



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KUVA-ANALYYSIN HYÖDYNTÄMINEN MIKROREIKIEN TESTAUKSESSA

Jukka Taipale

Opinnäytetyö
Toukokuu 2019

Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka

TAIPALE JUKKA:

Kuva-analyysin hyödyntäminen mikroreikien testauksessa

Opinnäytetyö 57 sivua, joista liitteitä 18 sivua
Toukokuu 2019

Opinnäytetyössä tutkittiin kuva-analyysin hyödyntämistä mikroreikien eli pinholen tutkimisessa. Mikroreivät ovat ei-toivottu ilmiö paperin päällystyksessä, jossa päällyste ei leviy tasaisesti ja muodostaa barrier-ominaisuuksia haittaavia, mikroskooppisen pieniä reikiä. Pienen kokonsa vuoksi mikroreivät ovat toisinaan lähes mahdoton havaita paljaalla silmällä ja niiden olemassaolo monesti huomataan vasta silloin, kun päällystekerros altistuu esimerkiksi nesteelle. Mikroreikien vaikutuksesta päällyste ei pidä ja päästää nesteen kontaktiin pohjamateriaalin kanssa, huonontaan sen ominaisuuksia merkittävästi. Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa tämä voi aiheuttaa pakkauksessa olevan tuotteen kontaminaation tai painotuoteteollisuudessa painovärin leviämisen niin, että visuaalinen lopputulos kärsii.

Työssä tutkittiin mikroreikien esiintymistä eri pohjamateriaali- ja päällystetyypillä sekä pyrittiin kehittämään menetelmä, jolla mikroreivät voitiin paikantaa mahdollisimman tehokkaasti kuva-analyysin avulla. Mikroreikien havaitsemiseksi käytettiin COBB-menetelmää, jossa näyte altistettiin värjätylle nesteelle määritetyksi ajaksi. Tämän jälkeen määritettiin käytettyjen nesteiden ominaisuudet kullakin pohjamateriaalilla kontaktikulmamittauksen avulla. Lopuksi näkyviin saatujen mikroreikien lukumäärää ja kokoa arvioitiin siihen tarkoitettulla tietokoneohjelmalla ja pyyhkäisyelektronimikroskoopin avulla.

Kuva-analyysissä käytetty COBB-testi osoittautui tiettyjen värjäysnesteiden ja altistusaikojen kanssa luotettavaksi ja edulliseksi menetelmäksi. Jokaisesta näytteestä, jossa tiedettiin olevan mikroreikiä, pystyttiin analyysin kautta selvästi havaitsemaan mikroreikien koko ja lukumäärä. Menetelmän yksinkertaisuuden vuoksi se sopisi hyvin käytettäväksi teollisuudessa, jossa mikroreikien määrittäminen on yleinen ongelma ja haittaa tuotannon kulkua.

Asiasanat: barrier-ominaisuus, kuva-analyysi, pinhole

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Paper, Textile and Chemical Engineering

TAIPALE JUKKA:

Development of Image Analysis for Pinhole Identification

Bachelor's thesis 57 pages, appendices 18 pages
May 2019

The objective of this thesis was to develop image analysis methods for pinhole identification. Pinholes are unwanted phenomenon in paper coating process where incomplete connection between substrate and adhesive will cause microscopic punctures. This will reduce the barrier properties of the coating by making possible for external substances, such as water, to make direct contact with the substrate. Due to its microscopic size, pinholes are practically invisible to human eye, thus its existence is usually noticed when the coating is already exposed. For example, in food industry pinholes in packages can cause a contamination of the product inside the package and in printing industry pinholes can make the paint spread between the interface so that the visual outcome will suffer.

This work consisted of studying the incidence of pinholes in different coating and substrates and finding a solution to identify them efficiently by using image analysis. For visual identification the COBB-method was used where the sample was exposed to a dyed liquid for specific period of time. Then the properties of these dyed liquids were examined with contact angle measurements with each substrate and adhesive. Finally, the size and count of pinholes were measured with ImageJ-software and scanning electron microscope (SEM).

In this analysis the COBB-method proved to be reliable and efficient when specific exposure times and substrates were used. Pinholes were found in most of the samples, in addition the size and count of pinholes was relatively easy to measure. Due to the simplistic and economical nature of the procedure, it could be potential choice for industry where identification of pinholes is difficult and causes notable problems in the coating process.

Key words: barrier properties, image analysis, pinhole

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	MIKROREIÄT	7
	2.1 Mitä ovat mikroreiät	7
	2.2 Mikroreikien syntyyn vaikuttavat tekijät	7
3	KUVA-ANALYYSI.....	8
	3.1 Tavoitteet	8
	3.2 Menetelmät	8
	3.3 Työvaiheet	13
	3.4 Tarkastelukohteet.....	15
	3.5 Soveltuvuus ja rajoitukset.....	16
4	KONTAKTIKULMA.....	18
5	PINTAENERGIA.....	21
6	HAJONTALUVUT JA KESKIHAJONTA	22
7	PÄÄLLYSTYSMENETELMÄT	23
	7.1 Dispersiopäällystys	23
	7.2 Ekstruusiopäällystys	23
8	TUTKIMUKSET.....	25
	8.1 COBB-testi.....	26
	8.2 Kontaktikulmamittaus.....	27
	8.3 Kuva-analyysi tietokoneohjelmalla	30
	8.4 Pyyhkäisyelektronimikroskooppi	32
9	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	40
	Liite 1. COBB-testin tulokset.....	40
	Liite 2. Kontaktikulmamittausten taulukot.....	49
	Liite 3. Kontaktikulmamittausten kuvaajat	55

ERITYISSANASTO

barrier	päällysteen suojauskyky ulkoisilta tekijöiltä
COBB-testi	paperin vesiabsorption testausmenetelmä
kontaktikulma	kahden faasin kontaktin muodostama kulma
PE-LD	matalatiheksinen polyeteeni
pinhole	mikroreikä
SEM	pyyhkäisyelektronimikroskooppi

1 JOHDANTO

Mikroreiät eli pinholet ovat tyypillinen ongelma paperin päällystyksessä, jotka aiheuttavat ongelmia pakkauksen kestävyydelle ja sen sisältämän tuotteen laadulle. Mikroreikien havaitseminen paljaalla silmällä on hyvin vaikeaa, paikoin jopa mahdotonta, ja ilman kunnollista menetelmää ne huomataan vasta päällystetyn materiaalin altistuessa esimerkiksi nesteelle. Nesteen joutuessa kontaktiin pohjamateriaalin kanssa sen laatu huononee ja johtaa ennen pitkää pakkauksen sisällä olevan tuotteen kontaminaatioon. Mikroreikiä voi muodostua päällystysprosessin kaikissa vaiheissa, jopa ennen itse päällystystä. Useimmiten tähän on syynä päällysteenä käytettävään muovisulaan päätyneet epäpuhtaudet tai ilmakuplat. (Kuusipalo 2008, 136.)

Kuva-analyysi on menetelmä, jossa paperin pinnasta etsitään laaturvirheitä optisen laitteen avulla, jonka keräämä data käsitellään ja tulkitaan tietokoneohjelman avulla. Mikroreikien tapauksessa kuva-analyysillä etsitään alueita, joissa paperin pinnoite on pettänyt esimerkiksi virheellisen valmistuksen tai muun mekaanisen kontaktin seurauksena. Työssä käytetään esimerkkinä vapaaseen lähdekoodin perustuvaa ImageJ-ohjelmaa.

Työn ensisijaisena tarkoituksena on tutkia mikroreikien esiintymistä eri pohjamateriaali- ja päällystetyypillä. Työn alussa tähän tarkoitukseen valmistetaan kolme eri nestettä, jotka ovat vesi-, etanoli- sekä tärpättipohjaisia liuoksia. Näiden liuosten soveltuvuus mikroreikien tunnistamiseen kullakin näytteellä pyritään määrittelemään kvalitatiivisesti. Tämän lisäksi työssä syvennytään kuva-analyysin peruseräiteisiin sekä sen soveltuvuuteen erityisesti paperiteollisuudessa. Työssä käytetään kuva-analyysia apuna nesteiden mahdollisesti värjäämien mikroreikien koon ja lukumäärän laskemisessa. Lopuksi työssä saavutetulla tiedolla pyritään arvioimaan kuva-analyysin luotettavuutta laaduntarkkailun menetelmänä, jotta tuotteen valmistuksessa päästäisiin parempaan lopputulokseen.

2 MIKROREIÄT

2.1 Mitä ovat mikroreiät

Mikroreiät ovat paperin päällystyksessä olevia pieniä reikiä, joiden vuoksi päällysteen barrier-ominaisuudet kärsivät. Mikroreiät ovat hyvin vaikea ja paikoin jopa mahdoton erottaa paljaalla silmällä ja siksi niiden havaitsemiseen tarvitaan erityismenetelmiä. Useimmiten ne syntyvät päällystyksen yhteydessä, mutta niiden on todettu ilmaantuvan myös seuraavissa vaiheissa:

- Ennen päällystystä
- Pisteessä jossa päällyste on suorassa kontaktissa pohjamateriaalin kanssa
- Nipillä
- Päällystyksen irrotessa jäähdytystelalta. (Kuusipalo 2008, 136.)

2.2 Mikroreikien syntyyn vaikuttavat tekijät

Mikroreikien syntyyn on useita eri tekijöitä. Useimmiten syynä on ilma- tai kaasukuplat päällystesulassa, joka yleensä on syy-yhteydessä liian nopeaan tai epätarkkaan päällystysprosessiin. Päällyste voi lisäksi kontaminoitua, jolloin geelit, hiekka tai muut partikkelit tekevät päällysteestä epätasaisen ja altistavat sen mikrorei'ille. Paperin pinta voi myös olla liian karhea tai siitä voi irrota kuituja. (Kuusipalo 2008, 136.)

Mikroreiät voidaan tunnistaa värjäysmenetelmän avulla, jossa pinnalle kaadetun värjätyyn nesteeseen avulla reiät saadaan näkyviin. Mikroreiät tulevat näkyviin tummina pilkkuina, jotka ovat selvästi nähtävissä. Menetelmässä tulee kuitenkin huomioida, että tietyt värjäysaineet soveltuvat käytettäväksi vain tietyille päällyste- ja pohjamateriaalityypeille, sillä kaikilla tyypeillä mikroreikiä ei välttämättä saa hyvin näkyviin. (ISO 535:1991.)

3 KUVA-ANALYYSI

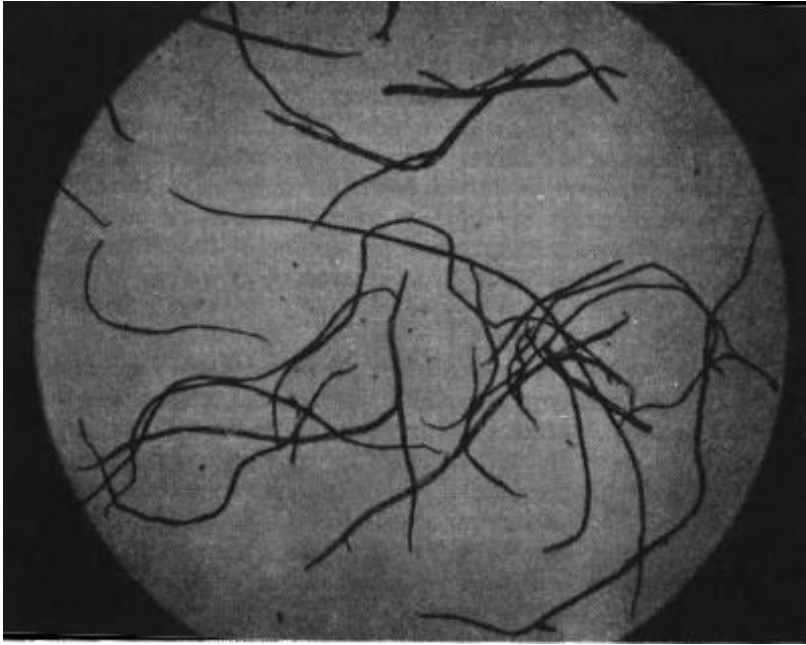
3.1 Tavoitteet

Kuva-analyysin tavoitteena on analysoida tutkittavan kohteen muotoa ja pyrkiä erottamaan hyödyllinen data siitä. Koska analyysi tehdään tietokoneen algoritmilla, menetelmä nopeuttaa suuren tutkimusdatan käsittelyä moninkertaisesti verrattuna manuaalisesti suoritettavaan tutkimukseen. Suuren datamäärän käsittely suhteellisen lyhyessä ajassa lisää myös kvalitatiivisen tutkimuksen tarkkuutta, jolloin tuloksia voidaan pitää luotettavampina. (Shicdelin, 2015).

Paperiteollisuudessa kuva-analyysin tavoitteena on määrittää paperimassan laatu ja tunnistaa mahdolliset epäpuhtaudet. Tällä tavoin paperin laatua voidaan valvoa jo ennen massan prosessoimista paperiksi. Massassa voidaan tutkia esimerkiksi massan tiheyttä tai sakeutta ja kuitujen morfologiaa. (Graminski , 1977.)

3.2 Menetelmät

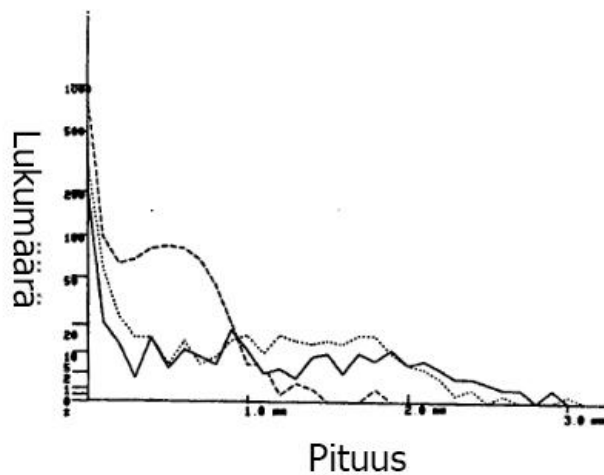
Vaikka paperiteollisuudessa paperin laatua voidaan tarkkailla esimerkiksi mikroskoopin avulla, tämä tapa ei ole erityisen tehokas suurien paperimäärien tutkimuksessa. Kuva-analyysimenetelmällä tämä työvaihe automatisoidaan. Graminskin ja Kirshin tutkimuksessa (Graminski 1977.) kuva-analyysiä käytettiin tällä tavalla. Tutkimuksessa käytetty menetelmä perustui automatisoituun mikroskooppiin, jolla kuituja kuvattiin. Tutkimusta sovellettiin niin havu-, kuin lehtipuumassalle. Kuvat tallennettiin kooltaan 12,7x10,2 senttimetrin kankaalle, josta kuitupartikkelit erotettiin piirtämällä niiden päälle digitaalikyynällä. Kynän jättämä jälki prosessoitiin kuvankäsittelyohjelmassa, joka laski kuitujen todellisen pituuden. Tällaisia mittauksia tehtiin kullakin puumassalla yhteensä 2585.



KUVA 1. Mikroskooppikuva paperikuiduista (Graminski 1977)



KUVIO 1. Yksittäisten kuitujen pituus laskettuna digitaalikynän avulla (Graminski 1977)



Kiinteä viiva = eteläinen lehtipuukuitu

Katkoviiva = havupuukuitu

Pisteviiva = pohjoinen lehtipuukuitu

KUVIO 2. Graminskin tutkimuksen tulokset (Graminski 1977, muokattu)

Cioran ja Simionin tutkimuksessa (Ciora 2014) tätä menetelmää käytettiin leivonnaisten ja lihatuotteiden laadunvalvontaan. Tutkielmassa testattiin kuva-analyysiä leivonnaisilla, jolla pyrittiin parantamaan tuotteiden makua ja esteettisiä ominaisuuksia myynnin parantamiseksi. Tuotteet kuvattiin ja lisäksi määriteltiin niiden tarkka koko, muoto ja väri. Kuvista luotiin neljä mallikuvaa, joiden avulla pyrittiin ennustamaan asiakkaiden mieltymyksiä näiden visuaalisten elementtien pohjalta. Tutkimuksessa käytettiin myös apuna algoritmia, joka erotteli tummat kuvanäytteet vaaleista käyttämällä hyväksi asiakkaiden arvostelemia ja arvostelemattomia näytteitä. Algoritmi kykeni tällä tavoin tunnistamaan 96% arvostelluista ja 76% arvostelemattomista leivonnaisista. Toinen tutkimuskohde Cioran ja Simionin tutkielmassa oli lihateollisuus, jossa kuva-analyysiä hyödynnettiin lihateollisuuden laadunvalvonnassa. Menetelmässä kuvattiin nautakarjan lihaskudoksia ja pyrittiin erottelamaan rasva- ja kollageenikudosta sisältävät näytteet toisistaan. Tutkimuksesta saatiin 58 kuvamallia, jotka osoittivat kuva-analyysin toimineen erittäin hyvin. (Ciora 2014, 19)

Kuva-analyysi on käytössä laajalti myös lääketieteessä, kun pyritään etsimään fysiologisia muutoksia esimerkiksi kudoksissa tai aivojen toiminnassa. Lemken tutkimuksessa (Lemke 2003.) kuva-analyysiä hyödynnettiin aivojen tietokonetomografiassa eli CT:ssä. Tässä kuva-analyysin tuli esikäsittelyvaiheessa täyttää kolme vaatimusta:

1. Saada muodostettua kuva silmin tulkittavaan muotoon.
2. Vähentää kohinaa ja potilaan liikkumiseen aiheuttamia vääristymiä.
3. Saada aikaan kuva, joka on helposti käytettävissä segmentointia varten.

Kerroskuvauksen tuli lajitella kudoksirakenteet toisistaan ja erottaa aivokudokset näistä. CT-kuvauksissa käytettiin Houndsfieldin asteikkoa, joka jakoi kudostyyppit toisistaan. Tutkimuksessa otettiin yhteensä 120 kuvaa potilailta, jotka olivat iältään 20-75 -vuotiaita. Analyysi osoittautui toimivaksi menetelmäksi, sillä kuvausjärjestelmä kykeni erottamaan epäolennaiset kudostyyppit 60 sekunnissa, ja tuon ajan sisällä se myös kykeni siirtämään saadun datan tutkimuslaitteista pääpalvelimelle. (Lemke, 2003).

Kuva-analyysiä voidaan käyttää myös maa-alueiden kartoittamisessa ja maastonmuotojen tutkimisessa. Gaon tutkimuksessa (Gao, 2007) menetelmällä pyrittiin kartoittamaan maa-alueita ja erottelemaan maaston ja kasvillisuuden tyyppit. Tutkimuksessa käytettiin hyväksi maastosta otettuja satelliittikuvia, joita analysoitiin *Object Based Image Analysis* -menetelmällä eli OBIA:lla. Tämän ohjelman tehtävä oli parantaa perinteisen satelliittikuvauksen tarkkuutta, etsiä kuvista muotoja, värejä ja niiden muodostamia johdonmukaisia rakenteita, jonka pohjalta se jakoi maaston kohteet eri luokkiin (Taulukko 1.). Menetelmällä pystyttiin luotettavasti luokittelemaan 75,99% koko tutkimusalueelta.

