5	103,4	115,6	3,2	2,9	25	70
L	64,1	59,8	68,5	2,3	3,7	26	73
M	69,7	66,0	73,5	1,8	2,6	25	75
N	57,3	54,5	60,2	1,3	2,2	25	90
O	53,3	51,3	55,0	1,0	2,0	25	90
P	57,7	56,3	59,3	1,0	1,7	25	109
Q	59,4	56,3	63,3	1,5	2,5	24	110

Luokan 2 validoitujen tuotteiden kovuusarvot ja kovuusarvojen otoskeskihajonnat olivat 44,5 ja 30,2 sekä 1,0 ja 1,1 g. Suhteelliset keskihajonnat olivat 2,3 ja 3,5 %. Luokan 2 RSD oli keskimäärin 2,9 %. Luokan 2 tulokset ovat omassa taulukossaan 5.

TAULUKKO 5. Luokan 2 kovuus tulokset

Näyt. määrä = Rinnakkaisten näytteiden määrä, Viskositeetti = Valumanopeus

Näyte, Luokka 2	Kovuus, keskiarvo (g)	Pienin (g)	Isoin (g)	SD (g)	RSD (%)	Näyt. määrä (kpl)	Visko- siteetti (mm/30s)
A2	44,5	42,6	47,3	1,0	2,3	26	142
B2	30,2	28,4	32,9	1,1	3,5	26	200

Luokan 3 validoitujen tuotteiden kovuusarvot ja niiden otoskeskihajonnat vaihtelivat 273,8–664,8 g ja 4,2–22,5 g välillä. Suhteelliset keskihajonnat vaihtelivat välillä 1,5–4,9 %:ssa. Keskimäärin RSD oli 3,1 %. Tulokset ovat taulukossa 6 tuotteiden penetrometrillä mitattujen kovuusarvojen mukaan pienimmästä suurimpaan.

TAULUKKO 6. Luokan 3 kovuus tulokset

Näyt. määrä = Rinnakkaisten näytteiden määrä

Näyte, Luokka 3	Kovuus, keskiarvo (g)	Pienin (g)	Isoin (g)	SD (g)	RSD (%)	Näyt. määrä (kpl)	Kovuus, Penetro- metri ( $\frac{1}{10}$ mm)
A3	289,2	275,8	302,5	7,7	2,7	26	180
B3	664,8	625,6	699,5	22,5	3,4	25	200
C3	445,0	387,1	484,4	21,9	4,9	25	211
D3	435,3	415,3	456,5	9,4	2,2	25	213
E3	406,2	371,8	441,3	15,6	3,8	25	217
F3	273,8	267,1	283,9	4,2	1,5	24	231

Luokan 1 validoitujen tuotteiden tarttuvuusarvot vaihtelivat 20,0–80,9 g välillä ja tarttuvuusarvojen otoskeskihajonnat 1,0–5,6 g välillä. Suhteelliset keskihajonnat vaihtelivat 3,0–7,6 %:ssa. Keskimääräinen RSD näytteillä oli 5,1 %. Tulokset on

järjestetty taulukkoon 7 tuotteiden viskositeettiarvojen mukaan jälleen pienimmästä suurimpaan.

TAULUKKO 7. Luokan 1 tarttuvuus tulokset

Tart. = Tarttuvuus, Näyt. määrä = Rinnakkaisten näytteiden määrä, Viskositeetti = Valumanopeus

Näyte, Luokka 1	Tart., keskiarvo (g)	Pienin (g)	Isoin (g)	SD (g)	RSD (%)	Näyt. määrä (kpl)	Visko- siteetti (mm/30s)
A	80,9	69,6	86,8	3,9	4,8	26	35
B	41,1	34,7	45,2	2,7	6,6	24	40
C	55,3	50,5	59,4	2,3	4,2	25	40
D	56,3	51,7	59,2	2,1	3,7	25	40
E	80,7	71,9	88,4	4,5	5,6	25	40
F	73,5	55,2	82,5	5,6	7,6	25	50
G	56,3	46,1	59,2	2,7	4,7	25	54
H	42,8	38,0	45,4	1,8	4,2	24	59
I	39,9	34,9	43,4	1,9	5,0	25	68
J	38,9	36,1	40,6	1,2	3,0	24	70
K	36,8	32,0	41,2	2,7	7,3	25	70
L	31,5	28,4	34,5	1,6	5,1	26	73
M	40,8	37,6	45,1	2,1	5,1	25	75
N	24,6	22,3	26,7	1,0	4,2	25	90
O	24,9	22,9	26,7	0,9	3,7	25	90
P	22,7	20,6	25,4	1,2	5,2	25	109
Q	20,0	16,9	22,7	1,4	7,0	24	110

Luokan 2 validoitujen tuotteiden tarttuvuuden keskiarvot olivat 16,8 ja 10,4 g ja niiden otoskeskihajonnat olivat 1,2 ja 0,9 g. Suhteelliset keskihajonnat olivat 6,9 ja 8,3 % eli keskimäärin 7,6 %. Luokan 2 näytteiden tarttuvuustulokset löytyvät taulukosta 8.

## TAULUKKO 8. Luokan 2 tarttuvuus tulokset

Tart. = Tarttuvuus, Näyt. määrä = Rinnakkaisten näytteiden määrä, Viskositeetti = Valumanopeus

Näyte, Luokka 2	Tart., keskiarvo (g)	Pienin (g)	Isoin (g)	SD (g)	RSD (%)	Näyt. määrä (kpl)	Visko- siteetti (mm/30s)
A2	16,8	14,6	19,0	1,2	6,9	26	142
B2	10,4	8,2	12,0	0,9	8,3	26	200

Luokan 3 validoitujen tuotteiden tarttuvuusarvot ja niiden otoskeskihajonnat vaihtelivat 137,2–260,4 g ja 3,6–36,1 g välillä. Suhteelliset keskihajonnat vaihtelivat 2,6–14,0 %:ssa. Kaikkien keskimääräinen RSD oli 7,1 %, mutta alle 10 %:n keskihajontojen kesken 5,7 %. Tulokset ovat taulukossa 9 tuotteiden penetrometrillä mitattujen kovuusarvojen mukaan pienimmästä suurimpaan.

## TAULUKKO 9. Luokan 3 tarttuvuus tulokset

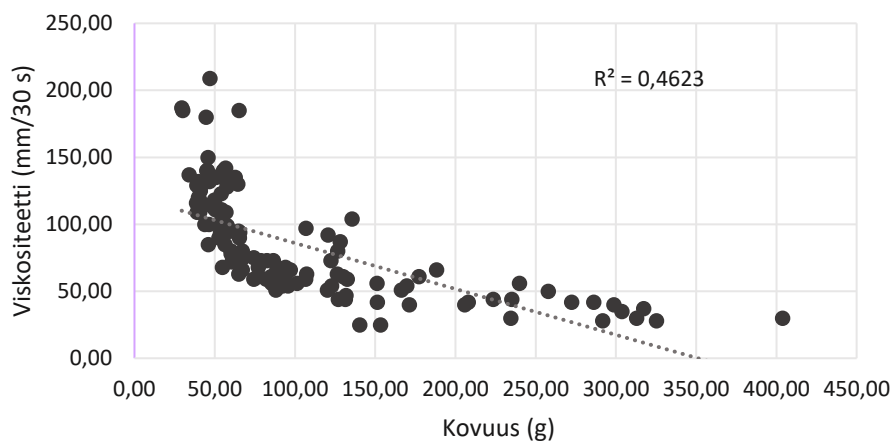
Tart. = Tarttuvuus, Näyt. määrä = Rinnakkaisten näytteiden määrä

Näyte, Luokka 3	Tart., keskiarvo (g)	Pienin (g)	Isoin (g)	SD (g)	RSD (%)	Näyt. määrä (kpl)	Kovuus, Penetro- metri ( $\frac{1}{10}$ mm)
A3	137,2	121,9	145,4	6,3	4,6	26	180
B3	257,3	193,1	333,1	36,1	14,0	25	200
C3	260,4	213,6	289,5	21,9	8,4	25	211
D3	210,4	168,7	253,4	17,1	8,2	25	213
E3	168,8	149,1	181,9	7,7	4,6	25	217
F3	140,3	135,1	147,1	3,6	2,6	24	231

Luokan 3 tuotteilla B3–F3 kovuuden keskiarvot tekstuurianalysaattorilla kasvavat, kun penetrometrillä arvot pienenevät. A3 näytteessä sekä tekstuurianalysaattorin että penetrometrin kovuusarvot ovat melko pienet.

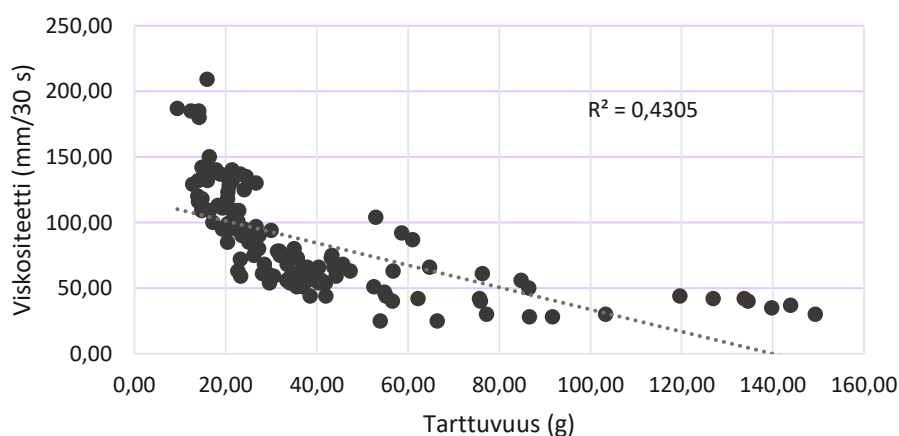
## 5.2 Korrelaatio

Tekstuurianalysointin uusien analyysien oli tarkoitus korvata aikaisemmin käytössä olleet määritykset. Aikaisemmin elintarviketyypin 1 tuotteista on määritetty viskositeetti ja tyypin 2 tuotteista on määritetty kovuus penetrometrillä. Elintarviketyypin 1 rinnakkaisista näytteistä määritettyjä kovuus- ja viskositeetti- sekä tarttuvuus- ja viskositeettiarvoja voi tarkastella kuvioissa 6 ja 7.



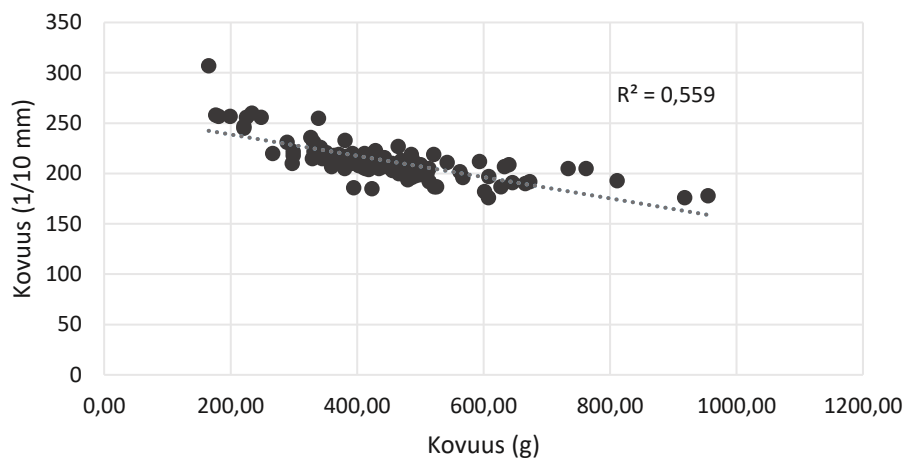
KUVIO 6. Kovuuden ja viskositeetin korrelaatio, elintarviketyyppi 1

Kuviossa 6 nähdään kovuuden ja viskositeetin korrelaatio ja kuviossa 7 tarttuvuuden ja viskositeetin korrelaatio. Kuvion tuotteet olivat elintarviketyypin 1 tuotteita, joihin kuului sekä luokan 1 että luokan 2 tuotteita. Korrelaatiokertoimet olivat 0,46 ja 0,43.