TAULUKKO 1. OBIA-menetelmän tulokset (Gao 2007)

Classes	Features used in the rule base
Orchards	Mean layer 1 < 170 Mean layer 2 >= 199 Mean layer 5 <= 105
Sparse temperate forest	Max. diff. < 1.7 Mean layer 2 <= 179 Mean layer 4 >= 143 Mean layer 5 >= 94.19 Mean layer 6 <= 191 Mean layer 6 >= 83
Dense temperate forest	Max. diff. >= 1.7 Mean layer 5 <= 72 Not fields with crops (inherited) Not grass land (inherited) Not orchards (inherited) Not human settlements (inherited)
Forest on the top of tancitaro	GLCM Mean (quick 8/11) layer 1 (all dir.) <= 187 GLCM Mean (quick 8/11) layer 1 (all dir.) >= 13.5 GLCM Mean (quick 8/11) layer 3 (all dir.) >= 165 GLCM Mean (quick 8/11) layer 4 (all dir.) <= 190 Mean layer 4 <= 187 Not dense forest Not sparse forest Not tropical dry forest
Sparse vegetation	Mean layer 4 >= 60 Not forest type 3 Not dense forest Not sparse forest
Fields with crops	Mean layer 3 <= 105 Mean layer 4 >= 127 Mean layer 5 <= 233 Mean layer 5 >= 101
Wet fields without crops	GLCM Ang. 2 nd moment (quick 8/11) layer 3 (all dir.) >= 0.004 GLCM Mean (quick 8/11) layer 1 (all dir.) <= 197.5 Mean layer 1 < 145 Mean layer 3 <= 77.5 Mean layer 4 <= 160 Mean layer 5 >= 130
Dry fields without crops	Brightness >= 206 GLCM Mean (quick 8/11) layer 1 (all dir.) >= 197
Lava flow	Brightness <= 70 Mean layer 10 >= 43 Mean layer 2 <= 3.5 Ratio layer 1 <= 0.041 Not vegetation (inherited)
Tropical dry forest	Max. diff. <= 1.95 Mean layer 3 >= 91 Mean layer 5 >= 122 Not dry fields without crops
Grassland	Mean layer 10 >= 200 Mean layer 7 >= 219 Mean layer 9 >= 181 Not dry fields without crops
Shadow	Mean layer 10 <= 43 Mean layer 4 <= 49
Human settlements	GLCM Mean (quick 8/11) (all dir.) <= 173.5 Mean layer 10 <= 233 Mean layer 10 >= 171 Mean layer 3 <= 100 Mean layer 9 <= 182

Table 2. Rules used for classification in eCognition.

Työssä kuva-analyysiä käytetään mikroreikien tunnistamisessa ja lukumäärän määrittämisessä. Näytekuvat muutetaan digitaaliseen muotoon skannerin avulla ja itse kuva-analyysi suoritetaan ImageJ-tietokoneohjelman avulla. Edellä mainittujen tutkimusten tavoin menetelmän pääperiaate on rajata haluttu tutkimusalue, käsitellä kuva muuttamalla sen visuaalisia parametrejä ja lisäksi laskea mahdollisten mikroreikien lukumäärä. Ohjelma pystyy muuttamaan kuvan kontrastia, jolloin värjäysaineen tummentamat alueet saadaan paremmin näkyviin. Nämä tummat alueet, joiden oletetaan olevan potentiaalisia mikroreikiä, lukumäärä lasketaan ja etsitään korrelaatiota muihin näytteisiin. Ohjelma ei kykene tunnistamaan onko tutkitulla näytteellä mikroreikiä vai pelkästään värjäysaineen tummentavia alueita, vaan näiden välinen yhteys on tunnistettava itse työn yhteydessä. Tämä tapahtuu irrottamalla päällyste pohjamateriaalista ja havainnoimalla paperin pintaa: jos väriaine on tunkeutunut paperiin asti, voidaan sen olettaa tapahtuneen päällysteessä olevan mikroreikien takia.

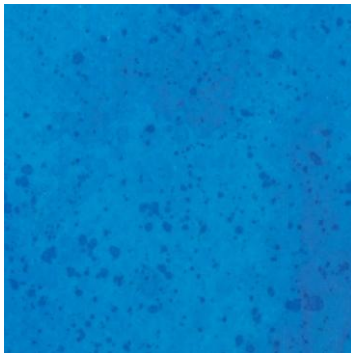
3.3 Työvaiheet

Kuva-analyysi on menetelmä, jossa tutkimalla kuvaa ja jakamalla se erilaisiin komponentteihin saadaan kerättyä haluttua tietoa. Kuva-analyysissä voidaan kerätä tietoa esimerkiksi kuvan koosta, kuvassa olevien kohteiden lukumäärästä, muodosta, väristä ja esiintymistiheydestä. Menetelmää voidaan käyttää kvalitatiivisesti ja kvantitatiivisesti, riippuen siitä millaista tietoa kuva-analyysillä halutaan kerätä. Kuva-analyysi sisältää useita eri vaiheita, ja ne voidaan jakaa esimerkiksi seuraavalla tavalla:

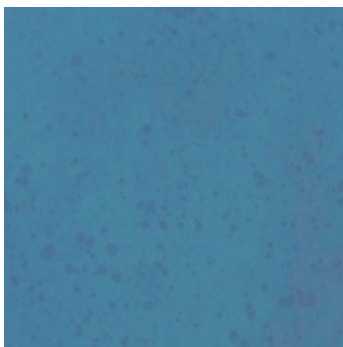
1. Esikäsittely – näytteiden määrittäminen, karsimalla kuvasta epäolennaiset elementit hävittämättä tietoa jota pyritään keräämään.
2. Havainnointi - paikantamalla rakenteet ja kuviot, joita etsitään.
3. Segmentointi - määrittämällä haluttujen kohteiden tarkka koko ja lukumäärä.
4. Vertailu - tutkimalla ovatko tulokset yhteneviä ja johdonmukaisia muiden vastaavien näytteiden kanssa.
5. Johtopäätökset ja tulkinta - kirjaamalla ylös saatu tieto ja tulosten arviointi haluttuun päämäärään. (Ryan 2013, 157-158).

Paperiteollisuuden tapauksessa työvaiheet jakautuvat seuraavalla tavalla: esikäsitelyssä määritetään näytteiden määrä ja koko, oli kyse sitten paperimassasta tai valmiista tuotteesta. Havainnointi sisältää esimerkiksi kuitujen koon määrittäminen. Segmentointivaiheessa voidaan tutkia kuitujen pituutta ja lukumäärää tietyllä pinta-alalla, josta edelleen voidaan tehdä johtopäätöksiä massan tai paperituotteen laadun suhteen. Vertailuvaiheessa tarkkaillaan, onko annetut tulokset yhtäläisiä muiden vastaavien paperinäytteiden kanssa.

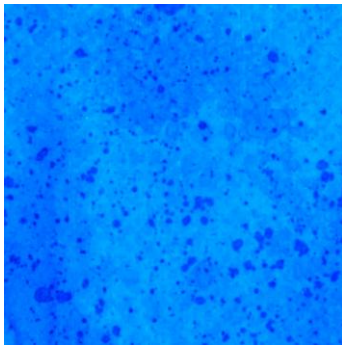
Kuva-analyysimenetelmiä varten on kehitetty kuvankäsittelyohjelmia, joilla voidaan säätää kuvan parametrejä. Kontrasti on yksi tärkeimmistä parametreista kuvankäsittelyssä, jolla tarkoitetaan valon ja värien voimakkuuksien vaihtelua. Joissain tapauksissa tätä vaihteluvoimakkuutta säätämällä voidaan peittää epäolennaiset objektit kuvasta ja korostaa niitä, joista halutaan kerätä tietoa. Alla olevassa kuvasarjassa (Kuvat 2-4) on havainnollistettu kontrastin muuttamisen vaikutukset tummien alueiden näkyvyyteen:



KUVA 2, Näytekuva, alkuperäinen (Kuva: Jukka Taipale 2018)



KUVA 3. Näytekuva. pienennetty kontrasti (Kuva: Jukka Taipale 2018)



KUVA 4. Näytekuva, vahvistettu kontrasti (Kuva: Jukka Taipale 2018)

3.4 Tarkastelukohteet

Tutkittaessa digitaalista kuvaa tarkastellaan kolme pääelementtiä: resoluutiota, pikselitiheyttä ja väriä. Resoluutiolla tarkoitetaan pikselien lukumäärää tutkittavalla kuvalla ja ilmaistaan muodossa pikselien määrä vaakatasossa x pikselien määrä pystysuunnassa, esimerkiksi 1024 x 768. Resoluutio voidaan myös vaihtoehtoisesti ilmaista muodossa *dpi* (Dots per inch) tai *ppi* (pixels per inch), joista jälkimmäinen on yleisin tapa ilmaista digitaalisen kuvan pikselitarkkuus. Resoluutio ei kuitenkaan täysin korreloi kuvalaadun kanssa, sillä tähän vaikuttaa kuvauslaitteen optiset ominaisuudet, kuten objektiivin tarkkuus. (Mendoza 2015, 13.)

Pikseli- eli värisyvyydellä tarkoitetaan kuvan tarkkuutta esittää värisävyjä. Yksittäisessä pikselissä voi olla vain yksi väri, joka määräytyy tietokoneen binääriluvun perusteella. Esimerkiksi yksibittisessä kuvassa pikselille voidaan antaa vain toinen kahdesta arvosta, 1 tai 0 (valkoinen tai musta). 8-bittisessä kuvassa yhdellä pikselillä voi olla yksi väri 256:sta (2^8) ja 24-bittisessä voi olla yksi 16,8 miljoonasta väristä (2^{24}). Mitä suurempi värisyvyys kuvalla on, sen tarkemmin kuvalla voidaan ilmaista värin eri sävyjä. (Mendoza 2015, 13.)

Väri voidaan digitaalisessa kuvassa määrittää usealla tavalla. Yksi yleisimmistä on RGB-järjestelmä, joka pohjautuu kolmen päävärin, punaisen, vihreän ja sinisen, arvojen muuttamiseen. Yksittäisen värikanavan arvo on välillä 0-255 ja näiden kanavien arvoja muuttamalla voidaan määrittää haluttu väri. Toinen lähes yhtä yleinen tapa on CMYK-

järjestelmä, joka koostuu neljästä värikanavasta: syaanista (C), magentasta (M), keltaisesta (Y) ja mustasta (K). CMYK-järjestelmää käytetään pääasiassa kuvatulostusten yhteydessä. (Mendoza 2015, 16.)

3.5 Soveltuvuus ja rajoitukset

Graminskin tutkimus osoittautui erityisen toimivaksi, koska sillä voitiin helposti määrittää myös päällekkäin olevien kuitujen pituus, joka tyypillisesti on vaikea määrittää muulla tavoin. On kuitenkin huomioitava, että tutkimus on tehty vuosikymmeniä sitten, jonka aikana teknologia on kehittynyt huomattavasti, erityisesti optisten tutkimuslaitteiden tapauksessa.

Cioran ja Simionin tutkimuksessa kuva-analyysi osoittautui toimivaksi menetelmäksi. Koko otannasta pystyttiin muodostamaan 58 mallikuvaa, jotka olivat tähän tarkoitukseen riittäviä, ja joilla asiakkaiden mieltymyksiä kyettiin hahmottamaan (Ciora 2014). Vaikka tutkimuksessa käytettiin samanlaista menetelmää kuin mikroreikien etsimisessä, kuitenkin tutkimuksessa esitetty lukumäärä ei olisi riittävä mikroreikien tapauksessa. Paperilaadun tarkastelussa ollaan usein tekemisissä hyvin suuren tuotevolyymien kanssa, jotta tulokset olisivat luotettavia. Lisäksi tutkimuksessa oli kyse ihmisten esteettistä mieltymyksistä, joka on käsitteenä subjektiivinen, toisin kuin paperilaadun valvonnassa, jossa mikroreiat muodostavat suuria käytännön ongelmia heikentämällä päällystetyn paperituotteen laatua.

Lemken tutkimuksessa (Lemke 2003.) kuva-analyysiä hyödynnettiin aivojen kerroskuvauksessa, jossa 120 kappaleen kuvalla pystyttiin luomaan luotettava ja tarkka kuvaus potilaiden aivojen rakenteesta. Vaikka tässä tutkimuksessa etsittiin mikroreikätyön tavoin yksittäisiä, poikkeavia rakenteita, menetelmässä käytettiin perinteisen digitaalisen kuvauksen sijasta tietokonetomografiaa, jossa kaksiulotteisten kuvien pohjalta luotiin kolmiulotteinen rakennekuva. Tällaista kuvausmenetelmää voitaisiin käyttää myös paperin rakennetta tutkiessa, jolla olisi myös mahdollista tutkia mahdollisten mikroreikien esiintyvyyttä. (Kirillin 2007).

Kuva-analyysin yksi keskeisimmistä rajoituksista on kuvausmenetelmään ja kuvanlaatuun liittyvät tekijät. Ensiksi pitäisi määrittää, onko tarkasteltavien pintojen ja

materiaalien kuvaaminen mahdollista digitaalikuvauksen avulla. Kuvanlaadussa tulee huomioida kuvan resoluutio, pikselisyvyys ja värien laatu, jotta haluttua tietoa voitaisiin kuvasta tarkastella. Esimerkiksi resoluution tulisi olla riittävä suuri, että kuva-analyysissä käytettävä ohjelma voisi analysoida kuvaa mahdollisimman tarkasti. Myös värien esiintyvyys voi tarkastelutilanteesta riippuen olla joko etuna tai haittana.

4 KONTAKTIKULMA

Kontaktikulmalla tarkoitetaan kulmaa, joka syntyy nestepisaran tai ilmakuplan sekä kiinteän pinnan välille (Krüss Optronics, 2018). Kulman avulla voidaan määrittää, kuinka hyvä kostutus kyseisellä pinnalla on ja kuinka vahvassa kontaktissa pisara tai kupla on sen kanssa. Kontaktikulman avulla voidaan myös tutkia kiinteän materiaalin ominaisuuksia ja sen vuorovaikutustaipumuksia nesteen kanssa. (Mittal 2009, 3-4.)

Kun kontaktikulman mittauksessa käytetään pohjamateriaalina paperia, on syytä huomioida sen tapa vuorovaikuttaa nesteiden kanssa. Huokoisuus, karheus ja kuituorientaatio vaikuttavat nesteen kykyyn imeytyä paperiin. Nämä ominaisuudet asettavat omat rajoitteensa mittaukselle, sillä liian suuri pisarakoko tai altistusaika voi kostuttaa paperia liikaa, joka johtaa virheelliseen tulokseen. Myös työtilan kosteuteen on syytä kiinnittää huomiota, sillä kuiva huoneilma muodostaa paperin pinnalle staattisen varauksen, joka osaltaan häiritsee mittauksia. (Mittal 2009, 34.)

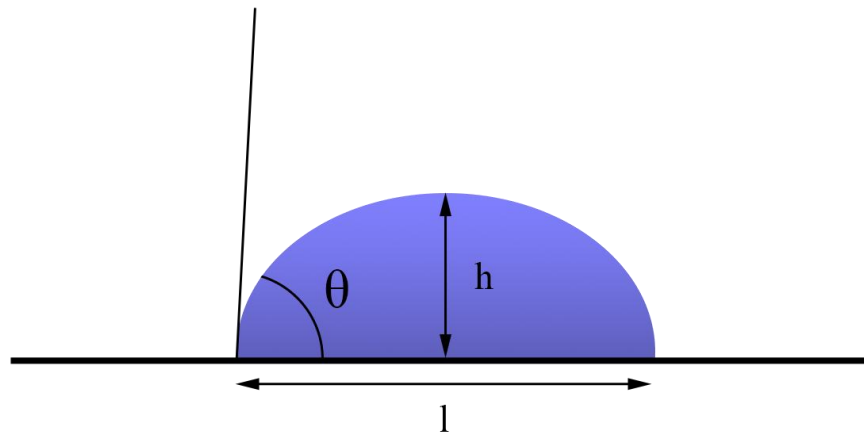
Yleisimpänä menetelmänä käytetään pisaramenetelmää, mutta mittaus voidaan tehdä myös vangitun kuplan ja Wilhelmyn levy menetelmällä. Pisaramenetelmässä yksittäinen pisara pudotetaan kiinteälle pinnalle ruiskun avulla. Pisanan on oltava pieni, jotta painovoiman vaikutus pisanan muotoon voidaan minimoida. Samalla on myös pyrittävä yhtä suuriin pisaroihin useita näytteitä otettaessa, sillä pisanan koko vaikuttaa myös kontaktikulman määrään. Pohjamateriaalin rakenne tulisi olla lisäksi mahdollisimman homogeeninen, jottei mahdolliset epätasaisuudet pinnassa aiheuttaisi pisanan rakenteen muuttumista kesken mittauksen. Annosteluvaiheessa on syytä kiinnittää huomiota työskentelytason vakauteen, jotta tuloksiin ei syntyisi virhettä kiinteän pinnan liikkumisen takia. (Hubbard 2002, 1230-1232.)

Vangitun kuplan menetelmässä kontaktikulma mitataan nesteeseen kokonaan upotetun kiinteän levyn ja ilmakuplan välisestä rajapinnasta. Ilma tuodaan ruiskulla nesteeseen kiinteän pinnan alapuolelta niin, että neste painaa kuplan kiinteän kappaleen alapintaa vasten. Menetelmän etuna on välttää kontaminaatio, joka saattaa syntyä kiinteän ja kaasurajapinnan välisestä kontaktista.

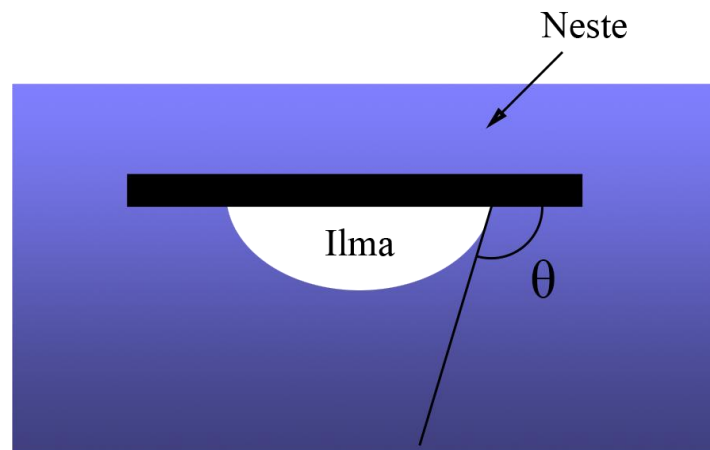
Wilhelmyn levy menetelmä perustuu kapillaarinousun aiheuttamaan veden pinnan taipumiseen, kun levy lasketaan osittain vedenpinnan alapuolelle. Kontaktikulma mitataan levyn ja sitä vasten taipuneen vedenpinnan kohdalta. (Hubbard 2002, 1230.)

Kuviossa 3 on havainnollistettu kontaktikulmamittauksessa käytettävien pisara-, vangitun kuplan ja Wilhelmyn levy menetelmän periaate. Suure θ on kontaktikulma, d on nestepinnan korkeus, h on pisaran korkeus pinnasta sekä l pisaran leveys.

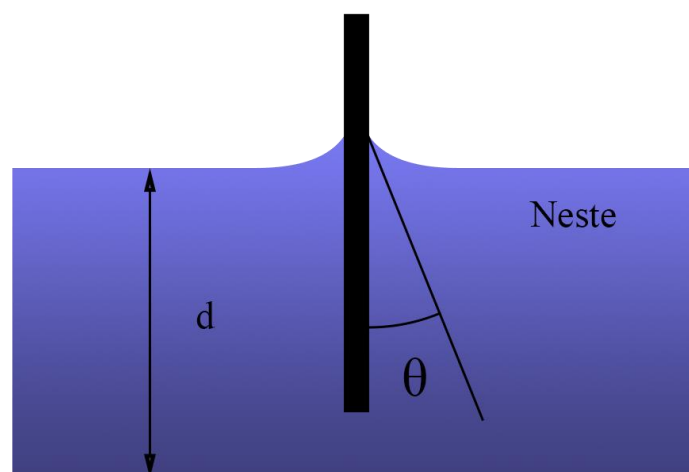
a) pisaramenetelmä



b) vangitun kuplan menetelmä



c) Wilhelmyn levy menetelmä



KUVIO 3. Kolmen eri mittaustavan periaate (Kuusipalo 2008, 25, muokattu)

5 PINTAENERGIA

Pintaenergialla tarkoitetaan energiaa rajapinnassa, joka syntyy nesteen tai kaasun ja kiinteän aineen välille. Van der Waalsin voiman vaikutuksesta, kun varauksiltaan erilaiset molekyyli-rakenteet vetävät toisiaan puoleensa. Molekyylien epäsymmetristen rakenteiden takia niiden sähkövaraus ei ole kaikkialla sama, vaan syntyy lyhytaikaisia varauskeskittymiä. Molekyylin kohdatessa toisen, jonka varaus on päinvastainen, syntyy kahden kappaleen välille vetovoima. Vaikka kyseessä on yksi heikoimmista molekyylien välisistä vetovoimista, se on välttämätön tekijä kahden faasin välisen adheesion syntymisessä. Pintaenergia on myös vahvasti sidoksissa kostutukseen, sillä kostutus perustuu kahden faasiin väliseen pintaenergiaeroon. Pintaenergia syntyy aineessa molekyylien väliset energiat eivät ole identtisiä, sillä aineen pinnassa olevilla molekyyleillä on enemmän energiaa kuin sen sisällä olevilla. Tämä jakautuminen saa aikaan esimerkiksi veden pintajännityksen, jossa suurenergisemmät molekyylit muodostavat kalvomaisen rakenteen nestepisaran ympärille. Näin ollen veden pintajännitys on sama kuin sen pintaenergia. (Mark 2007, 1011-1012.)

Työssä pintaenergia on huomattavassa roolissa, sillä yksi tutkimuksen kohteista on etsiä vaikutussuhteita nesteen pintaenergian ja pohjamateriaalin välillä. Esimerkiksi nesteellä voi olla liian heikko pintaenergia tietyllä pohjamateriaalilla, jolloin se ei pysy kuplamaisessa rakenteessa ja levittyy hallitsemattomasti. Tämä aiheuttaa virhearvoja tutkimuksessa ja vaikeuttaa mikromeikien tunnistamista.

6 HAJONTALUVUT JA KESKIHAJONTA

Hajontaluvuilla pyritään kuvaamaan muuttujasta tehdyn mittausten vaihteluväliä. Mitä vähemmän hajontaa esiintyy, sen lähempänä mittaustulokset ovat toisiaan tai keskimääräistä arvoa. Hajonnan laajuutta voidaan mitata vaihteluvälillä ja sen pituudella. Vaihteluväli ilmaisee suurimman ja pienimmän mittausravon ja vaihteluvälin pituus on näiden tulosten erotus. Vaihteluvälin pituus on esitetty kaavassa 1.

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (1), \text{ jossa}$$

$$x_{\max} = \text{suurin arvo}$$

$$x_{\min} = \text{pienin arvo}$$

Keskihajonta eli standardipoikkeama on eniten käytetty hajonnan mittaamenetelmä ja toimii lähtökohtana useimmille tilastomenetelmille. Se ilmaisee arvojen hajanaisuuden keskiarvon ympärillä. (Heikkilä 1998, 86.) Mittauksesta saatujen arvojen keskihajonta lasketaan kaavalla 2.

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

Kaavasta ilmenee hajonnan laajuuden merkitys: mitä enemmän arvot ovat joukossa hajallaan, sitä suurempi on keskihajonta. Samalla tavoin arvot, jotka ovat pääsääntöisesti sijoittuneet lähelle keskiarvoa, merkitsee pienempää keskihajontaa. (Karjalainen 2004, 84.)

Työssä keskihajontaa käytetään mittaamaan saatujen tulosten vaihteluväliä. Monet työvaiheet suoritetaan käsin, jolloin inhimillisten erehdysten todennäköisyys on suurempi, kuin vastaavien työvaiheiden tekeminen koneiden avulla. Esimerkiksi tilavuusmäärässä voi olla millilitrojen vaihtelua, kun värjäysnestettä annostellaan koemateriaalin päälle. Tämä edelleen vaikuttaa siihen, kuinka pian mikroreiät tulevat pinnassa näkyviin, jolla vuorostaan on vaikutusta myöhemmin tehtävän kuva-analyysin tuloksiin. Kontaktikulmamittauksissa taas käytetään konetta, joka annostelee aina täsmällisen määrän värjäysnestettä, mutta koemateriaalin pinnan epäsäännöllisyys aiheuttaa vaihtelua tuloksissa, joka edelleen kasvattaa keskihajontaa.

7 PÄÄLLYSTYSMENETELMÄT

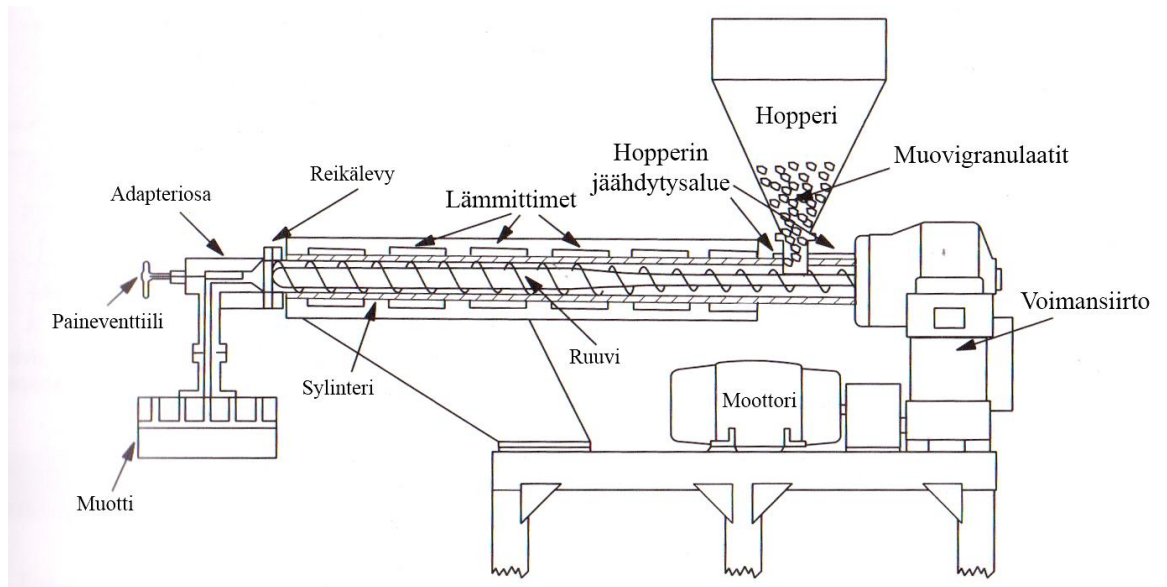
Paperin päällystämiseen on useita eri menetelmiä, mutta dispersio- ja ekstruusiopäällystys ovat näistä yleisimpiä. Menetelmät poikkeavat toimintaperiaatteeltaan toisistaan, mutta niillä on hyvin samankaltaisia sovelluksia.

7.1 Dispersiopäällystys

Dispersiopäällystys on menetelmä, jossa paperin päällystämiseen käytetään dispersioseosta, esimerkiksi lateksia. Dispersio on kahden aineen seos, jotka eivät ole sekoittuneena toisiinsa, mutta muodostavat yhtenäisen substanssin. Dispersiopäällystyksessä usein käytetyt lateksin tapauksessa on kyse veden ja polymeeripartikkeleiden muodostamasta seoksesta. Barrier-ominaisuuksien saavuttamiseksi dispersiopäällystyksessä paperin päälle muodostetaan muovifilmi. Kuivattaessa filmiä vesi haihtuu pois dispersioseoksesta, muodostaen yhtenäisen ja tiiviin polymeerirakenteen paperin päälle. (Brander 1997, 208-210.)

7.2 Ekstruusiopäällystys

Ekstruusiopäällystyksellä tarkoitetaan menetelmää, jossa korkean molekyylipainon omaavasta muovisulasta muodostetaan kalvo nopeasti liikkuvalla verkolle. Ekstruusiopäällystyskonetta kutsutaan ekstruuderiksi. Menetelmässä käytetään erityistä ruuvia, jossa sula muovi kulkee muottiin muovautuen siellä kalvomaiseksi rakenteeksi, filmiksi. Muovigranulaatit syötetään hopperiin, josta ne kulkeutuvat ruuviin. Granulaattien syöttäminen tulisi tapahtua mahdollisimman tasaisesti, jotta muovisulasta tulisi laadultaan mahdollisimman tasaista. Vääränlainen nopeus voi esimerkiksi aiheuttaa muovisulan geelitymistä, joka heikentää muovin laatua. Ruuvi lämmitetään, jolloin granulaatit sulavat yhtenäiseksi massaksi, joka kulkeutuu ruuvissa eteenpäin muotille. Muotilta sula puristetaan verkolle tasaiseksi kalvoksi. (Rosato 1998, 208-211.) Kuviossa 4 on havainnollistettu ekstruuderin rakenne.



KUVIO 4. Ekstruuderin rakenne (Kuusipalo 2008, 109, muokattu)

8 TUTKIMUKSET

Tutkimuksessa käytettiin näytteitä, jotka sisälsivät kolme PE-LD -päällystettyä ja kolme styreeni-akrylaattipäällystettyä tyyppiä. Tutkittavaksi pinnaksi leikattiin noin 8x8 cm:n kokoinen näytepala. Mikroreikien havaitsemiseksi käytettiin kolmea eri värjäysainetta: vesi-, etanoli- ja tärpättipohjainen liuos.

Vesiliuos valmistettiin standardin mukaisesti (ASTM F 3039-15). Tässä standardissa liuos koostui 96,95 % tislattusta vedestä, 3 % kostutusaineesta (Triton X-100) sekä 0,05 % värjäysaineesta (toluidiinisini). Liuoksen valmistusvaiheessa tuli huomioida heti aluksi kostutusaineen korkea viskositeetti: Koska liuoksen tuli olla mahdollisimman homogeeninen, lisättiin astiaan ensimmäisenä tislattua vettä noin 10% sen kokonaismäärästä ja tämän jälkeen kostutusaine. Kun kostutusaine oli liuennut, lisättiin loput vedestä sekä värjäysaine. Liukenemisprosessia voitiin tehostaa lämmittämällä liuosta hieman (noin +40°C). Kun liuos oli valmis, annettiin sen jäähtyä ennen käyttöönottoa.

Etanoliliuos valmistettiin oman standardinsa mukaisesti (SFS-EN 13676). Liuos sisälsi 100 millilitraa 96% etanolia ja 0,5 grammaa E131 -värjäysainetta (patenttisininen). Ainekset sekoitettiin keskenään ja annettiin asettua yön yli ennen pullottamista.

Tärpättiliuos valmistettiin menetelmällä, jossa oli 100 grammaa kidevedetöntä kalsiumkloridia, joka kaadettiin mittapulloon. Tämän jälkeen punnittiin 20 grammaa värjäysainetta (Sudanin puna) ja 2000 millilitraa pineettitärpättiä, jotka lisättiin liukseen. Pullo suljettiin ja ravisteltiin huolellisesti. Tämän jälkeen liuoksen annettiin seistä noin 6 tuntia, silloin tällöin sekoittaen, jolloin se suodatettiin imusuodatuksen avulla ja kaadettiin pulloon.

Taulukossa 2 on listattu työssä käytetyt päällystetyypit, värjäysnesteet ja altistusajat. Kunkin näytteen kohdalla koe suoritettiin 10 kertaa, jotta tulosten luotettavuutta voitiin parantaa.

TAULUKKO 2. Tutkimuksessa käytetyt näytteet

	Vesi			Etanoli			Tärpätti		
1.1	10s	30s	60s	10s	30s	60s	10s	30s	60s
2.1	10s	30s	60s	10s	30s	60s	10s	30s	60s
3.1	10s	30s	60s	10s	30s	60s	10s	30s	60s
PE1	10s	30s	60s	10s	30s	60s	10s	30s	60s
PE2	10s	30s	60s	10s	30s	60s	10s	30s	60s
PE3	10s	30s	60s	10s	30s	60s	10s	30s	60s

8.1 COBB-testi

Mikroreikien tunnistamiseksi työssä käytettiin COBB-testiä, jonka avulla voidaan mitata paperin vesiabsorptiota. Vaikka tavallisesti testissä käytetään vettä, mikroreikien havaitsemiseksi vesi korvattiin kolmella eri värjäysnesteellä. Kutakin nestettä käytettiin vuoroin jokaiselle näytteelle taulukon 2 mukaisesti. Menetelmässä paperi asetetaan kahden muotin väliin ja ruuvataan kiinni paikalleen. Tämän jälkeen neste kaadetaan paperin päälle niin, että sen pinta peittyy kokonaan. Vesimäärä tulee annostella niin että paperin pintarakenne ei rikkoudu ja pitoaika voidaan myös vaihdella paperin laadusta ja nesteestä riippuen. (ISO 535:1991.) Kuvassa 5 on havainnollistettu COBB-testissä käytettävä muotti ja tapa, jolla näyte kiinnitetään siihen.

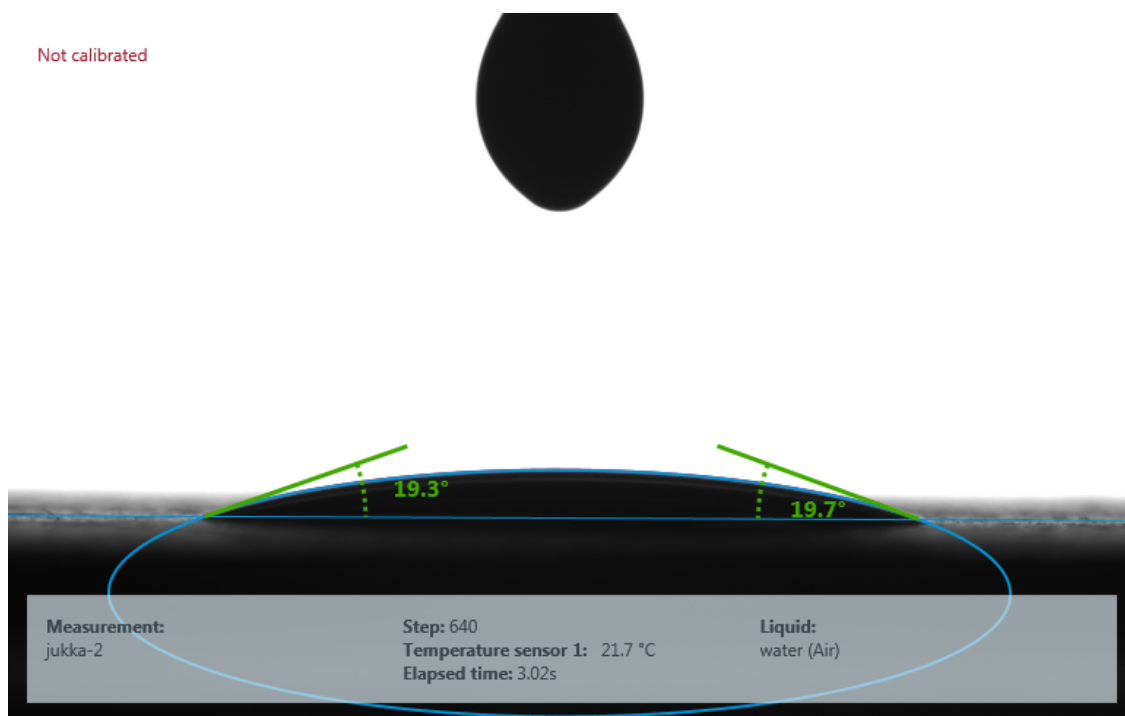


KUVA 5. COBB-testissä käytettävä muotti ja näyte (Kuva: Smithers Group 2018)

8.2 Kontaktikulmamittaus

Kontaktikulmien ja pintaenergian mittaamiseksi käytettiin optista tensiometriä. Mittausten alussa jokaisesta näytteestä leikattiin noin 2x8cm suikale, jotka kiinnitettiin lasialustaan. Laitteessa oli liikkuva satula, jonka päälle näyte asetettiin. Satulan yläpuolella oli ruisku, jonka parametrejä säätämällä voitiin määrittää, kuinka paljon ruiskutettavaa nestettä annosteltiin. Nesteenä käytettiin vuorotellen kutakin kolmea värjäysnestettä eri näytetyypeille. Satulan vieressä oli kamera, joka välitti videokuvaa tietokoneelle näytteenotosta ja jonka avulla kontaktikulmat lopulta määritettiin.

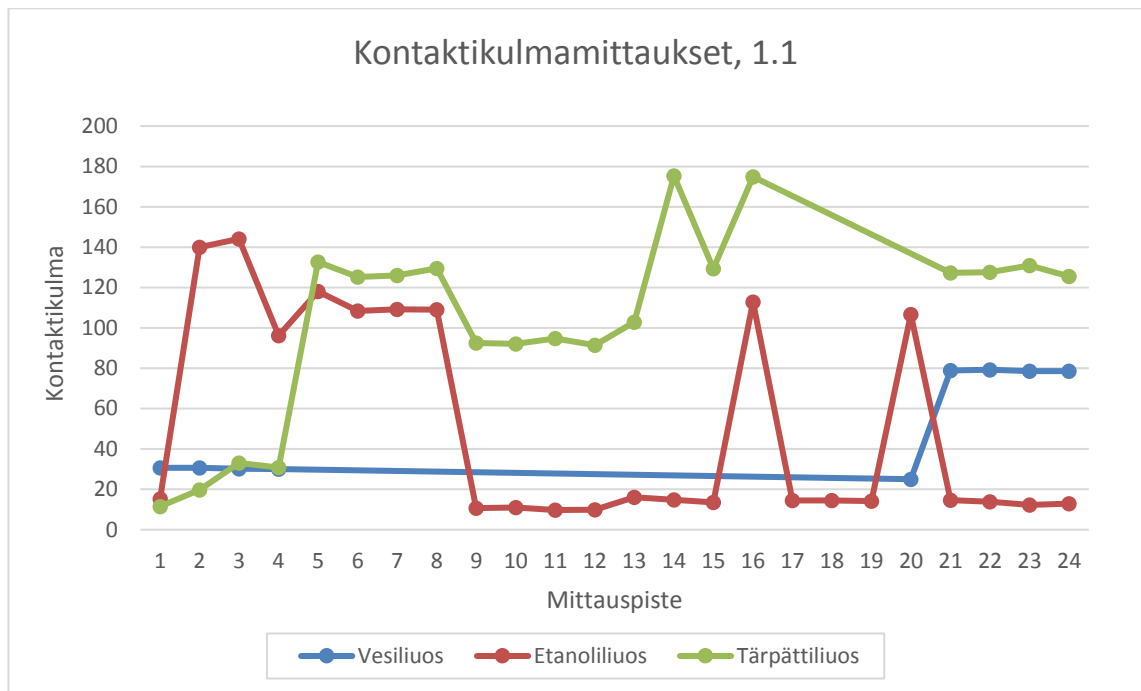
Yksittäinen mittaus tapahtui niin, että ruisku asetettiin pudottamaan yksi pisara näytteen päälle ja annettiin pisaran asettua, tietokoneohjelman laskiessa kontaktikulman. Tämän jälkeen satula siirsi näytettä eteenpäin ja ruisku annosteli seuraavan pisaran edellisen pisaran viereen. Tämä prosessi jatkui, kunnes näytteelle oli annosteltu 6 pisaraa ja näyte vaihdettiin seuraavaan. Kuvassa 6 on havainnollistettu yksittäinen mittaustilanne, jossa näkyy pisaran profiili näytteen pinnalla sekä sen yläpuolella oleva ruiskun kärki.