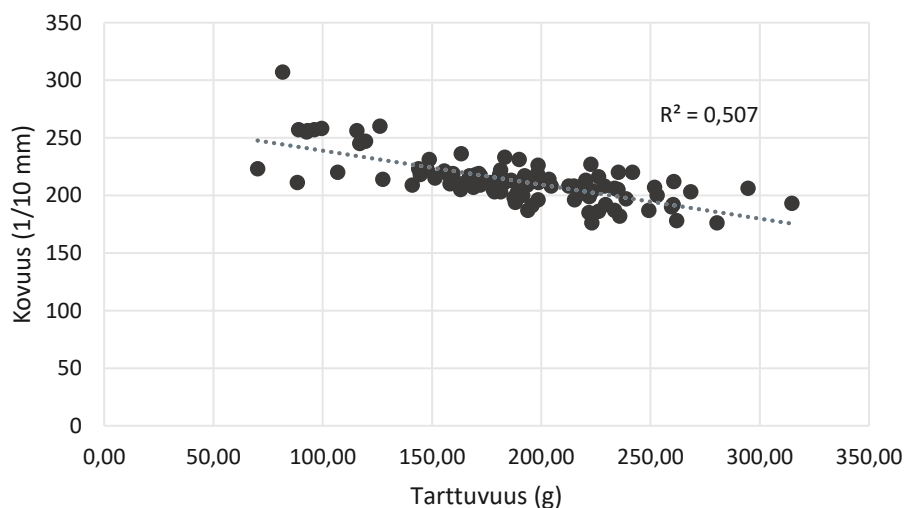
KUVIO 7. Tarttuvuuden ja viskositeetin korrelaatio, elintarviketyyppi 1

Elintarviketyypin 2 rinnakkaisista näytteistä penetrometrillä ja tekstuurianalysaattorilla määritetyt kovuusarvot on koottu kuvioon 8. Kovuuksien välinen korrelaatiokerroin oli 0,56.



KUVIO 8. Penetrometrillä ja tekstuurianalysaattorilla mitattujen kovuuksien korrelaatio, elintarviketyyppi 2

Elintarviketyypin 2 tarttuvuus- ja penetrometrin kovuusarvot ovat kuviossa 9. Niiden välinen korrelaatiokerroin oli 0,51. Korrelaatiokuvio on tehty osittain raja-arvotaulukkojen pohjalta, mutta taulukkoa on täydennetty korrelaatiokuvioiden tekemisen jälkeen.



KUVIO 9. Tarttuvuuden ja kovuuden korrelaatio, elintarviketyyppi 2

Kaikissa vertailuarvoissa tekstuurianalysoijan x-suoralla oleva arvo suurenee y-akselilla olevan vertailuarvon pienentyessä. Muuttujat korreloivat negatiivisesti. Kaikkien korrelaatiotutkimuksien korrelaatiokerroin on koottu taulukkoon 10.

TAULUKKO 10. Korrelaatiokerroimet

Elintarviketyyppi	Korrelaatio	Korrelaatiokerroin
1	Kovuus–Viskositeetti	0,46
1	Tarttuvuus–Viskositeetti	0,43
2	Kovuus–Kovuus	0,56
2	Tarttuvuus–Kovuus	0,51

Tekstuurianalysoijan uudet analyysit korreloivat heikosti valumanopeuden kanssa korrelaatiokerroimien ollessa 0,43 ja 0,46. Penetrometrin kovuustulosten kanssa korrelaatiot olivat kohtalaista; tarttuvuuden kanssa 0,51 ja kovuuden kanssa 0,56.

### 5.3 Näyteastioiden koon ja anturin puhdistuksen vaikutus

Rinnakkaisia näytteitä mitattiin sekä pienemmässä näyteastiassa että suuremmissa näyteastiassa 24 kappaletta. Näistä otettiin vertailuun kovuus- ja tarttuvuustulokset, jotta voitiin tutkia näyteastian koon vaikutusta tuloksiin. Taulukossa 11 on näytteiden kovuusanalyysin tulokset. Suuressa astiassa kovuuden keskiarvoksi saatiin 480,5 g ja otos- ja suhteelliseksi keskihajonnaksi 7,9 g ja 1,7 %. Pienessä astiassa kovuuden keskiarvo oli 463,7 g ja otos- ja suhteellinen keskihajonta 22,8 g ja 4,9 %.

TAULUKKO 11. Kovuus tulokset erilaisissa näyteastioissa  
Näyt. määrä = Rinnakkaisten näytteiden määrä

Näyte	Kovuus, keskiarvo (g)	Pienin (g)	Suurin (g)	SD (g)	RSD (%)	Näytteiden määrä (kpl)
Suuri astia	480,5	467,6	497,6	7,9	1,7	24
Pieni astia	463,7	393,4	497,5	22,8	4,9	24

Taulukossa 12 on eri kokoisten näyteastioiden tarttuvuustulokset. Tuloksissa suuren näyteastian tarttuvuuden keskiarvo oli 272,9 g ja otos- ja suhteellinen keskihajonta 7,1 g ja 2,6 %. Pienen näyteastian tarttuvuuden keskiarvo oli 243,2 g ja otos- ja suhteellinen keskihajonta 11,5 g ja 4,7 %.