KUVA 6. Kontaktikulmamittaus (Kuva: Jukka Taipale 2018)

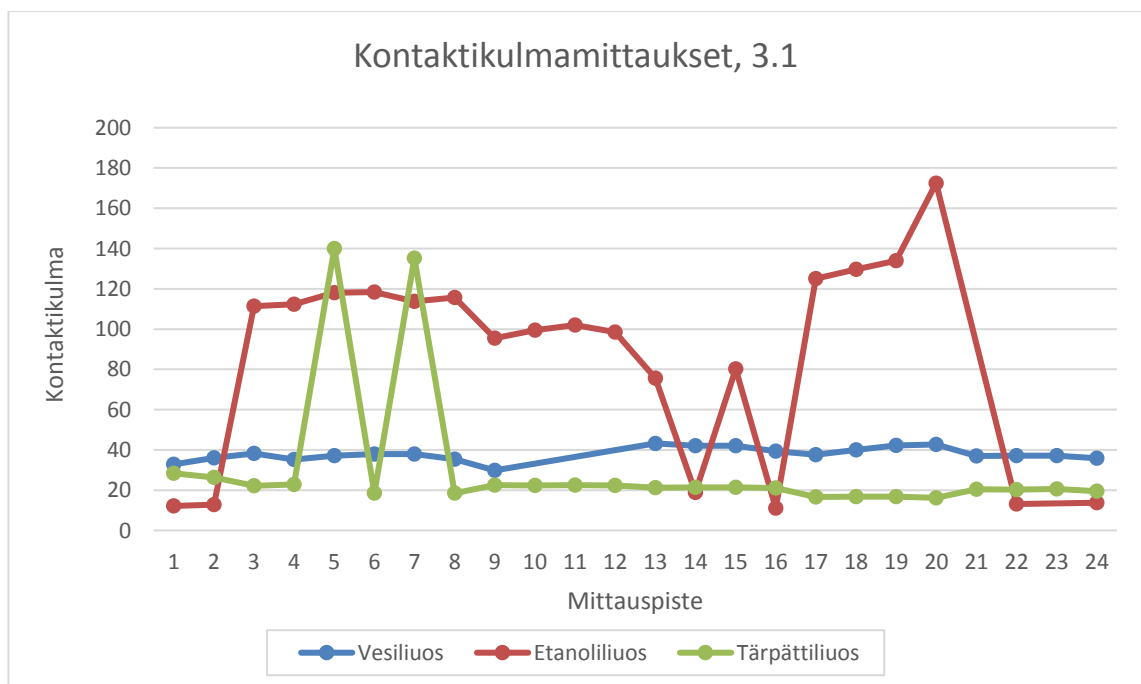
Työskentelyn aikana tuli välttää näytepintaan koskemista, sillä ihon epäpuhtaudet ja rasva saattoivat väärentää mittaustuloksia. Lisäksi näytesuikaleen tuli olla mahdollisimman suorassa, jottei pisaran muoto rikkoutunut koskiessaan näytteen pinnalle. Parametreja muuttaessa tuli myös välttää ruiskun ja näytteen osumista toisiinsa. Tämän vuoksi ruiskulle määritettiin erikseen annostelu- ja lepotilakorkeus. Annostelukorkeuteen ruisku asetui pisaran annostelun yhteydessä ja lepotilakorkeuteen silloin, kun satula siirsi näytettä eteenpäin.

Kuvioissa 5 on esitetty ensimmäisen kontaktikulmamittauksen tulokset. Tässä mittauksessa tulokset olivat vaihtelevia ja havainnollistivat hyvin kolmen nesteen vaikutuseroja kyseisen näytemateriaalin pinnalla. Erityisesti päällystetyyppi 1.1 osoittautui vaikeasti mitattavaksi, sillä pintarakenteen vuoksi pisarat eivät pysyneet näytteellä vaan rikkoutuivat välittömästi joutuessaan kontaktiin pinnan kanssa. Tämä käy ilmi tulosten suurena heittelemisenä ja osa tuloksista jouduttiin jopa hylkäämään kokonaan.



KUVIO 5. Kontaktikulmamittaus 1.1

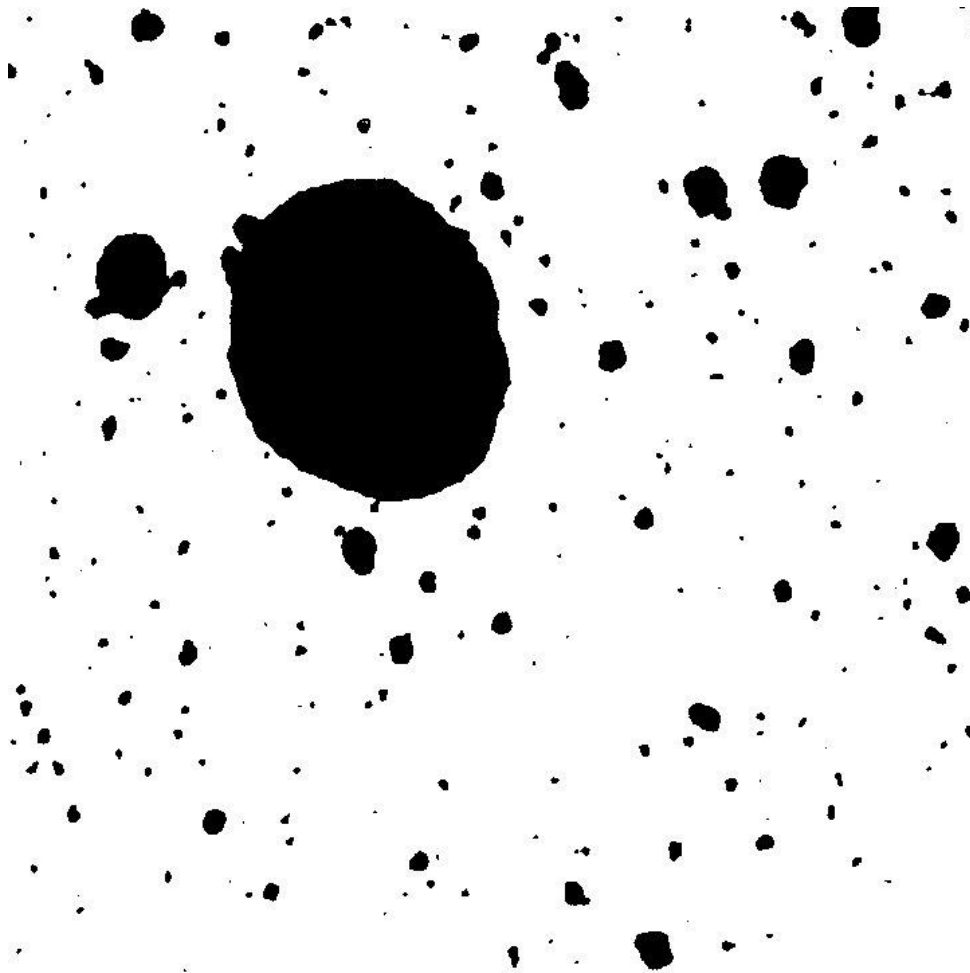
Kuviossa 6 on esitetty toinen mittaus, jossa pisaratesti toimi melko epäluotettavasti. Pintamateriaalilla 3.1 vesi- ja tärpättiliuos käyttäytyivät pääosin johdonmukaisesti, mutta etanoliliuos antoi vaihtelevia tuloksia. Tässä tapauksessa etanolipisara hajosi hyvin pian ollessaan kontaktissa pinnan kanssa. Kontaktikulmamittaukset on esitetty kokonaisuudessaan kuvioissa 7-12 (Liite 2.)



KUVIO 6. Kontaktikulmamittaus 3.1

8.3 Kuva-analyysi tietokoneohjelmalla

Näytteiden kuva-analyysi suoritettiin ImageJ-ohjelmalla. Ohjelmalla voitiin laskea nesteen värjäämien alueiden pinta-ala ja lukumäärä, mutta työn tapauksessa tutkittiin ainoastaan lukumääriä. Näytteet kuvattiin ensin skannerilla, jonka jälkeen kuva avattiin ohjelmassa. Näyte rajattiin ohjelmalla noin 3x3 senttimetrin alueelta. Kuva prosessoitiin mustavalkoiseksi ja säädettiin kontrastia, jotta värjätyt alueet saataisiin parhaiten näkyviin. Tämän jälkeen kuva analysoitiin ohjelman avulla. Kuvassa 7 on esitetty valmis mittaus, jossa on käytetty esimerkkinä etanoliliuoksen värjäämää näytettä, jonka altistusaika on ollut 30 sekuntia. Taulukossa 3 on listattu näytteissä olleiden värjäytyjen alueiden lukumäärä sataa neliösenttiä kohti, niiden keskiarvot ja keskihajonnat.

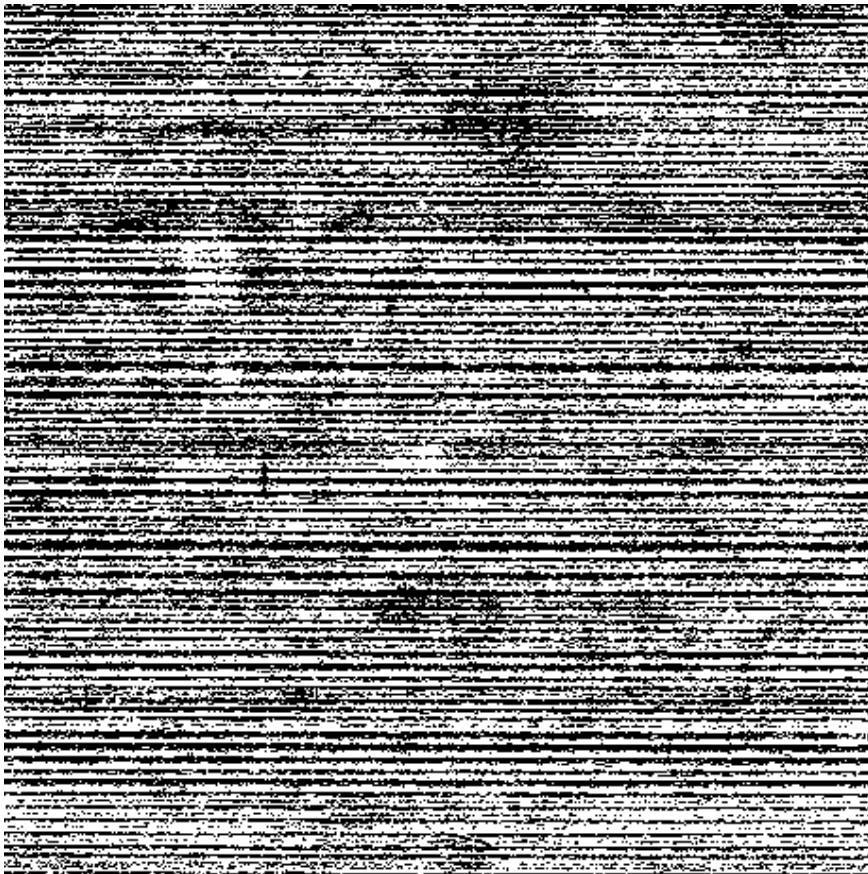


KUVA 7. Prosessoitu kuva mittauksesta, etanoliliuoksen värjäämä näyte, altistusaika 30 sekuntia (Kuva: Jukka Taipale 2018)

TAULUKKO 3. Mikroreikien lukumäärä (kpl/100cm²) kullakin näytemateriaalilla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Keskiarvo	Keskiahjontia
PE1, vesiliuos, 10 sekuntia	70	50	60	140	60	90	70	50	110	80	78,00	27,13
PE1, vesiliuos, 30 sekuntia	60	50	40	100	110	90	140	50	70	100	81,00	30,48
PE1, vesiliuos, 60 sekuntia	120	50	60	100	70	60	70	90	110	80	81,00	22,11
PE2, vesiliuos, 10 sekuntia	30	40	20	50	20	60	70	50	40	30	41,00	15,78
PE2, vesiliuos, 30 sekuntia	40	20	40	30	50	30	20	40	50	60	38,00	12,49
PE2, vesiliuos, 60 sekuntia	20	40	20	30	50	80	60	30	20	40	39,00	18,68
PE3, vesiliuos, 10 sekuntia	30	50	30	40	90	120	50	40	60	30	54,00	28,00
PE3, vesiliuos, 30 sekuntia	40	90	50	30	40	30	20	20	60	30	41,00	20,22
PE3, vesiliuos, 60 sekuntia	40	50	30	50	50	40	100	120	20	200	70,00	52,35
1.1, etanoliliuos, 10 sekuntia	5520	4960	3080	2400	4760	5300	3460	4510	2430	3520	3994,00	1102,39
1.1, etanoliliuos, 30 sekuntia	3340	5560	4320	4200	3340	5600	4520	5420	5680	3780	4576,00	885,84
1.1, etanoliliuos, 60 sekuntia	2370	2760	3210	4330	2110	5400	5470	3890	2810	3740	3609,00	1121,94
2.1, etanoliliuos, 10 sekuntia	5950	7830	12010	6990	7180	11060	12640	14110	10390	8290	9645,00	2626,12
2.1, etanoliliuos, 30 sekuntia	8390	12120	7840	6850	9970	9850	8420	13470	12540	10030	9948,00	2065,45
2.1, etanoliliuos, 60 sekuntia	6800	6440	5990	7240	6470	5110	8440	6570	5430	7460	6595,00	926,23
3.1, etanoliliuos, 10 sekuntia	10300	6570	9830	9050	8370	6470	8890	14210	9450	7830	9097,00	2090,88
3.1, etanoliliuos, 30 sekuntia	9520	11330	3610	14120	5210	6420	8640	7460	5470	10330	8211,00	3041,25
3.1, etanoliliuos, 60 sekuntia	13940	8880	9450	10780	11220	9640	8850	6100	7840	5390	9209,00	2355,85
PE1, etanoliliuos, 10 sekuntia	110	280	170	270	350	240	260	130	180	70	206,00	83,57
PE1, etanoliliuos, 30 sekuntia	100	420	270	180	320	140	210	230	300	120	229,00	95,23
PE1, etanoliliuos, 60 sekuntia	670	150	1110	2690	290	340	120	420	130	170	609,00	752,80
PE2, etanoliliuos, 10 sekuntia	120	180	40	270	150	70	240	130	180	90	147,00	69,00
PE2, etanoliliuos, 30 sekuntia	1360	210	240	310	670	1280	2100	280	170	640	726,00	615,70
PE2, etanoliliuos, 60 sekuntia	410	890	120	270	130	340	240	680	100	780	396,00	273,91
PE3, etanoliliuos, 10 sekuntia	240	580	710	120	360	280	290	120	710	350	376,00	207,81
PE3, etanoliliuos, 30 sekuntia	340	180	230	560	710	100	880	130	620	510	426,00	254,88
PE3, etanoliliuos, 60 sekuntia	500	80	610	140	420	350	110	170	280	130	279,00	174,61

Kuva-analyysin aikana tärpättiliuksen värjäämät näytteet osoittautuivat hyvin vaikeasti tulkittaviksi. Liuos paljasti COBB-testin aikana pohjamateriaalin rakenteen, joka peitti alleen suurimman osan mikromeetreiksi epäilyistä alueista. Tämä tuotti ohjelmalle suuria vaikeuksia erottaa liuksen värjäämä alue ja pohjamateriaalin uurteet toisistaan asetusten säätämisestä huolimatta. Kuva-analyysissä näiden tärpättiliusnäytteiden tutkimisessa todettiin, ettei näytteistä saatu lainkaan luotettavaa tulosta ja ne jouduttiin hylkäämään kokonaan. Kuvassa 8 on havainnollistettu yksi tärpättiliusnäytteistä kuvan prosessoinnin jälkeen.

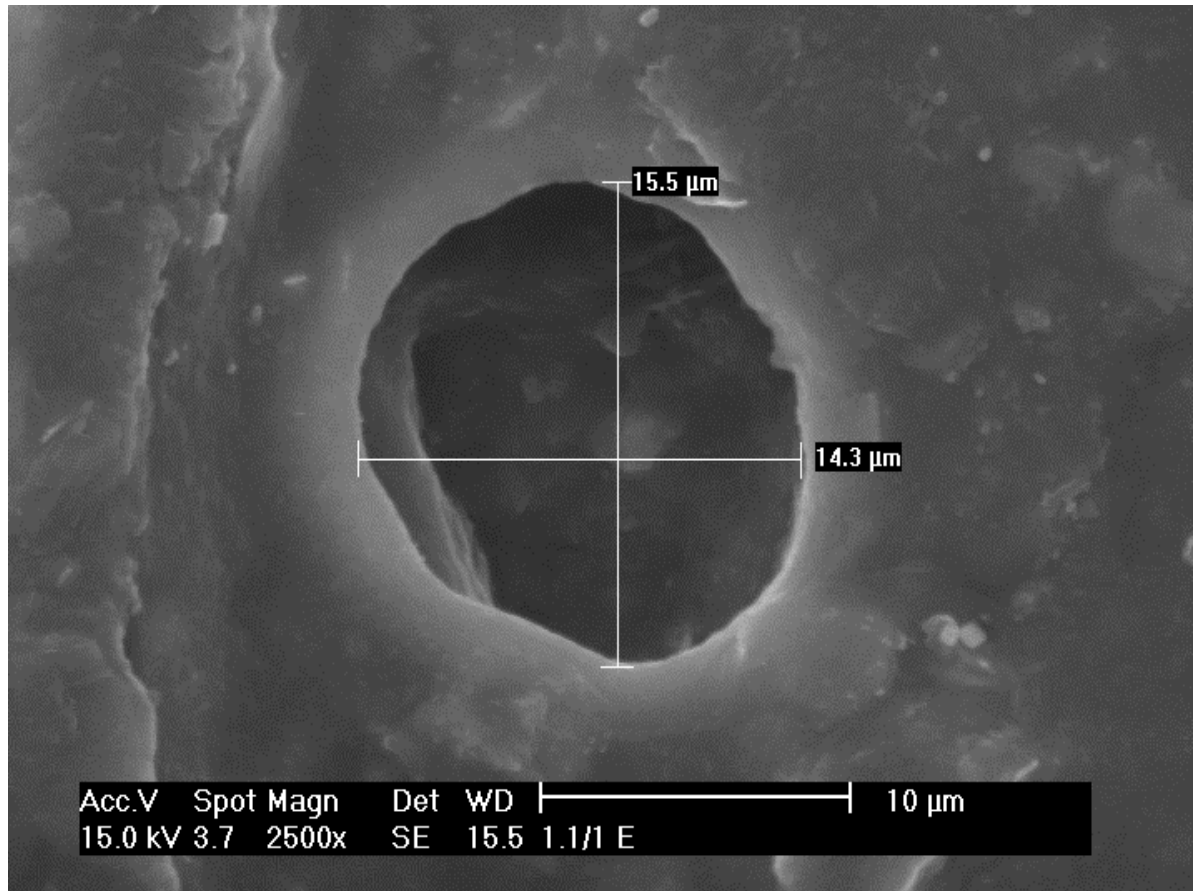


KUVA 8. Prosessoitu kuva tärpättiliuksen värjäämästä näytteestä (Kuva: Jukka Taipale 2018)

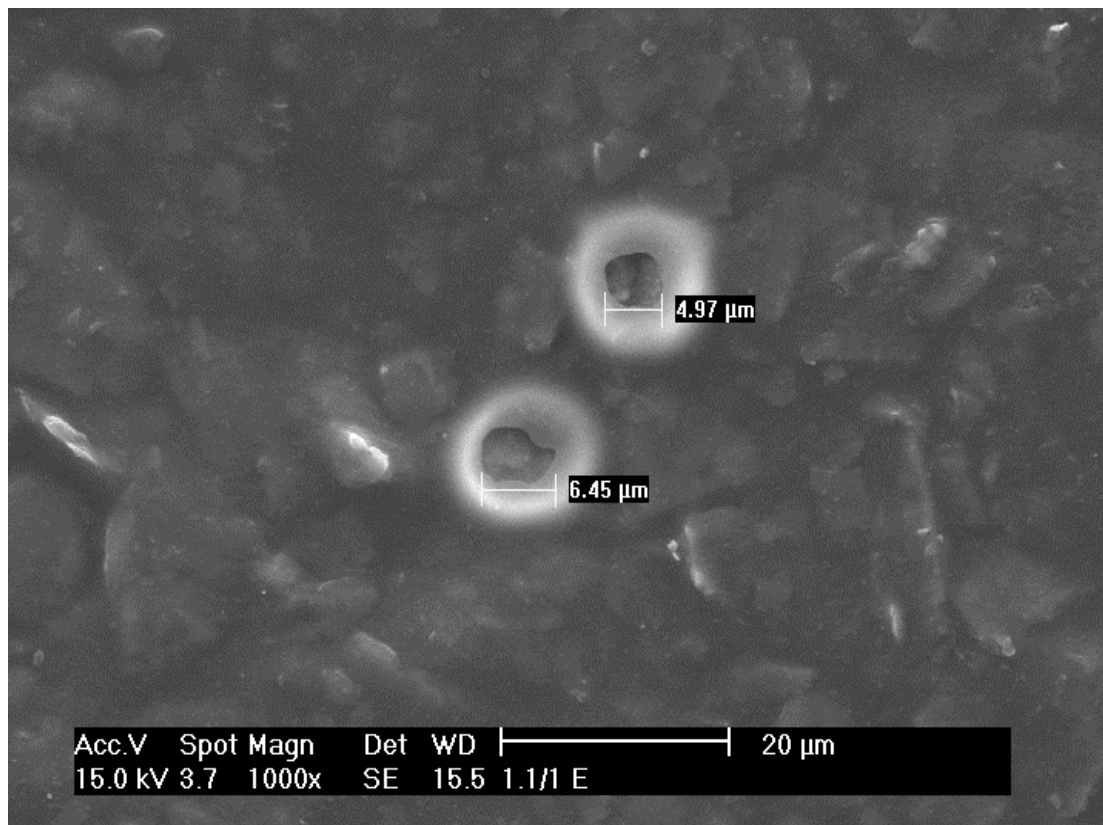
8.4 Pyyhkäisyelektronimikroskooppi

Värjätyistä näytteistä valittiin muutama kappale, jotka kuvattiin pyyhkäisyelektronimikroskoopilla eli SEM:llä. SEM perustuu näytteen pinnan ”pyyhkäisemiseen” elektroneilla, joiden heijastuminen näytteen pinnasta muodostaa lopullisen kuvan. Menetelmä on huomattavasti tarkempi valomikroskoopeihin

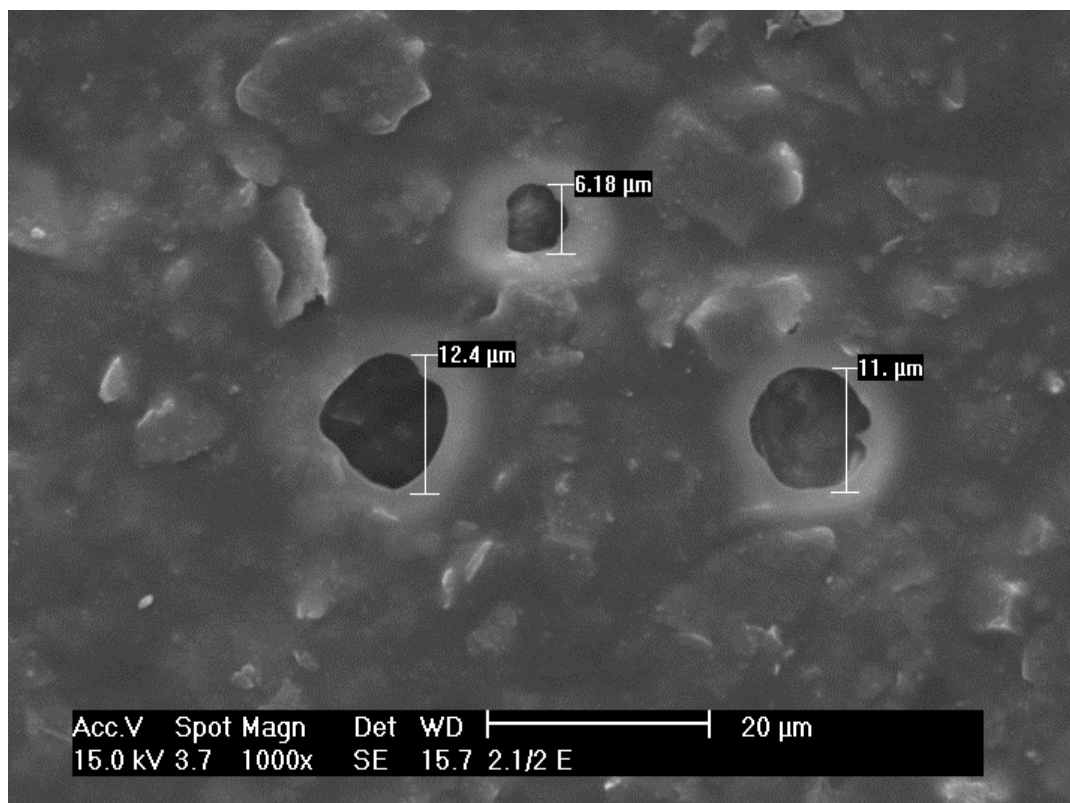
verrattuna. Kuvissa 9, 10 ja 11 on havainnollistettu SEM:llä mitattuja näytteitä, joiden todettiin sisältävän myös mikroreikiä. Kuvista voidaan myös havaita reikien keskimääräinen mittakaava.



KUVA 9. SEM-kuva etanolivärjätystä näytteestä, 2500-kertainen suurennos (Kuva: Jukka Taipale 2018)



KUVA 10. SEM-kuva etanolivärjätystä näytteestä, 1000-kertainen suurennos (Kuva: Jukka Taipale 2018)



KUVA 11. SEM-kuva etanolivärjätystä näytteestä, 2500-kertainen suurennos (Kuva: Jukka Taipale 2018)

9 POHDINTA

Mikroreiät ovat yleinen ongelma paperin päällystyksessä, joka voi syntyä käytännössä missä tahansa paperin päällystysvaiheessa. Tässä opinnäytetyössä tutkittu kuva-analyysi on menetelmä, joka vaatii runsaasti lisää tutkimusta. Kuva-analyysi soveltuu vain valikoidulle päällystystyypeille ja vaatii tuekseen juuri oikeanlaisen värjäysmenetelmän.

Ensimmäinen ja suurin työssä havaittu ongelma oli tärpättipohjaisen värjäysaineen käyttö. Riippumatta päällysteen tyypistä tai kuva-analyysiohjelman parametreista kyseinen liuos osoittautui kaikin puolin huonoimmaksi vaihtoehdoksi mikroreikien havaitsemisessa. COBB-testissä tärpättiliuos värjäsi hyvin vaihtelevasti mikroreikiä ja paljasti samalla myös paperin pohjarakenteen, joka puolestaan haittasi huomattavasti kuva-analyysin käyttöä. Koska kyseessä oli myös vahva liuotin, edellytti työskentely hyvää ilmanvaihtoa. Tästäkin huolimatta työskentelyä oli suositeltavaa tehdä vain lyhyissä erissä höyryjen aiheuttamien oireiden minimoimiseksi. Ottaen huomioon myös taloudellisen näkökulman, tärpättiliuoksen valmistus olisi kahteen muuhun liuokseen verrattuna paljon kalliimpaa.

Vesipohjaisen liuoksen kohdalla tyypilliseksi ongelmaksi muodostui liuoksen kyvyttömyys värjätä suurinta osaa oletetuista mikroreistä. Tämä oli selitettävissä veden korkealla viskositeetillä, vaikka liuos sisälsikin pintajännitystä alentavia tensidejä. Kuva-analyysissä tämä havaittiin hyvin pian, sillä mittauksissa ohjelma kykeni löytämään reikiä ainoastaan PE1-, PE2- ja PE3-näytteistä ja näistäkin vain vähän. Liuos vaati lisäksi huomattavasti pidemmän altistusajan, jotta nämä reiät tulivat näkyviin.

Parhaimmaksi vaihtoehdoksi tutkimuksissa osoittautui etanoliliuoksen käyttö. Liuos paljasti helposti mikroreikien olemassaolon lyhyenkin altistusajan sisällä eikä se värjännyt pohjamateriaalia liian voimakkaasti. Vain muutamissa näytteissä oli havaittavissa paperin päällystyksessä syntyneitä uurteita, mutta ne eivät häirinneet merkittävästi kuva-analyysin käyttöä. Etanolipohjainen liuos ei myöskään haihtunut yhtä helposti kuin tärpättipohjainen liuos, jonka ansiosta liuoksen käsittelyä saattoi tehdä pidemmän aikaa ilman höyryjen aiheuttamia oireita.

SEM:llä otettujen kuvien perusteella ei voitu tehdä selvää päätelmää siitä, olivatko kaikki värjäytyneet alueet todellisuudessa mikroreikiä. Erityisesti pienimpien, noin 10

mikrometrin mittaisten reikien kohdalla, yhtäläisyyttä oli vaikea todistaa. Tämä olisi vaatinut pintamateriaalin vieläkin tarkempaa tutkimista ja useamman näytteen kuvaamista SEM:llä, jota ei resurssien rajallisuuden vuoksi voitu toteuttaa. Kuvauksissa huomattiin kuitenkin, että suurimmat reiät, kooltaan yli 15-20 mikrometriä, olivat muodostaneet myös poikkeuksellisen laajoja pilkkuja värjäysvaiheessa. Näiden kohdalla voitiin olettaa, että päällyste oli pettänyt pohjamateriaaliin asti.

Kuva-analyysi ImageJ-ohjelmalla osoittautui pääosin toimivaksi menetelmäksi, sillä ohjelma tunnisti melko hyvin tummentuneet alueet näyttemateriaaleissa, jotka olivat potentiaalisia mikroreikiä. Tämä edellytti kuitenkin ensiksi oikeanlaisen kuvausmenetelmän käyttämistä: työssä käytetyn skannerin avulla kuvista saatiin paljon tarkempia kuin digitaalikameralla otetuilla kuvilla. Lisäksi kuvien esikäsittelyn tuli tapahtua oikealla tavalla, jotta ohjelma pystyi niitä luotettavasti analysoimaan. Kuvat tuli ensinnäkin muuttaa mustavalkoisiksi, sillä tämä tarkensi huomattavasti ohjelman kykyä tunnistaa mikroreiät. Myös kontrastin säätämisellä oli suuri merkitys lopputulosten kannalta, koska riittävän korkea kontrasti muutti tummien alueiden reunat teräviksi, joka helpotti ohjelman kykyä määrittää alueiden koko ja muoto. Myös mikroreikien lukumäärän ohjelma pystyi laskemaan ja esittämään selvästi.

Yksi ImageJ-ohjelman haasteista oli sen yksinkertaiset ja melko rajalliset työkalut. Tämä osoittautui ongelmaksi eritoten näytteiden rajaamisessa, sillä kaikkia tutkittavia alueita oli vaikea saada täysin samankokoisiksi keskenään. Vaikka vaihtelu rajauskokojen välillä ei ollut iso, kyseessä oli kuitenkin tekijä, joka varmasti toi virhearviota lopullisiin tuloksiin. Jos käytössä olisi ollut kehittyneempi ja työkaluiltaan laajempi ohjelma, olisi ollut myös mahdollista, että jopa täpärinäytteistä olisi voitu saada luotettavaa dataa. Tällaisen ohjelman löytäminen, opetteleminen ja käyttäminen ei kuitenkaan ollut mahdollista rajallisen aikataulun vuoksi.

Työssä oli muutamia vaiheita, joiden menettelyssä oltaisiin voitu tehdä toisin. Työssä käytetyt 10 rinnakkaista näytettä antoivat suuntaa antavan kuvan värjäysaineiden ja materiaalien keskinäisistä vaikutuksista, mutta tulosten tarkkuutta olisi voitu parantaa lisäämällä näytteiden lukumäärää. Yksittäisten näytteiden välillä tapahtui melko paljon hajontaa ja näytteenottovaiheiden virheet korostuvat melko selvästi tuloksissa. Esimerkiksi 100 rinnakkaisella näytteellä virhearviota pystyisi pienentämään huomattavasti ja olisi ollut rajallisen aikataulunkin kannalta mahdollista toteuttaa. Käsin

tehtävien työvaiheiden korvaaminen tarkemmilla menetelmillä olisi myös voinut pienentää tuloksissa esiintyvää hajontaa. Tämä korostui erityisesti COBB-testissä, kun värjäysnestettä annosteltiin käsin perinteisellä pipetillä, jolloin tilavuusvaihtelua saattoi olla joskus jopa millilitrojen verran. Jos tilalla olisi esimerkiksi ollut automaattipipetti, tulokset olisivat olleet selvästi tarkempia.

Myös yhtenä kehitettävänä osa-alueena olisi suorittaa näytteenotto isommalla pinta-alalla. Työssä käytettiin melko pientä COBB-muottia, johon sovitettiin noin 10x10 senttimetrin näytepala. Jos sama työ suoritettaisiin isommalla muotilla, voitaisiin käyttää myös suurempaa näytepalaa ja pienentää virhearviota. Tämä luonnollisesti tarkoittaisi värjäysaineen runsaampaa käyttöä, joka tulisi huomioida nesteitä valmistettaessa. Käytössä tulisi olla myös skanneri, jolla isommat näytteet voitaisiin kuvata tarkasti ja luotettavasti ilman, että kuvan laatu kärsisi liikaa.

LÄHTEET

ASTM F 3039-15. 2017. Standardiohjeet värjäävälle vesiliuokselle. 9.3.2017. ASTM International. Luettu 14.08.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.astm.org/Standards/F3039.htm>

Brander J., Thorn I. 1997. Surface Application of Paper. Chapman & Hall.

Ciora, A. R. 2014. Industrial Applications of Image Processing. Luettu 25.11.2018. https://www.researchgate.net/publication/273303696_Industrial_Applications_of_Image_Processing

Graminski, E., Kirsch, R. 1977. Image analysis in paper manufacturing. National Bureau of Standards. Washington: Washington D.C.

Hubbard, A. 2002. Encyclopedia of Surface and Colloid Science. New York: Marcel Dekker Inc.

ISO 11156:2011. 2011. Pakkauksen yleisstandardi. ISO:n virallinen kotisivu. Luettu 2.5.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.iso.org/standard/50175.html?browse=tc>

ISO 535:1991. 1991. Standardi COBB-testille. BSI: viralliset kotisivut. Luettu 17.05.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000000253316>

Contact angle. 2018. Krüss Optronic. Luettu 3.5.2018. <https://www.kruss-scientific.com/services/education-theory/glossary/contact-angle/>

Heikkilä T. 1998. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita Prima Oy.

Karjalainen, L. 2004. Tilastomatematiikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Kuusipalo, J. 2008. Paper and Paperboard Converting. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Kirillin M., Alarousu E., Fabritius T., Myllylä R., Priezzhev A. V. 2007. Visualization of paper structure by optical coherence tomography: Monte Carlo simulations and experimental study. Oulu yliopisto. Optoelektronikka ja mittaustekniikka. Tutkielma.

Lemke, H. U., Stiehl, H. S., Scharnweber H., Jackél, D. 2003. Applications of Picture Processing, Image Analysis and Computer Graphics Techniques to Cranial CT Scans. Luettu 25.11.2018. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3045115/>

Mark, J. 2007. Physical Properties of Polymers Handbook. Springer Science & Business Media.

Mendoza, F., Lu R. 2015. Basics of Image Analysis. New York: Springer Science & Business Media.

Mittal, K. 2009. Contact Angle, Wettability and Adhesion Volume 6. Leiden: Koninklijke Brill NV.

Rosato, D.V. 1998. Extruding Plastics: A Practical Processing Handbook. Chapman & Hall.

Ryan, S.J. 2013. Retina (Fifth Edition). Elsevier Saunders.

Schindelin, J., Rueden, M., Hiner, M., Eliceri, K. 2015. The ImageJ Ecosystem: An open platform for biomedical image analysis. Luettu 23.4.2019.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mrd.22489%4010.1002/%28ISSN%291098-2795.MRD-top-cited>

SFS-EN 13676. 2001. Standardimenetelmä värjäävälle etanoliliuokselle. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Luettu 14.6.2018. Vaatii käyttöoikeuden.
<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/6873.html.stx>

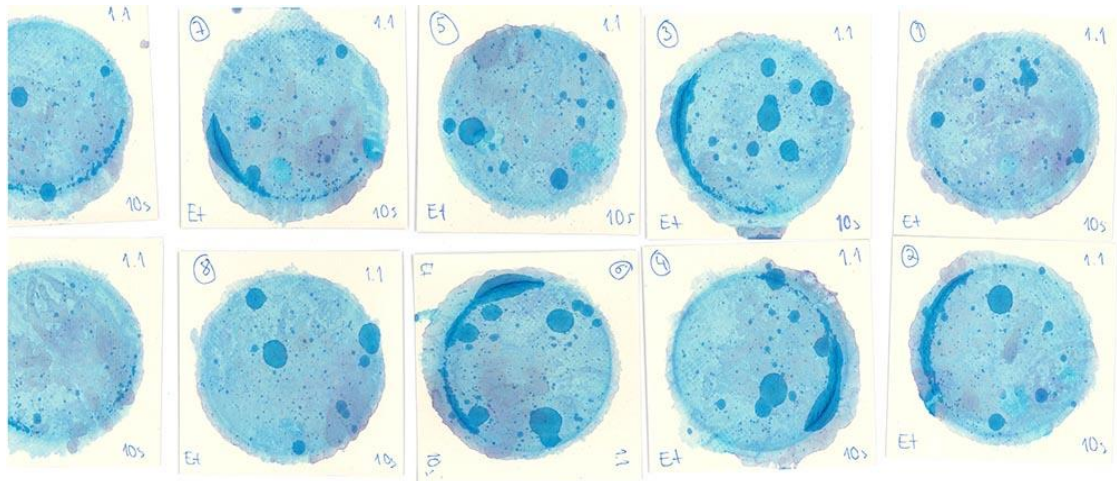
Smithers Group. 2018. Water absorbency. Luettu 17.05.2018.
<https://www.smitherspira.com/services/materials-testing/paper-other-properties/water-absorbency>

Soille, P. 2004. Morphological Image Analysis: Principles and Applications. Springer-Verlag.

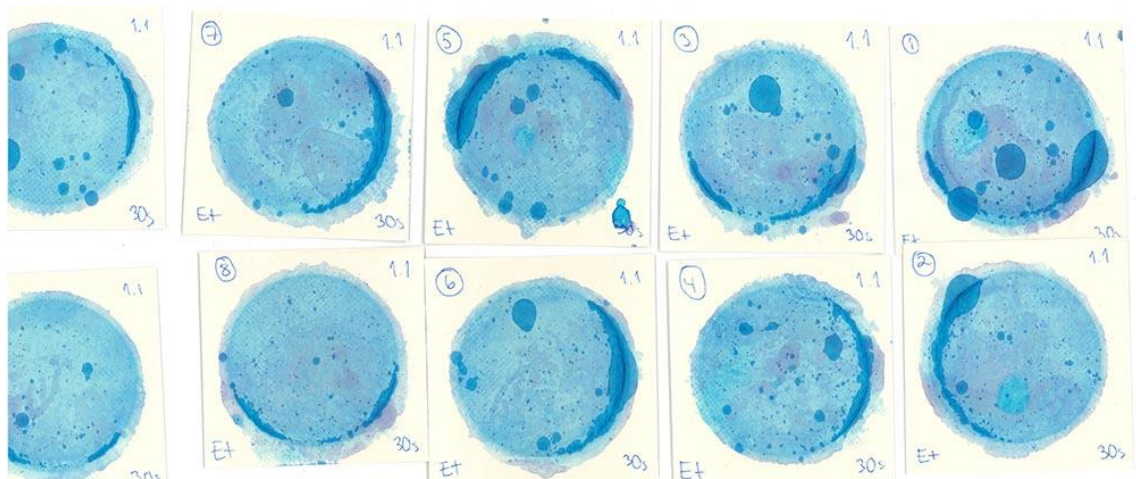
Suomi P., Haapala H. 2002. Digitaalikuvausten ja vesierkän paperin käyttö perunan ruiskutustutkimuksessa. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Tutkielma.