TAULUKKO 12. Tarttuvuus tulokset erilaisissa purkeissa  
Tart. = Tarttuvuus

Näyte	Tart., keskiarvo (g)	Pienin (g)	Suurin (g)	SD (g)	RSD (%)	Näytteiden määrä (kpl)
Suuri astia	272,9	263,6	296,0	7,1	2,6	24
Pieni astia	243,2	211,1	258,6	11,5	4,7	24

Validoidun näytteen G rinnakkaisia näytteitä analysoitiin lisäksi 10 kappaletta huonosti puhdistetulla anturilla. Taulukossa 13 on näytteen G validoinnin kovuus- tulokset, jolloin anturin puhdistustapa on ollut hyvä ja sen 10 rinnakkaisen näytteen tulokset huonolla puhdistustavalla.



TAULUKKO 13. Kovuus tulokset eri puhdistustavoilla

Puhdistus- tapa	Kovuus, keskiarvo (g)	Pienin (g)	Isoin (g)	SD (g)	RSD (%)	Näytteiden määrä (kpl)
Hyvä	124,5	114,5	142,7	5,7	4,6	25
Huono	121,1	111,3	125,7	4,6	3,8	10

Huolimattomasti puhdistetun anturin kovuusanalyysien keskiarvo oli 121,1 g hyvin puhdistetun 124,5 g. Taulukossa 14 on näytteen G validoinnin tarttuvuusarvot hyvällä puhdistustavalla sekä 10 rinnakkaisen näytteen tulokset huonolla puhdistustavalla.

TAULUKKO 14. Tarttuvuus tulokset eri puhdistustavoilla

Tart. = Tarttuvuus

Puhdistus- tapa	Tart., keskiarvo (g)	Pienin (g)	Isoin (g)	SD (g)	RSD (%)	Näytteiden määrä (kpl)
Hyvä	56,3	46,1	59,2	2,7	4,7	25
Huono	57,7	55,1	59,8	1,6	2,8	10

Tarttuvuusanalyseissä huolimattomasti puhdistetun anturin tulosten keskiarvo oli 57,7 ja hyvin puhdistetun 56,3. Huonon puhdistuksen kovuustulosten RSD oli 0,8 %-yksikköä pienempi kuin hyvän puhdistuksen tulosten RSD. Huonon puhdistuksen tarttuvuustulosten RSD oli 1,9 %-yksikköä pienempi kuin hyvän puhdistuksen tulosten RSD.

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

Elintarviketyypin 1 eli luokan 1 ja 2 keskimääräiset kovuusarvot olivat pienen viskositeettiarvon tuotteilla suurempia ja suuremman viskositeetin tuotteilla pienempiä. Tämä toistuu niin validoitujen näytteiden keskiarvoja tarkastellessa, että korrelaatiokuvaiota tarkastellessa. Myös tarttuvuusarvoissa on havaittavissa vastavaa korrelaatiota. Vaikka korrelaatiota on, se on heikkoa. Heikko korrelaatio on ilmeistä, koska kyseessä ei ole sama laite, saati sama parametri tai yksikkö. Heikko korrelaatio kuitenkin osoittaa, että usein valuvammat tuotteet ovat vähemmän kovia, kuin vähemmän valuvat tuotteet ja toisin päin.

Tarkemmin kuvioita 6 ja 7 tutkittaessa huomaa, että etenkin alle 50 mm/30 s tuotteilla kovuus ja tarttuvuusarvoissa on suuria eroja. Suurempia eroja näkyy myös jo alle 75 mm/30 s tuotteilla. Tällöin tuotteilla, jotka viskosimetri on niputtanut viskositeetin perusteella samankaltaisiksi keskenään, tekstuurianalysaattorin analyyseissa tuotteiden rakenteen eroavaisuudet saadaan numeerisesti havainnollistettua selvemmin. Yli 100 mm/30 s viskositeetin tuotteilla kovuus- ja tarttuvuusarvoissa on hieman vähemmän vaihtelua, mutta vaihtelua kuitenkin on. Virtaavimmissa tuotteissa liitteen 1 numeerisia arvoja tarkastellessa huomaa samojen tuotteiden annosten johdonmukaisuuden uuden analyysin tuloksissa. Esimerkiksi 123–140 mm/30 s viskositeettitulosten tuotteen tarttuvuusarvot ovat 18,8–21,4 g, kun 180–185 mm/30 s viskositeetin tuotteen tarttuvuusarvot ovat selkeästi alemmat 14,1–14,2 g. Kovuus on tuotteilla melko samanlainen, mutta näin korkean viskositeetin tuotteilla kovuudessa ei usein ole juurikaan eroa aistinvaraisesti.

Elintarviketyypin 2 korrelaatiotutkimusten tulosten mukaan tekstuurianalysaattorin kovuus- ja tarttuvuusarvojen korrelaatio penetrometrillä mitattujen kovuusarvojen kanssa olivat kohtalaisia. Korrelaatio tekstuurianalysaattorin kovuuden ja penetrometrin kovuuden välillä oli suurin, 0,56. Myös kuviosta 8 nähdään korrelaation olevan selkeintä tässä tapauksessa. Koska kyseessä on sama parametri, oli oletettavaakin, että tulokset korreloisivat keskenään parhaiten. Yksiköiden ja mittausperiaatteen ollessa kuitenkin erilaiset, ei odotuksena ollut täydellistä korrelaatiota. Lisäksi penetrometrin kovuusarvot ovat osan tuotteiden kanssa

ristiriitaisia aistinvaraisen arvion kanssa, kun tekstuurianalysaattorin tulokset ovat olleet totuudenmukaisempia. Tämä huomioon ottaen kohtalainen korrelaatio vahvistaa tekstuurianalysaattorin tulosten luotettavuutta hyvinkin paljon.