LIITTEET

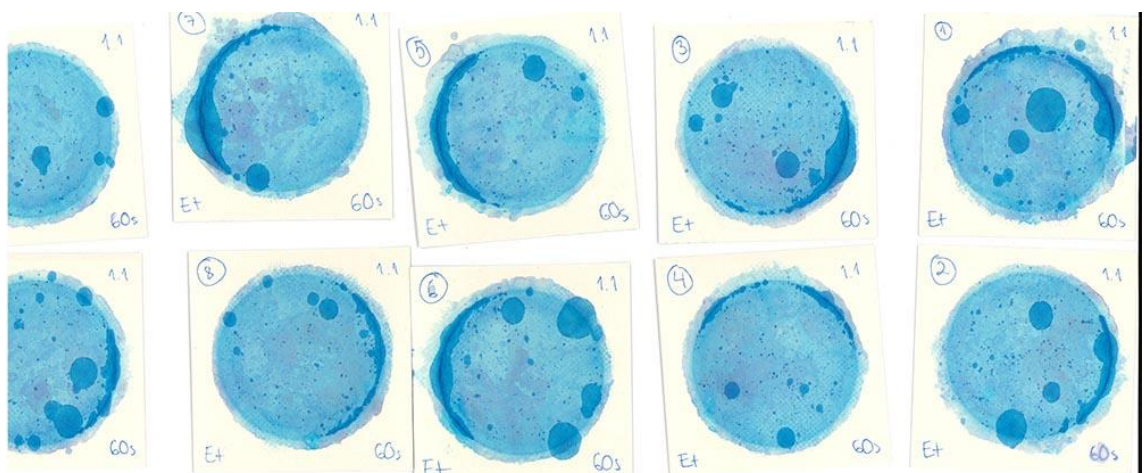
Liite 1. COBB-testin tulokset



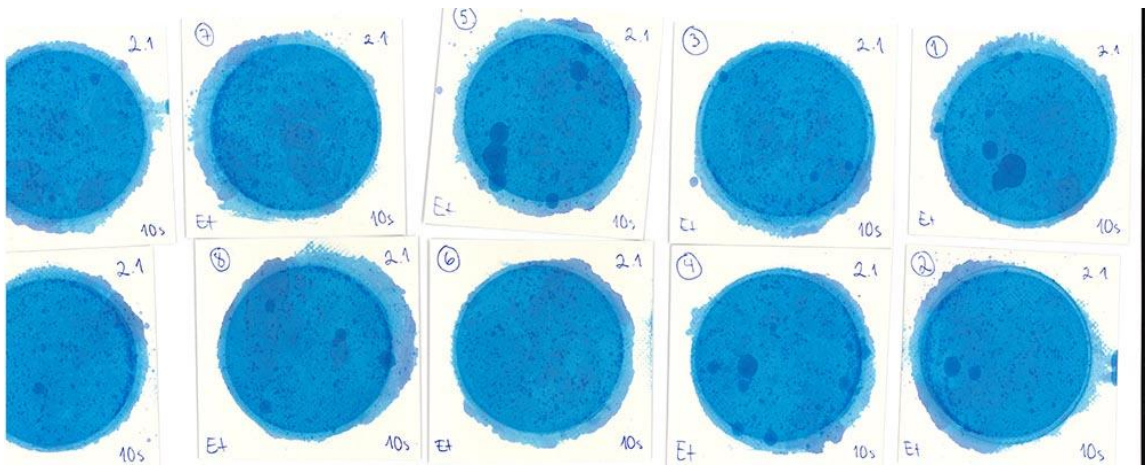
KUVA 12. 1.1, etanoliliuos, 10 sekuntia



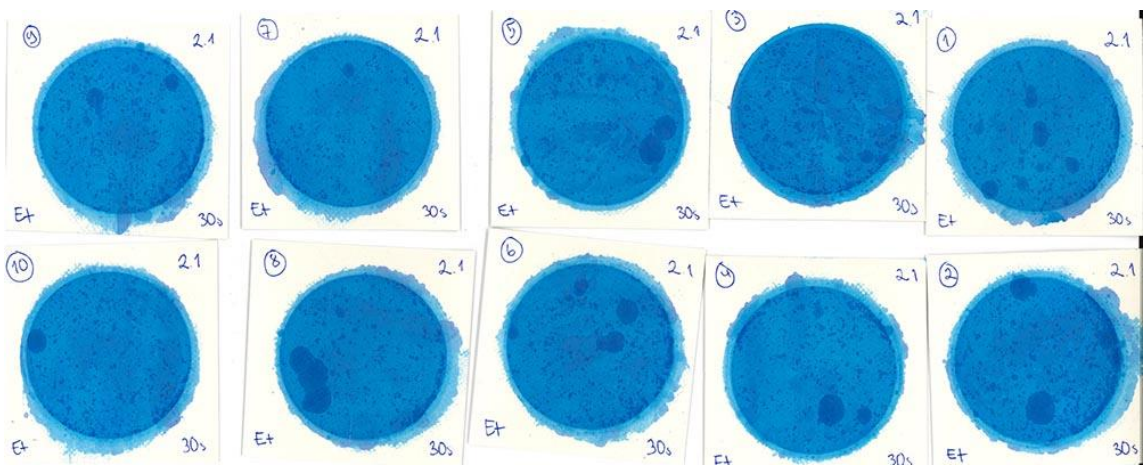
KUVA 13. 1.1, etanoliliuos, 30 sekuntia



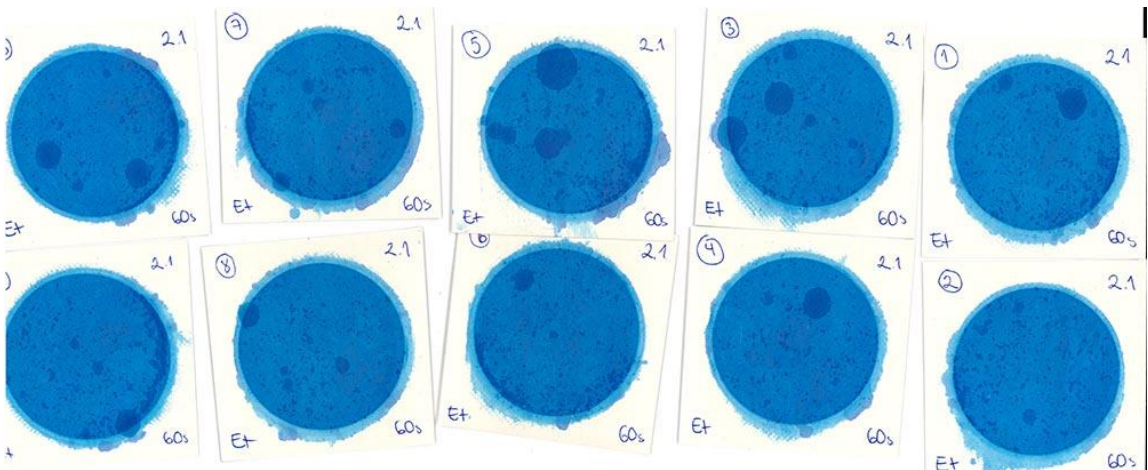
KUVA 14. 1.1. etanoliliuos, 60 sekuntia



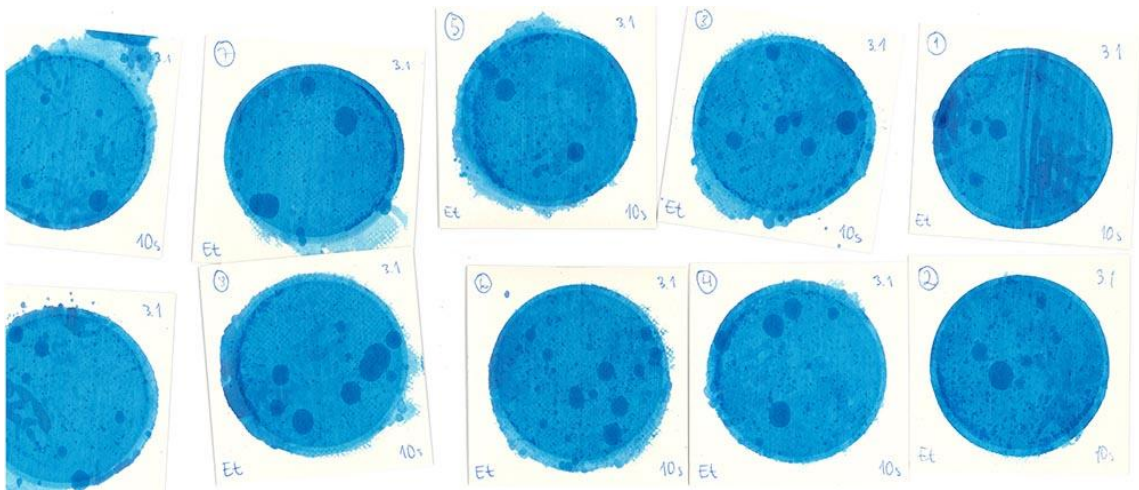
KUVA 15. 2.1, etanoliliuos, 10 sekuntia



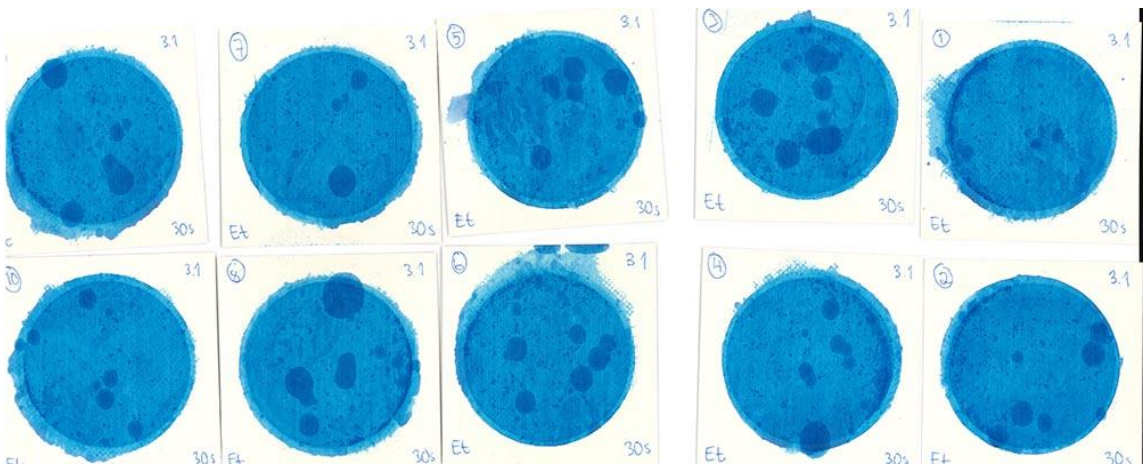
KUVA 16. 2.1, etanoliliuos, 30 sekuntia



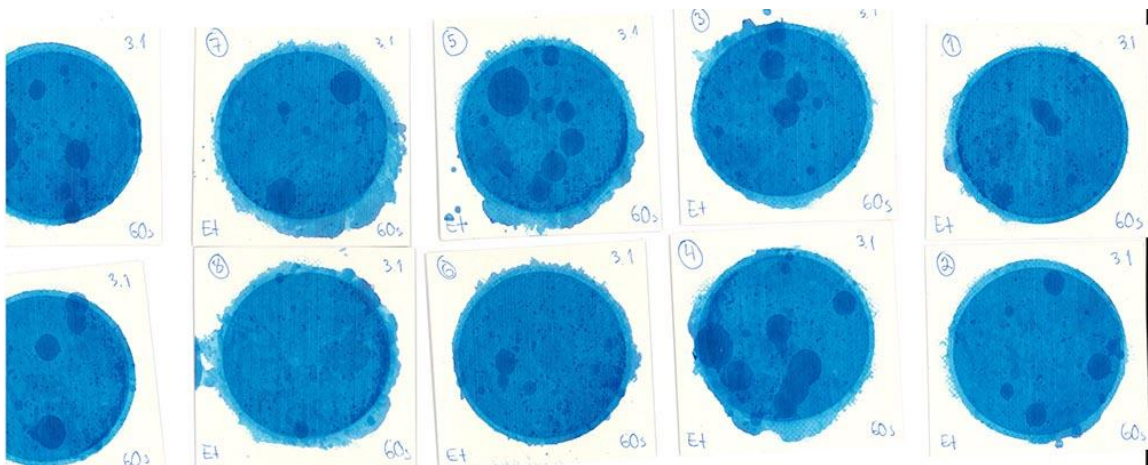
KUVA 17. 2.1, etanoliliuos, 60 sekuntia



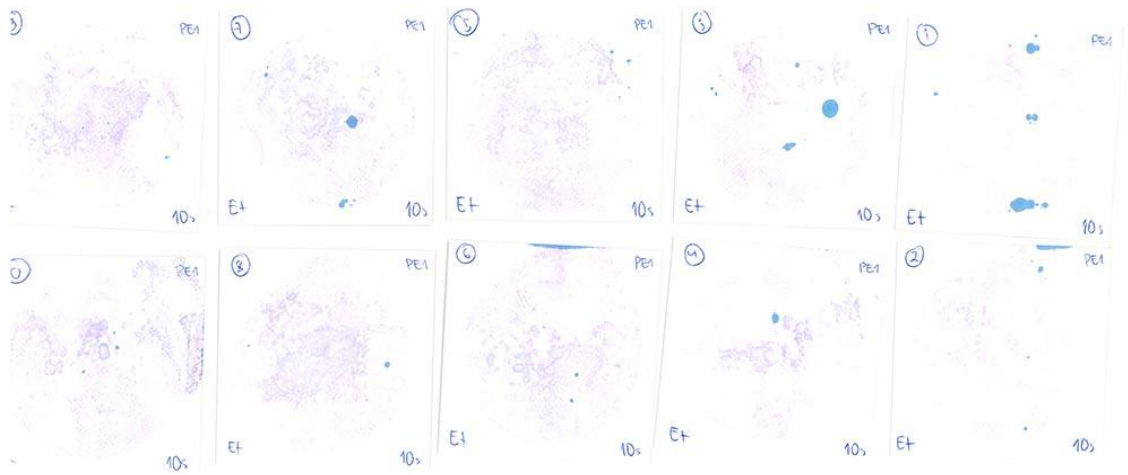
KUVA 18. 3.1, etanoliliuos, 10 sekuntia



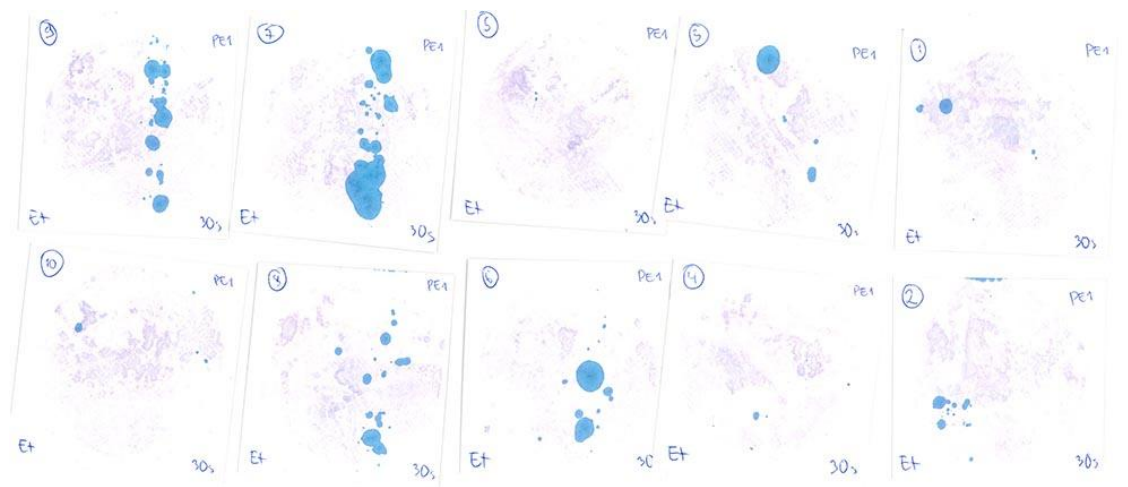
KUVA 19. 3.1, etanoliliuos, 30 sekuntia



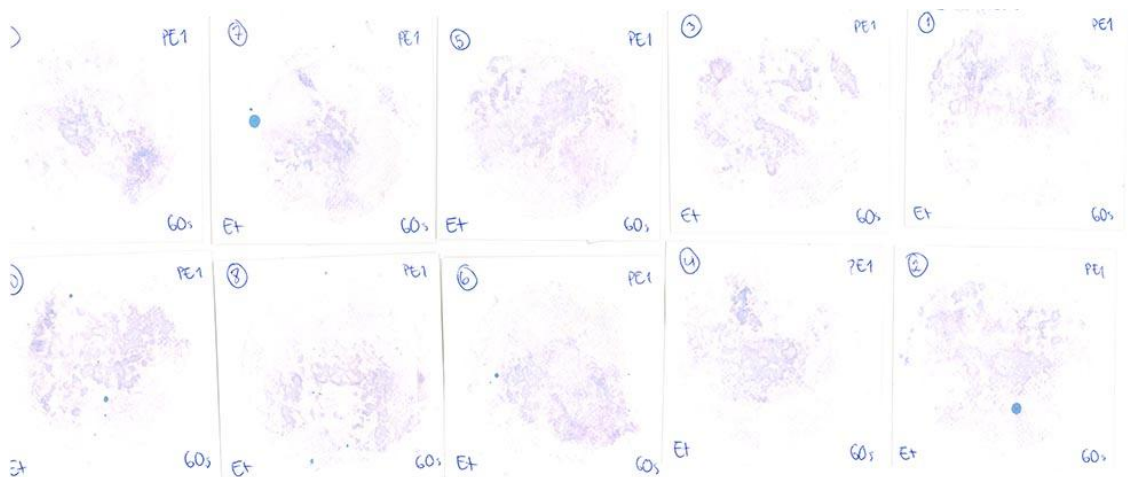
KUVA 20. 3.1, etanoliliuos, 60 sekuntia



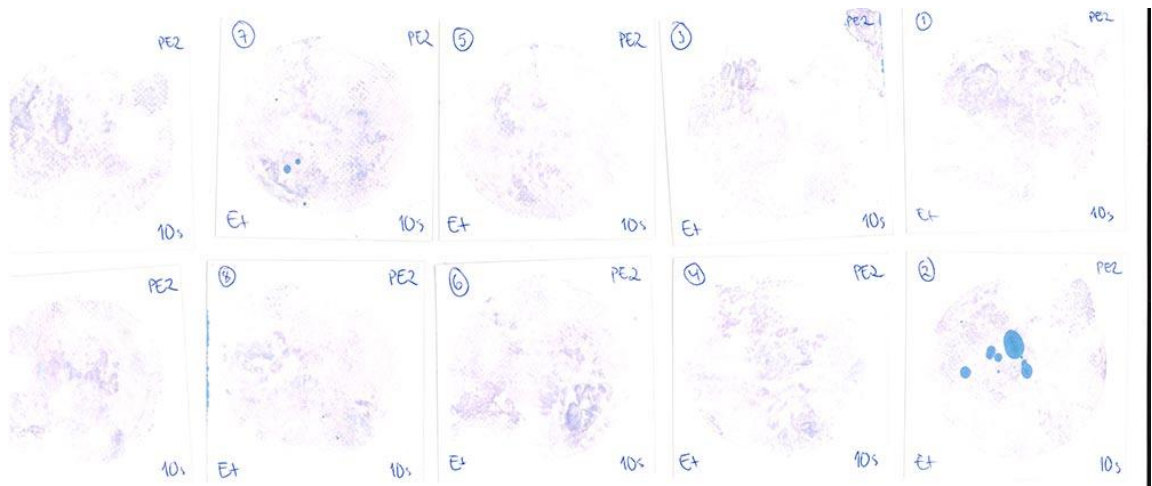
KUVA 21. PE1, etanoliliuos, 10 sekuntia



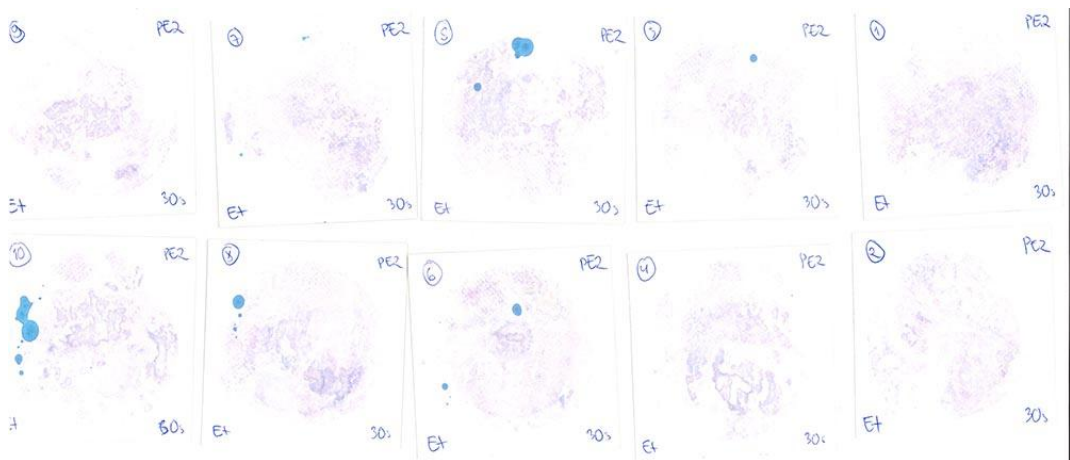
KUVA 22. PE1, etanoliliuos, 30 sekuntia



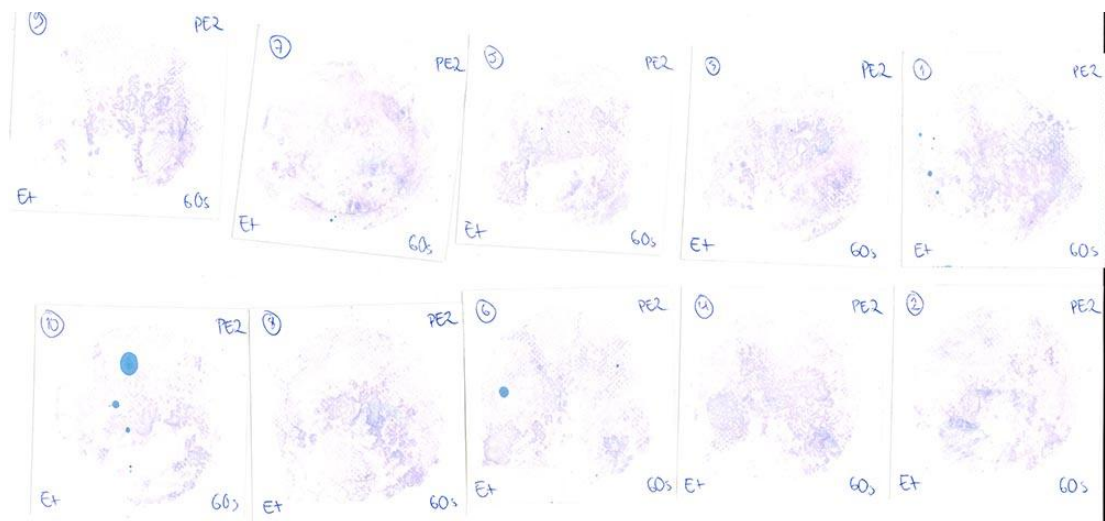
KUVA 23. PE1, etanoliliuos, 60 sekuntia



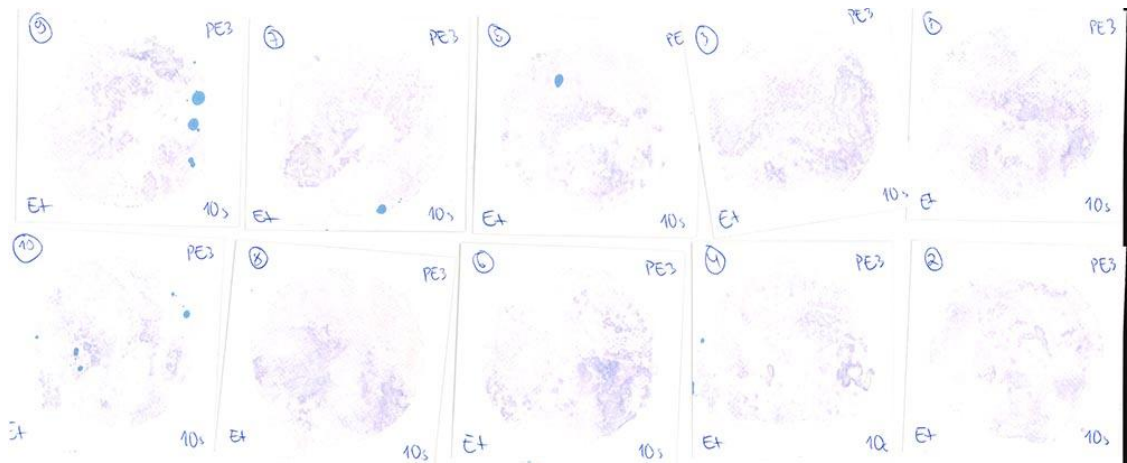
KUVA 24. PE2, etanoliliuos, 10 sekuntia



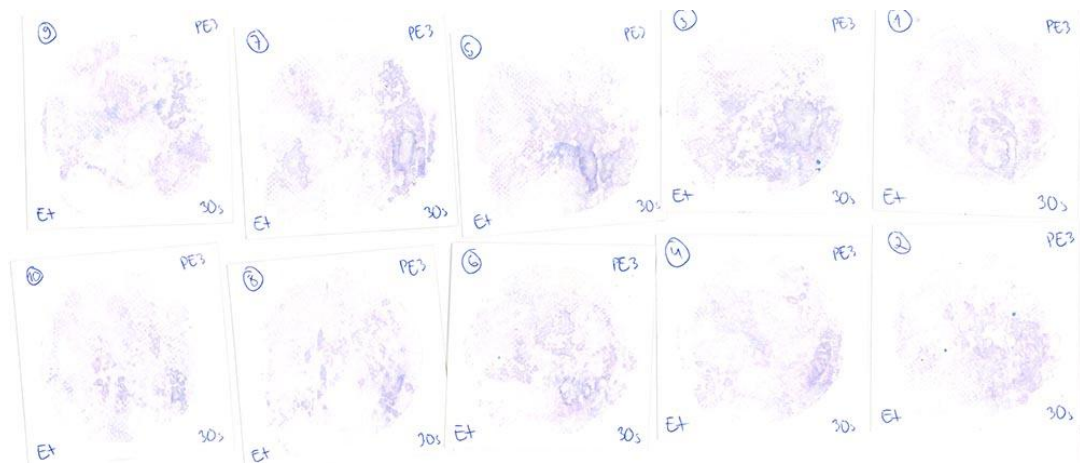
KUVA 25. PE2, etanoliliuos, 30 sekuntia



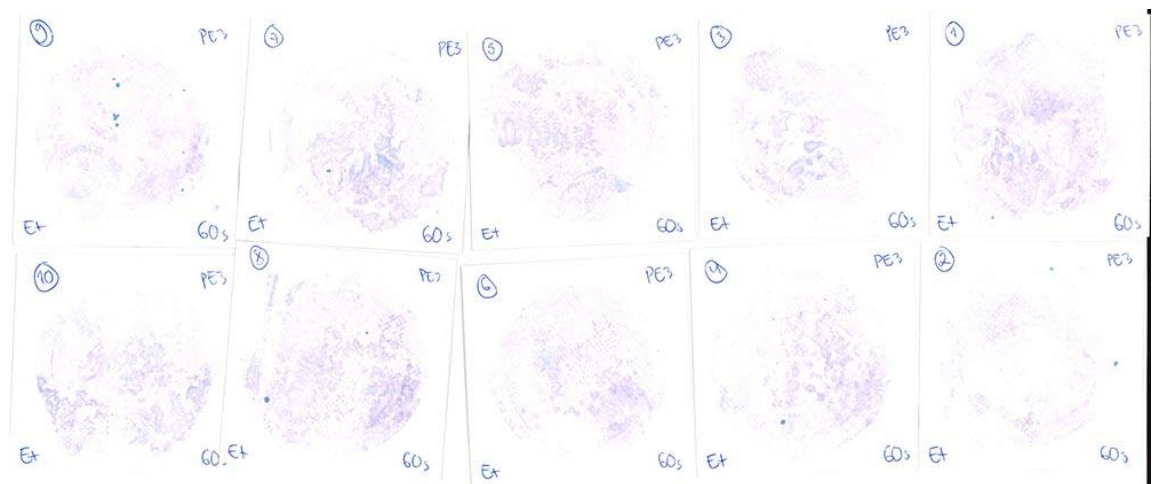
KUVA 26. PE2, etanoliliuos, 60 sekuntia



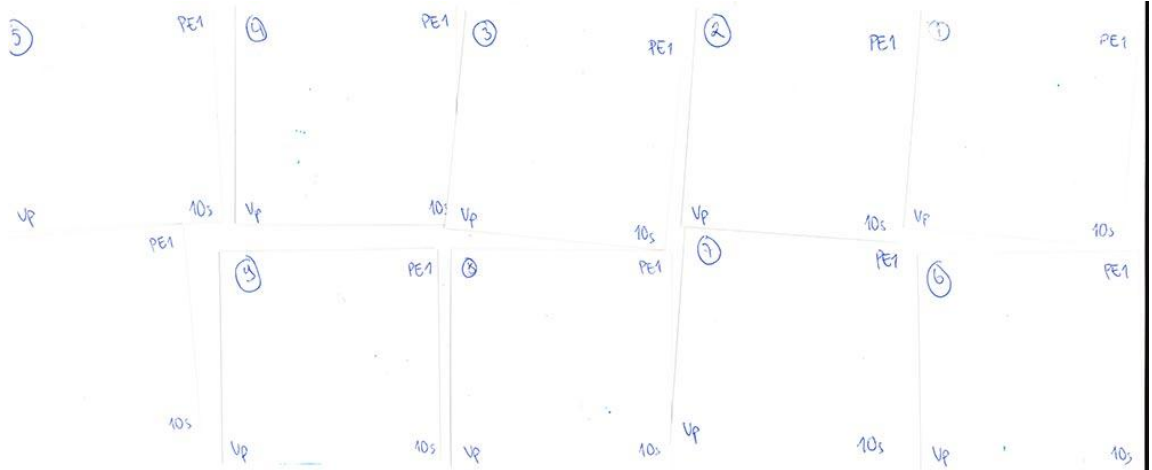
KUVA 27. PE3, etanoliliuos, 10 sekuntia



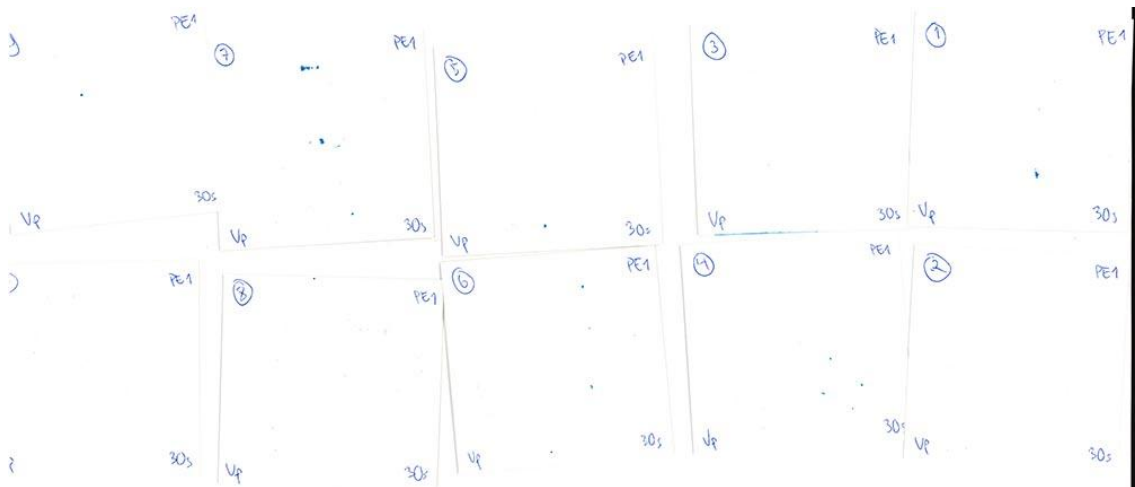
KUVA 28. PE3, etanoliliuos, 30 sekuntia



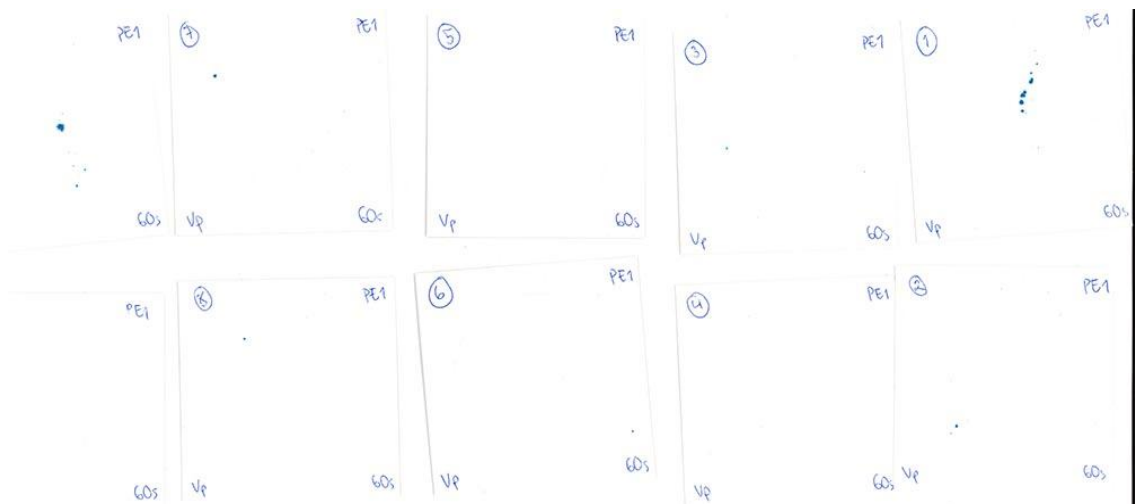
KUVA 29. PE3, etanoliliuos, 60 sekuntia



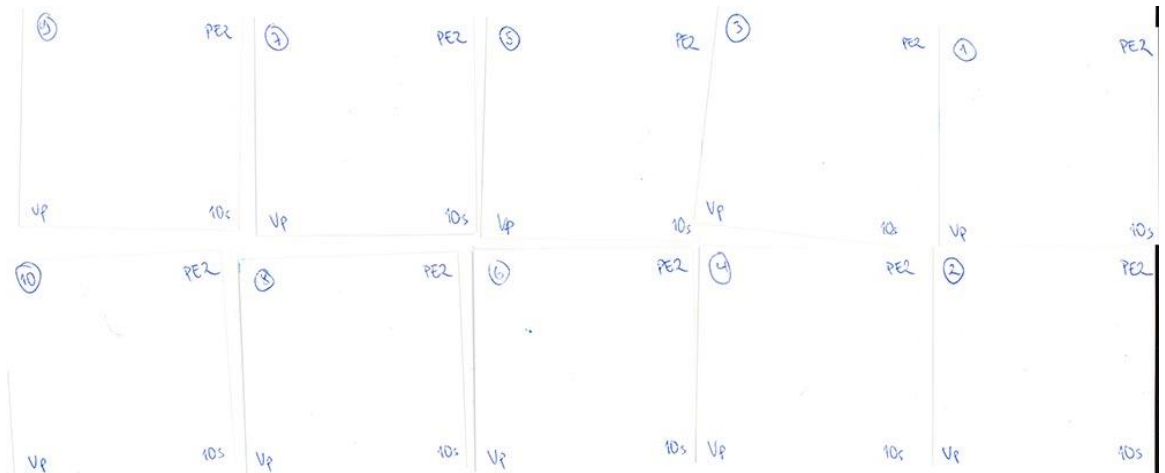
KUVA 30. PE1, vesiliuos, 10 sekuntia



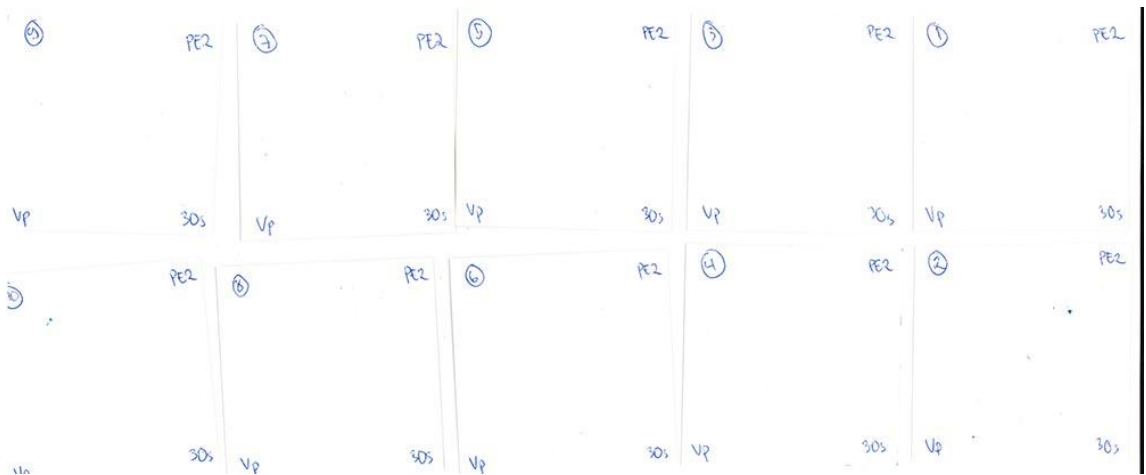
KUVA 31. PE1, vesiliuos, 30 sekuntia



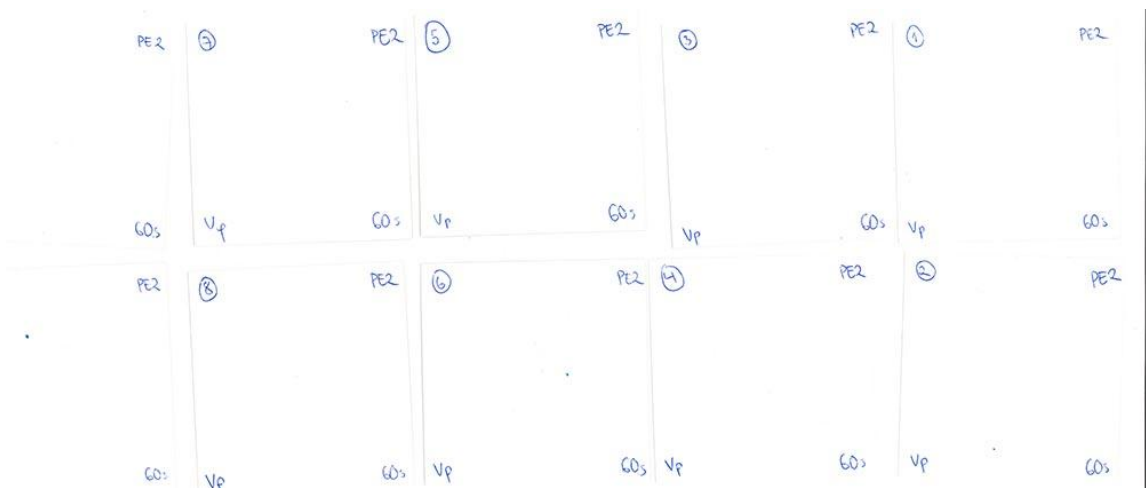
KUVA 32. PE1, vesiliuos, 60 sekuntia



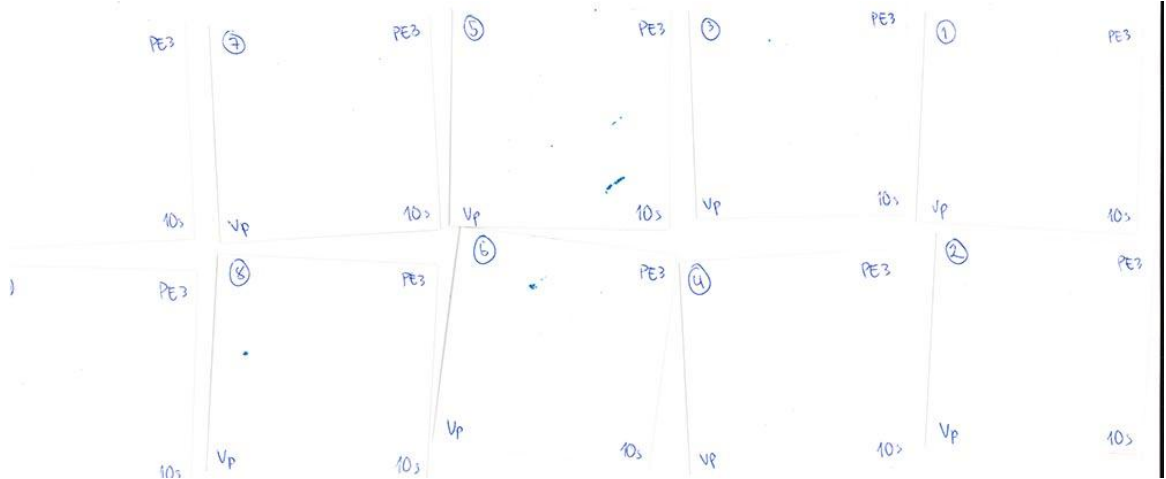
KUVA 33. PE2, vesiliuos, 10 sekuntia



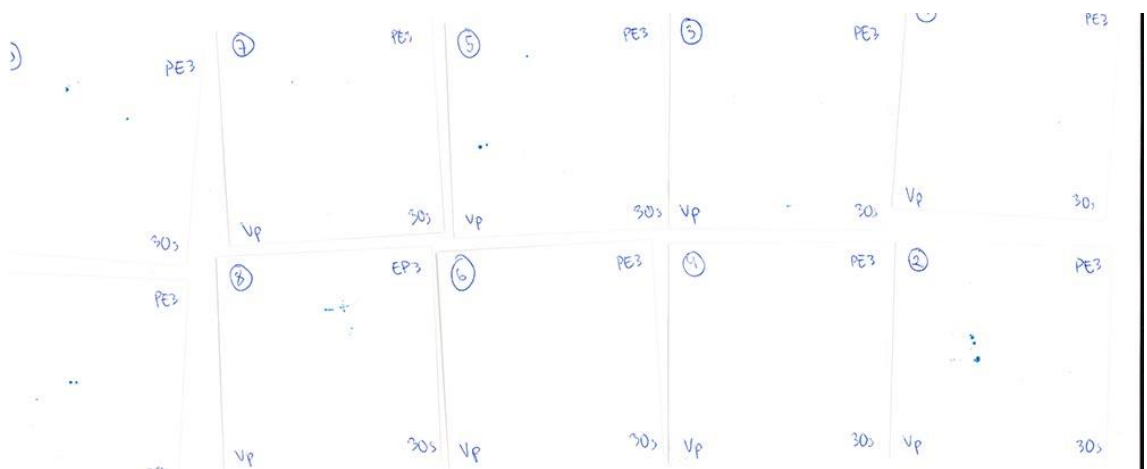
KUVA 34. PE2, vesiliuos, 30 sekuntia



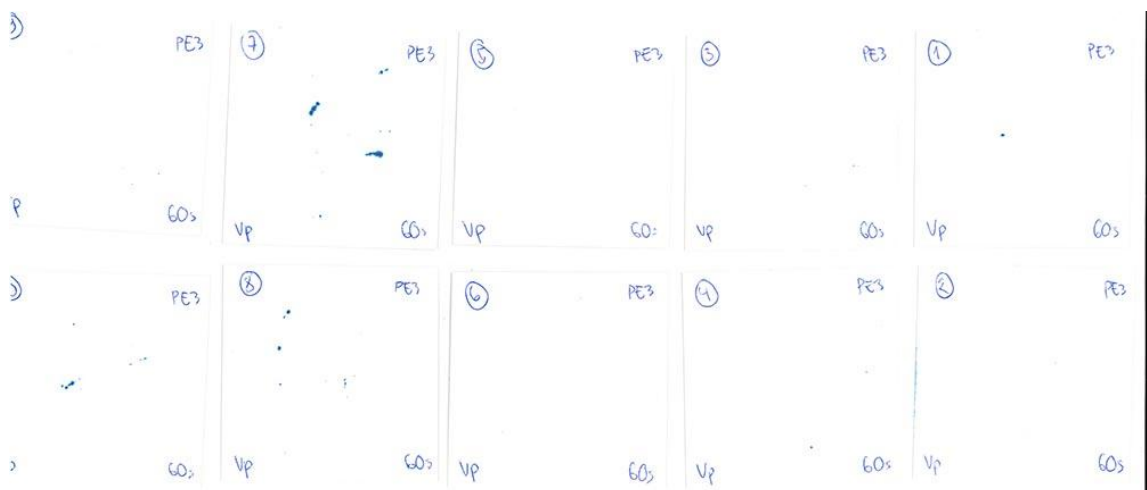
KUVA 35. PE2, vesiliuos, 60 sekuntia



KUVA 36. PE3, vesiliuos, 10 sekuntia



KUVA 37. PE3, vesiliuos, 30 sekuntia



KUVA 38. PE3, vesiliuos, 60 sekuntia

Liite 2. Kontaktikulmamittausten taulukot

TAULUKKO 4. Vesipohjainen liuos

Step number	Kontaktikulma (M) [°]	Kontaktikulma (L) [°]	Kontaktikulma (R) [°]	Keskiarvo	Lämpötila [°C]	Aika [s]	Metodi	Tyyppi
1	30,60804176	30,62261009	30,59347343	30,60804176	21,19827652	0,0048041	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
2	30,65345097	30,4648056	30,84209633	30,65345097	21,18943787	1,0050201	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
3	30,18997955	30,19682121	30,18313789	30,18997955	21,20974541	2,0052361	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
4	29,98208523	29,80924988	30,15492058	29,98208523	21,20231247	3,0054521	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
5					21,20034981	0,0090773	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
6					21,2102108	1,0092933	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
7					21,20536804	2,0095093	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
8					21,22059441	3,0097263	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
9					21,1872673	0,0111943	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
10					21,18798256	1,0114113	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
11					21,29638672	2,0116273	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
12					21,14263535	3,0118433	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
13					21,28720284	0,0113441	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
14					21,29590416	1,0115611	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
15					21,289711	2,0117771	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
16					21,27787971	3,0119931	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
17					21,25061226	0,012462	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
18					21,12179184	1,012678	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
19					21,14328194	2,012894	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
20	25,04037952	25,2850914	24,79566765	25,04037952	21,27789879	3,013111	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
21	78,8877182	79,08539581	78,69004059	78,8877182	21,21248055	0,0165792	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
22	79,27875137	79,64058685	78,91691589	79,27875137	21,21489143	1,0167962	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
23	78,59985352	79,15486145	78,04484558	78,59985352	21,23139954	2,0170122	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
24	78,57752609	79,20028687	77,95476532	78,57752609	21,20689583	3,0172282	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
25	36,22322083	36,9549408	35,49150085	36,22322083	21,31153297	0,0112271	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
26	43,40105629	42,60214615	44,19996643	43,40105629	21,15281105	1,0114431	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
27	37,56374741	38,3478241	36,77967072	37,56374741	21,27467728	2,0116591	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
28	34,81687546	35,1839447	34,44980621	34,81687546	21,26098251	3,0118761	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
29	35,78990936	36,76216507	34,81765366	35,78990936	21,26342773	0,002511	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
30	32,6614399	33,11414719	32,2087326	32,6614399	21,25355339	1,002727	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
31	34,63887215	35,38315201	33,89459229	34,63887215	21,25275993	2,002943	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
32	33,52487373	34,11122513	32,93852234	33,52487373	21,25107002	3,003159	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
33	35,33848953	36,33466721	34,34231186	35,33848953	21,20265388	0,0077513	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
34	33,36890221	34,33615112	32,40165329	33,36890221	21,22194481	1,0079683	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
35	32,63840008	33,74179077	31,53500938	32,63840008	21,22271347	2,0081843	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
36	34,88596344	35,96600723	33,80591965	34,88596344	21,2285862	3,0084003	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
37	37,61139107	38,31028748	36,91249466	37,61139107	21,26507378	0,0120115	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
38	36,01626396	36,45198441	35,58054352	36,01626396	21,25508499	1,0122275	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
39	35,94944572	36,63647461	35,26241684	35,94944572	21,26787376	2,0124435	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