Elintarviketyypin 2 eli luokan 3 tuloksissa B3–F3 tuotteilla sekä kovuus- että tarttuvuusarvot tekstuurianalysaattorilla pääosin kasvavat, kun penetrometrillä arvot pienenevät. Tällä otannalla tulokset näennäisesti korreloivat keskenään negatiivisesti. A3 näytteellä kovuusarvo tekstuurianalysaattorilla on kuitenkin melko pieni, niin kuin penetrometrilläkin, eli tekstuurianalysaattorin mukaan näyte on melko pehmeä ja penetrometrin mukaan melko kova. A3 tuote on tekstuuriltaan hyvin omanlaisensa muihin vastaaviin tuotteisiin verrattuna. Aistinvaraisesti sen mieltää kategoriassaan enemmän pehmeäksi, kuin kovaksi, eli tekstuurianalysaattorin kovuusarvo antaa tekstuurista oikeamman kuvan.

Myös B3 tuotteella on ollut haasteita penetrometrimittauksessa, koska sen rakenteen heterogeenisyyden vuoksi saman annoksen näytteiden kovuudet ovat voineet vaihdella suuresti riippuen siitä, mihin kohtaan näytettä penetrometrin kapea kartiopää sattuu osumaan. Siten tämänkaltaisia tuotteita mitatessa kovuusarvot vaikuttavat olevan luotettavampia tekstuurianalysaattorilla mitattuina. Lisäksi tekstuurianalysaattorilla mitattuna kovuus on selkeästi korkeampi, kuin muilla homogeenisemmällä suunnilleen saman penetrometrin kovuusarvon omaavilla tuotteilla. Myös aistinvaraisesti lusikalla painamalla B3 tuote oli selkeästi kovimpia tämän elintarviketyypin tuotteista, joten tekstuurianalysaattorin kovuusanalyysi antaa luotettavamman kuvan tämän kaltaisista heterogeenisistä tuotteista.

Tuotteen B3 spesifinen heterogeeninen rakenne toi kuitenkin sen tarttuvuusarvoihin niin suurta vaihtelevuutta, että sen suhteellinen keskihajonta oli 14,0 %. Tuotteen rakenne ei anna mahdollisuutta kovin toistettavaan analyysiin. Jotta tämän tuotteen osalta voitaisiin antaa luotettavia tarttuvuusarvoja, analyysin toistettavuudesta tarvitaan lisätutkimuksia. Lisätutkimuksissa voitaisiin esimerkiksi kokeilla laakeampaa anturia, jotta tarttuvuusalue olisi suurempi. Tuotteen ollessa kuitenkin yksittäinen, voidaan pitää harkinnanvaraisena, tuoko tarttuvuusarvo yksittäiseen tuotteeseen tarpeeksi lisäarvoa ottaen huomioon, että jo sen kovuusarvo saatiin vastaamaan totuudenmukaisemmin tuotteen kovuutta verraten aiempaan kovuusanalyysiin.

Validoinnissa kovuuden keskiarvojen suhteelliset keskihajonnat olivat luokittain keskimäärin 3,2 %, 2,9 %, 3,1 %, kun tarttuvuuden keskiarvojen suhteelliset keskihajonnat olivat 5,1 %, 7,6 % ja 7,1 %. Jos luokassa 3 otettiin huomioon vain alle 10 % RSD:t, oli sen suhteellinen keskihajonta 7,1 %:n sijaan 5,7 %. Tämän perusteella kovuusanalyysi oli hieman toistettavampi, kuin tarttuvuusanalyysi. Kaikkien paitsi yhden tuotteen suhteellinen keskihajonta oli alle 10 %, joten analyysin toistettavuuteen voi luottaa tuotteiden rakenteen eroavaisuuksista huolimatta tätä yhtä spesifiä rakennetyyppiä lukuun ottamatta.

Näyteastian koon tutkimuksessa havaittiin pienemmän näyteastian hieman nostavan keskihajontoja. Näytteiden keskiarvot kovuudesta ja tarttuvuudesta olivat pienessä näyteastiassa myös hieman alhaisemmat, kuin suuressa näyteastiassa. Ero ei ollut kuitenkaan ollut kovin suuri, mutta ero on hyvä ottaa huomioon käytettäessä pienempää näyteastiaa.

Anturin puhdistusta tutkittaessa erot eivät olleet merkittäviä. Huolimattoman puhdistuksen ei siis voida olettaa tuovat merkittävää virhettä mittauksiin. Myös viskosimetrillä mitatuissa arvoissa virhelähteenä ollut tuotteen lusikoinnista aiheutuva rakenteen löystyminen saadaan vältettyä tekstuurianalysointin analyysissä, jolloin etenkin vähemmän valuvien tuotteiden tekstuurista tekstuurianalysointilla on mahdollista saada totuudenmukaisempia arvoja.

Koska lopullisiksi analyysiksi valikoitui alun alkaen suunnitellut tarttuvuus ja kovuus ja koheesiosta luovuttiin, ei menetelmän toisesta syklistä saada tarkoituksenmukaista tietoa. Vaikka validointi suoritettiin loppuun asti puristustestin TPA-menetelmällä, on työskentelyn tehokkuuden kannalta järkevämpää käyttää puristustestiä ilman TPA-menetelmää. Laitteen käyttöohjelmiksi tehtiin vastaavat 17 mm ja 20 mm syvyyteen puristavat puristustestit ilman TPA-menetelmää eli toista sykliä.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin: työn päätteeksi tekstuurianalysointilaitteisto on käyttövalmis ja sillä on validoitu kovuus- ja tarttuvuusanalyysit käyttötarkoituksensa. Validoinnissa otettiin kattavasti huomioon sillä testattavien elintarvikkeiden erilaiset rakenteet. Analyysit todettiin pääosin toistettaviksi. Lisäksi korrelaatiotutkimusten tulokset edeltäviin mittausmenetelmiin tukivat tulosten luotettavuutta.

Tekstuurianalysointilaitteen kovuus- ja tarttuvuusanalyysillä oli tarkoitus korvata aiemmin käytössä olleet viskosimetrin valumanopeus sekä penetrometrin kovuusanalyysi. Tulosten perusteella uusilla analyysillä on mahdollista korvata vanhat menetelmät kokonaan, sillä tulokset osoittivat analyysit toistettaviksi. Toistettavuudessa oli aiemmin ongelmia etenkin valumanopeutta mittaavan viskosimetrin kanssa, sillä analyysissä elintarviketta jouduttiin lusikoimaan viskosimetriin, jolloin tämä ulkoinen voima sai elintarvikkeen viskositeetin muuttumaan (Rantamäki, 2005, 13). Tämä oli ongelma, joka toi tuloksiin käyttäjästä johtuvaa epävarmuutta. Tekstuurianalysointilaitteen analyysissä tämä hyvinkin vaihteleva epävarmuustekijä saatiin poissuljettua. Lisäksi etenkin aiemmin penetrometrin kovuusanalyysissä haastaviksi todettujen tuotteiden kohdalla tekstuurianalysointilaitteen kovuusanalyysien tulokset antoivat totuudenmukaisemman kuvan tuotteiden kovuudesta.

Käyttöönoton aikana laitteessa ilmenneet toimintavaikeudet aiheuttivat aikatauluhaastetta ja validointiin mukaan suunnitellusta mittausepävarmuuden tutkimisesta jouduttiin luopumaan. Mittausepävarmuus olisi kuitenkin tärkeä parametri, jotta tuloksista voitaisiin tehdä luotettavammin johtopäätöksiä (Metrologian Neuvottelukunta ja MIKES 2011, 35). Mittausepävarmuuden kanssa tuloksien luotettavuudesta olisi saatu enemmän tietoa. Käytössä olleen punnituskennosarjan kanssa laitteen maksimiepävarmuus on 10 g (Brookfield Ametek 2019, 40), mutta jatkotutkimuksena olisi hyvä vielä määrittää muut epävarmuustekijät, kuten näytteen lämpötilan vaikutus tai käyttäjästä riippuva epävarmuus, sekä laskea mittausepävarmuus analyysille.

Kaiken kaikkiaan työn tavoitteiden lisäksi laitteen mahdollisuuksia käyttötarkoituksessaan saatiin selvitettyä jopa kattavammin kuin oli alun alkaen tavoitteena. Aiemmin tuotteiden rakennetta tutkittiin aistinvaraisen arvioinnin lisäksi vain yhdellä analyysillä ja nyt niiden tueksi saatiin sekä kovuus että täysin uusi tarttuvuusanalyysi. Tuotteissa on hyvin erilaisia tarttuvuuksia, jonka vuoksi tarttuvuusanalyysi on erittäin arvokas uusi parametri kovuusanalyysin rinnalle. Useampi parametri tuo myös kattavamman kuvan tuotteiden rakenteesta.

## LÄHTEET

Alanen, H. 2016, 27. Rakenteensäätöaineiden käyttö lahnapihvissä. Opinnäytetyö. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017061413523>

Argentieri, E. Teknikko. 2022. It-tukipyynnön vastaus. Brookfield Ametekin Verkkotukiportaali. Luettu 31.1.2022.

Brookfiel Ametek. 2019. CTX Texture Analyzer. Manuaaliohje. Luettu 30.1.2022. <https://www.labunlimited.com/CAR1/CAR1-LCOM/pdf/ctx%20texture%20analyser%20manual.pdf>

Bourne, M. 2002. Food texture and viscosity concept and measurement. Lontoo/Kalifornia/San Diego: Academic press.

Kovarianssi ja korrelaatio. Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Luettu 21.3.2022. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/korrelaatio/korrelaatio/>

Labwrench 2022. Kinematica - Polyvisc PV-FV - Fliessviskosimeter. Luettu 19.4.2022. <https://www.labwrench.com/equipment/9815/kinematica-polyvisc-pv-fv>

Liukkonen, T. 2015. Inverttisokerin vaikutus gelatiinimakeisten ominaisuuksiin. Maisterintutkielma. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos. Helsingin Yliopisto. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/158969/Liukkonen\\_EKT1704\\_Inverttisokerinvaikutus\\_lokakuu2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/158969/Liukkonen_EKT1704_Inverttisokerinvaikutus_lokakuu2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Liz, A., Staniewski, B., Ziajka, J. 2021. A comparison of butter texture measurements with the AP 4/2 penetrometer and TA.XT. Plus texture analyzer. Artikkel. Luettu 9.3.2022. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942912.2021.1999262>

Metrologian Neuvottelukunta ja MIKES. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Vantaa: Mittatekniikan keskus MIKES, Työ- ja elinkeinoministeriö TEM

Mingos, D. M. P. 2016. The Chemical Bond: 100 Years Old and Getting Stronger. Springer: E-kirja. Vaatii käyttöoikeuden. Luettu 4.4.2022. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-33543-8>

Nummenmaa, L. 2009. Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy

Nussinovitch, A. Adhesion in foods: Fundamental principles and applications. 1. painos. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.

Nurmi, N. 2020. Liimaus liittämismenetelmänä merivesisovelluksissa. Kandidaatintyö. Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. Tampereen yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202004143209>

PCE-instruments. n.d. Viscosimetro per flussi Polyvisc FV. Tuote-esittely. Luettu 16.4.2022. <https://www.pce-italia.it/html/dati-tecnici-2/viscosimetro-poly-visc-fv.htm>

PJ Control Oy. n.d. Kapasitiiviset kytkimet. Luettu 19.4.2022. <https://www.pjc.fi/anturit/kapasitiiviset-kytkimet>

Rantamäki, P. 2005. Koetoiminta ja käytäntö: Reologia on elintarviketutkijan apuneuvo. 62. vuosikerta. <https://core.ac.uk/download/pdf/52228683.pdf>

Roymech. 2022. Viscosities of Various Fluids. Luettu 11.5.2022. [https://www.roymech.co.uk/Related/Fluids/Fluids\\_Viscosities.html](https://www.roymech.co.uk/Related/Fluids/Fluids_Viscosities.html)

Stable Micro Systems a. 2022. How a Texture Analyser works. Artikkel. Luettu 18.2.2022. <https://www.stablemicrosystems.com/HowATextureAnalyser-Works.html>

Stable Micro Systems b. 2022. Texture Analysis – a Beginner’s Guide. Opas. Luettu 18.3.2022. <https://www.stablemicrosystems.com/BeginnersGuideToTextureAnalysis.html>

Stable Micro Systems c, 2022. How to measure cohesiveness. Ohje. Luettu 12.4.2022. <https://www.stablemicrosystems.com/MeasureCohesiveness.html>

Texturetechnologies Co 2022. Overview of Texture Profile Analysis (TPA). Luettu 2.4.2022. <https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis>

Texture Pro v 1.0 Build 19 Standard Edition. Ohjelman digitaalinen ohje. Luettu 7.12.2021.