40	38,56867981	39,82078934	37,31657028	38,56867981	21,26510429	3,0126595	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
41	39,68168831	40,39309311	38,97028351	39,68168831	21,29772568	0,0132514	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
42	33,78194427	33,82867432	33,73521423	33,78194427	21,2788372	1,0134674	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
43	30,55080032	30,71438789	30,38721275	30,55080032	21,25612068	2,0136844	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
44	35,89090994	36,1593895	35,62079239	35,89090994	21,27460861	3,0139004	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
45	35,86032677	35,2975502	36,42310333	35,86032677	21,19008064	0,0125221	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
46	34,8248291	34,43238068	35,21277573	34,8248291	21,20796585	1,0127381	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
47	34,56452751	34,43907166	34,68998337	34,56452751	21,33288956	2,0129551	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
48	32,91524124	33,09791183	32,73257065	32,91524124	21,32551765	3,0131711	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
49	32,8722744	32,82678223	32,91776657	32,8722744	21,32364464	0,006652	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
50	35,99831009	36,20037079	35,79624939	35,99831009	21,30900192	1,0068812	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
51	38,26304436	38,56750488	37,95858383	38,26304436	21,30444145	2,0070972	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
52	35,17308044	35,53305435	34,81310654	35,17308044	21,31513405	3,0073142	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
53	37,05945396	37,55054474	36,56836319	37,05945396	21,29244614	0,0100713	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
54	37,88268852	38,09819031	37,66718674	37,88268852	21,31308556	1,0102873	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
55	37,94404411	38,11459732	37,77349091	37,94404411	21,30285263	2,0105033	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
56	35,44640923	35,93213654	34,96068192	35,44640923	21,32040787	3,0107193	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
57	29,83248615	29,39969635	30,26527596	29,83248615	21,30943108	0,0183239	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
58					21,3333149	1,0185399	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
59					21,45426941	2,0187559	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
60					21,27479362	3,0189729	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
61	43,24442863	41,43748093	45,05137634	43,24442863	21,33138847	0,001602	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
62	42,12099838	40,49604034	43,74595642	42,12099838	21,31304359	1,001818	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
63	42,03189468	40,44204712	43,62174225	42,03189468	21,32626343	2,002035	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
64	39,33615112	38,29415512	40,37814713	39,33615112	21,32591057	3,002251	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
65	37,57375336	37,47621918	37,67128754	37,57375336	21,34488678	0,0158832	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
66	39,97841072	40,45947266	39,49734879	39,97841072	21,33842278	1,0160992	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
67	42,22255707	41,79852295	42,64659119	42,22255707	21,34758568	2,0163162	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
68	42,62740898	41,6961174	43,55870056	42,62740898	21,33636284	3,0165322	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
69	36,97354317	36,3694458	37,57764053	36,97354317	21,31027985	0,0081442	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
70	37,05648994	35,81941605	38,29356384	37,05648994	21,28949928	1,0083602	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
71	37,05433846	36,49970627	37,60897064	37,05433846	21,30342293	2,0085762	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
72	35,91794205	35,54299927	36,29288483	35,91794205	21,31147385	3,0087922	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
73	44,52267838	43,5664444	45,47891235	44,52267838	21,23195457	0,001355	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
74	43,48325157	42,6561203	44,31038284	43,48325157	21,2537384	1,001571	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
75	43,45731544	42,59422302	44,32040787	43,45731544	21,24976158	2,001787	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
76				#JAKO/O!	21,25673866	3,002003	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
77	46,26598549	44,98888779	47,54308319	46,26598549	21,24801636	0,003769	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
78	44,98628426	43,97017288	46,00239563	44,98628426	21,25990295	1,003986	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
79	45,32568359	44,10664749	46,5447197	45,32568359	21,25929832	2,004202	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
80	45,14764786	44,17271042	46,1225853	45,14764786	21,27285957	3,004418	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
81	45,66186532	44,0545551	46,26017406	45,66186532	21,24555506	0,0040238	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop

82	45,10508156	44,80855179	45,40161133	45,10508156	21,15006447	1,0042498	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
83	44,90325928	44,47573471	45,33078384	44,90325928	21,1683712	2,0044658	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
84	44,39435196	43,89605713	44,89264679	44,39435196	21,18216705	3,0046818	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
85					21,15460968	0,0152727	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
86					21,14653778	1,0154887	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
87					21,15762711	2,0157047	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
88					21,16892242	3,0159207	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
89	49,22101212	49,0770874	49,36493683	49,22101212	21,27935219	0,0165476	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
90	47,2841835	47,40061951	47,1677475	47,2841835	21,27809715	1,0167636	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
91	47,43774605	47,21781921	47,65767288	47,43774605	21,25832939	2,0169806	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
92	47,2034626	46,96392441	47,44300079	47,2034626	21,24121475	3,0171966	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
93	47,88605499	47,934021	47,83808899	47,88605499	21,18395042	0,0168184	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
94	46,82917404	46,81191635	46,84643173	46,82917404	21,32418633	1,0170344	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