Väyrynen, P. Laadunohjaaja, tämän opinnäytetyön toimeksiantajayritys, työnopastus. 18.1.2022.



## LIITTEET

## Liite 1. Elintarviketyypin 1 raja-arvotyökalu.

## TAULUKKO 15. Elintarviketyypin 1 raja-arvotaulukko

Peräkkäin saman taustaväriin tulokset ovat saman elintarvikkeen eri annoksien tuloksia. Punaisella on merkitty raja-arvon ylittävä viskositeetti-arvo ja oranssilla alittava arvo. RSD/SD tiedot sisältävät tulokset ovat validointinäytesarjan keskiarvoja.

Batch Name	Hardness Cycle 1	Adhesive Force	viskosi teetti	Visko min	Visko max	Kovuus min	Kovuus max	Tarttu- vuus min	Tarttu- vuus max	RSD kov/ta rt.	SD Kov./T art.
	g	g									
281221	61,60	26,20	75,00	70	110	40/45	65	18	30		
131221	53,60	22,80	94,00								
301121	56,50	25,10	85,00								
	54,90	20,30	94,00								
020222	60,20	27,20	80								
ka	57,26	24,56	90							2,23/ 4,17	1,28/ 1,02
071221	131,40	42,00	44,00	20	80	80	160	30	60		
ka	105,72	41,11	40,00							2,32/ 6,56	2,46/ 2,70
071221(vino)	88,10	36,90	51,00	50	90	45	95	18	38		
071221(vino)	93,30	33,40	56,00								
030122	82,20	30,50	59,00								
071221	77,30	29,00	61,00								
030122	74,40	23,30	59,00								
071221	60,80	23,20	72,00								
030122	65,00	22,70	63,00								
010222	95,80	41,90	54	40	80	65	115	30	50		
010222	92,40	40,40	54								
010222	92,40	39,80	59								
271221	85,60	38,00	56,00								
271221	77,10	33,50	68,00								
ka	94,46	42,80	59,00							2,14/ 4,17	2,02/ 1,78
201221	223,60	38,50	44,00	50	90	100	200	20	38		
131221	130,00	35,50	61,00								
071221	169,70	34,10	54,00								
030122	132,60	34,30	59,00								
<b>040222</b>	<b>166,30</b>	<b>35,60</b>	51								
	122,90	29,60	54,00								
291221	82,50	33,20	73,00	40	80	70	130	25	45		
211221	106,60	44,20	59,00								
081221	95,90	40,40	66,00								
301121	101,20	40,90	56,00								
141221	94,30	37,20	63,00								
141221	86,60	35,50	73,00								
301121	97,10	37,90	66,00								
ka	97,74	39,90	68,00							4,72/ 4,95	4,61/ 1,94

131221	60,20	31,40	78,00	60	100	45	85	25	40		
030122	66,00	31,80	78,00								
ka	64,11	31,54	73,00							3,66/ 5,10	2,35/ 1,61
291121	140,40	53,90	25,00	40	80	190	300	(50)5 5	75(7 0)		
ka	216,50	55,27	40,00			(jos haluu pysyy 40- 80:ssa				6,06/ 4,21	13,12 /2,33
<b>080222</b>	<b>171,40</b>	<b>56,60</b>	40	40	100	165	320	50	75		
<b>ka</b>	<b>183,18</b>	<b>56,26</b>	40							3,92/ 3,72	7,17/ 2,09
291121	85,10	28,10	61,00	40	80	65	105	23	32		
291121	86,10	29,20	61,00								
201221	177,30	76,30	61,00	50	80	90	200	40	80		
141221	188,30	64,70	66,00								
<b>030222</b>	<b>107,20</b>	<b>47,30</b>	63								
281221	126,40	56,70	63,00	40	70	100	180	45	70		
310122	153,40	66,40	25	20	60	140	280	60	110		
ka	187,42	80,88	35							3,11/ 4,82	5,82/ 3,90
201221	67,10	37,10	66,00	50	80	40	85	25	50		
141221	54,90	28,50	68,00								
010222	74,30	43,30	75								
ka	69,65	40,78	75							2,57/ 5,10	1,79/ 2,08
<b>150222</b>	<b>257,80</b>	<b>86,50</b>	50	50	90	160	270	70	105		
<b>ka</b>	<b>247,91</b>	<b>73,54</b>	50							3,08/ 7,57	7,62/ 5,57
110122	128,30	61,00	87,00	45	75	100	200	50	70		
110122	120,60	58,60	92,00								
130122	286,20	133,70	42	45	75	200	320	110	150		
120122	235,10	119,60	44,00								
130122	303,70	139,80	35								
120122	312,90	149,30	30,00								
130122	298,80	134,60	40								
120122	317,30	143,90	37,00								
130122	272,40	126,90	42								
271221	46,00	20,40	85,00	70	110	32	70	17	30		
020222	52,60	23,60	90								
271221	67,10	27,00	80,00	80	120	50	110	20	40		
071221	65,50	30,00	94,00								
010222	55,10	25,90	90								
ka	53,26	24,89	90							1,96/ 3,7	1,04/ 0,92
201221	78,70	35,70	73,00	60	100	60	120	30	60		
131221	67,70	31,90	75,00								
071221	94,20	45,70	68,00								
271222	88,70	43,70	66								
ka	77,57	38,90	70							1,67/ 3,02	1,30/ 1,17



151221	39,00	16,50	109,00	100	140	20	50	10	20		
131221	40,60	14,60	116,00	80	120	38	70	13	23		
030122	39,90	13,90	120,00								
030222	39,70	14,00	132,00								
211221	53,00	21,40	101,00	90	130	35	65	15	25		
281221	48,80	18,30	113,00								
081221	55,20	22,70	101,00								
141221	54,70	22,00	109,00								
100222	50,50	20,60	111,00								
020222	49,80	20,40	118,00								
281221	59,60	24,10	95,00	95	135	40	65	16	26		
030122	54,90	21,90	99,00								
081221	64,80	19,30	95,00								
141221	54,30	19,30	111,00								
100222	54,90	21,10	97								
020222	65,30	27,30	90								
030222	38,90	12,80	129,00	90	130	35	55	10	20		
201221	40,60	14,80	118								
291121	40,60	14,70	109								



091221	332,10	181,40	222	210	250	200	500	140	240		
081221	388,10	203,60	214								
090222	331,10	189,90	231								
211221	366,10	198,70	211								
211221	329,40	181,60	215								
211221	371,20	198,30	219								
090222	627,50	193,80	187	190	230	380	680	140	240		
291221	513,60	178,00	205								
291221	456,90	178,60	209								
091221	567,30	198,60	196								
091221	645,80	195,70	191								
291221	522,10	233,50	187	160	200	450	750	170	280		
301221	500,70	222,00	199								
080222	364,00	181,00	218								
080222	390,10	183,20	211								
091221	525,60	249,20	187								
091221	418,40	223,40	204								
091221	355,90	182,40	214								
100222	672,80	229,50	192	180	220	400	750	150	250		
090222	562,60	219,20	202								
101221	510,50	191,50	200								
101221	455,70	178,60	203								
070222	345,10	151,40	215	190	230	280	580	120	220		
070222	343,10	143,90	223								
221221	351,10	155,60	221								
221221	374,10	172,20	217								
221221	427,50	189,70	210								
221221	460,60	189,20	203								
291121	521,10	157,10	219	190	230	400	800	110	200		
291221kova	734,00	181,00	205								
291221kova	633,20	168,90	207								
291221	485,60	159,60	219								
291221	593,40	160,00	212								
221221	640,00	141,00	209								
221221	762,10	163,10	205								
080222	225,20	115,70	256	210	250	250	550	120	220		
031121_EPÄ-TASAINEN	342,10	198,50	226	180	220	350	650	150	250		
291121	165,30	81,60	307	290	340	100	200	50	120		
011221	601,70	235,90	182	180	220	300	600	190	290		
011221	607,90	223,10	176								
070222	298,70	144,70	218	190	230	250	550	110	200		
070222	299,10	147,80	222								
070222	497,90	181,40	203								
070222	493,50	187,60	198								
231221_möykkyä	455,60	164,40	210								
221221	480,20	188,20	194								

141221_	233,80	126,20	260	220	260	200	500	90	170		
möykkyä											
141221	221,10	119,60	247								
	273,76	140,31	231							1,52/ 2,58	4,17/ 3,63
211221_epä- tasainen	423,40	221,90	185	200	240	400	700	190	290	Tart. RSD korke a!	
211221_pala	464,80	222,70	227								
	664,78	257,30	200							3,38/ 14,04	22,45/ 36,10
151221	443,40	226,30	216	190	230	300	600	170	270		
090222	408,70	220,40	213								
090222	481,30	228,80	208								
	435,25	210,42	213							2,15/ 8,15	9,38/ 17,15
020222	380,70	183,30	233	200	240	350	650	140	240		
301121	445,30	260,70	212	170	220	300	600	170	300		
301121_epä- tasainen	359,70	180,20	207								
301121	466,20	253,00	200								
301121	473,20	268,40	203								
301121	394,60	226,20	186								
301121	488,00	294,70	206								
011221	410,20	233,60	206								
011221	411,70	241,70	220								
	445,01	260,37	211							4,91/ 8,42	21,85/ 21,92
161221	391,70	163,90	210	190	230	300	600	130	200		
010222	390,70	167,20	217								
010222	431,40	170,20	218								
010222	469,90	172,90	213								
	406,20	168,76	217							3,83/ 4,57	15,56/ 7,71
090222	266,30	106,90	220	180	220	150	400	90	150		
	289,15	137,24	180							2,66/ 4,56	7,69/ 6,25
151221	176,30	99,50	258	200	240	200	500	70	130		

## Liite 3. Koheesio- ja viskositeettiarvot

TAULUKKO 17. Kuvion 5 koheesio- ja viskositeettiarvot

<b>Cohesivness</b>	<b>Viskositeetti (mm/30 s)</b>
0,80	75,00
0,85	94,00
0,87	85,00
0,84	94,00
0,66	44,00
0,75	51,00
0,69	56,00
0,69	59,00
0,76	61,00
0,75	59,00
0,84	72,00
0,80	63,00
0,75	56,00
0,79	68,00
0,46	44,00
0,54	61,00
0,50	54,00
0,51	59,00
0,53	54,00
0,67	73,00
0,65	59,00
0,67	66,00
0,65	56,00
0,63	63,00
0,65	73,00
0,68	66,00
0,77	78,00
0,73	78,00
0,57	25,00
0,83	61,00
0,78	61,00
0,64	61,00
0,57	66,00
0,58	63,00
0,84	66,00
0,87	68,00
0,88	85,00
0,83	80,00
0,84	94,00
0,86	73,00
0,87	75,00



0,82	68,00
0,47	56,00
0,66	51,00
0,61	47,00
0,61	44,00
0,51	30,00
0,49	40,00
0,47	28,00
0,54	42,00
0,43	28,00
0,39	30,00
0,54	56,00
0,52	80,00
0,88	99,00