95	46,71312904	46,68460083	46,74165726	46,71312904	21,3243103	2,0172514	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
96	47,19592285	47,37740707	47,01443863	47,19592285	21,31820488	3,0174674	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
97	48,75770569	48,72142792	48,79398346	48,75770569	21,26691628	0,0027591	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
98	48,42689514	48,17948151	48,67430878	48,42689514	21,38803864	1,0029761	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
99	48,29174614	47,9306488	48,65284348	48,29174614	21,37865067	2,0031921	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
100	47,39754486	47,28757095	47,50751877	47,39754486	21,36171722	3,0034081	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
101	45,95438194	45,34106064	46,56770325	45,95438194	21,31467628	0,0121958	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
102	45,03582382	44,50024796	45,57139969	45,03582382	21,33241081	1,0124118	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
103	44,86699677	44,28508759	45,44890594	44,86699677	21,31290627	2,0126288	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
104	44,66262627	44,06759644	45,2576561	44,66262627	21,195364	3,0128448	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
105	45,77205276	46,51805878	45,02604675	45,77205276	21,33886528	0,0124506	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
106	45,98888206	46,42185974	45,55590439	45,98888206	21,35220528	1,0126666	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
107	45,49957848	46,08045578	44,91870117	45,49957848	21,33412933	2,0128826	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
108	44,89548683	45,32018661	44,47078705	44,89548683	21,3237648	3,0130986	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
109	47,85570908	47,3020668	48,40935135	47,85570908	21,29805946	0,0007082	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
110	47,37390327	46,85352325	47,89428329	47,37390327	21,3018589	1,0009242	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
111	51,75449371	52,3807106	51,12827682	51,75449371	21,29278946	2,0011402	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
112	46,5593853	46,31170654	46,80706406	46,5593853	21,29704857	3,0013572	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
113	49,33525085	48,65483475	50,01566696	49,33525085	21,3413353	0,0059675	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
114	49,24197006	48,47854614	50,00539398	49,24197006	21,35457039	1,0061845	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
115	49,03242874	48,43157196	49,63328552	49,03242874	21,3671875	2,0064005	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
116	48,2942276	47,8213501	48,7671051	48,2942276	21,34272575	3,0066165	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
117	48,9567318	49,12084198	48,79262161	48,9567318	21,33187485	0,0012448	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
118	48,95587349	48,99724197	48,914505	48,95587349	21,34236336	1,0014608	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
119	48,72709846	48,76573181	48,68846512	48,72709846	21,34451103	2,0016778	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
120	48,40278625	48,6023674	48,20320511	48,40278625	21,34196854	3,0018938	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
121	49,04040337	49,5486412	48,53216553	49,04040337	21,33867455	0,0068323	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
122	48,06683731	48,60449982	47,5291748	48,06683731	21,3360939	1,0070483	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
123	47,2587986	47,62151718	46,89608002	47,2587986	21,33814621	2,0072643	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
124	46,5575943	47,02495956	46,09022903	46,5575943	21,35956955	3,0074813	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
125	48,17808342	48,77199554	47,5841713	48,17808342	21,35708046	0,0082542	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
126	47,95644379	48,45604706	47,45684052	47,95644379	21,34254837	1,0084702	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
127	47,65504837	48,17315674	47,13694	47,65504837	21,32669449	2,0086862	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
128	47,13643837	47,74104309	46,53183365	47,13643837	21,32948685	3,0089032	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
129	46,36366081	45,84705353	46,8802681	46,36366081	21,33216095	0,0015153	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
130	45,87006378	45,13606262	46,60406494	45,87006378	21,31939697	1,0017313	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
131	45,40291786	45,01941299	45,78642273	45,40291786	21,33091164	2,0019473	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
132	45,19185829	44,7322731	45,65144348	45,19185829	21,33000755	3,0021633	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
133	51,01451111	49,02754593	53,00147629	51,01451111	21,33683968	0,0027902	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
134	50,48096466	48,15458679	52,80734253	50,48096466	21,35181236	1,0030062	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
135	49,86397934	47,71666718	52,0112915	49,86397934	21,35827637	2,0032222	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
136	49,7660923	47,66792679	51,86425781	49,7660923	21,35194969	3,0034392	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
137	48,61000061	48,69261551	48,52738571	48,61000061	21,35499382	0,0090796	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
138	48,24383736	48,33611298	48,15156174	48,24383736	21,35221481	1,0092966	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
139	47,40195465	47,40269852	47,40121078	47,40195465	21,34079361	2,0095126	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
140	47,06877327	47,05402756	47,08351898	47,06877327	21,34837341	3,0097286	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
141	51,30149651	51,38448715	51,21850586	51,30149651	21,33220863	0,0013406	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
142	50,90103722	50,82386398	50,97821045	50,90103722	21,32540131	1,0015566	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
143	50,34252548	50,36648178	50,31856918	50,34252548	21,34347343	2,0017726	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
144	49,70302582	49,58757782	49,81847382	49,70302582	21,35702515	3,0019896	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
Keskihajonta	6,445980422							

TAULUKKO 5. Etanoliliuos

Step number	Kontaktikulma (M) [°]	Kontaktikulma (L) [°]	Kontaktikulma (R) [°]	Keskiarvo	Lämpötila [°C]	Aika [s]	Metodi	Tyyppi
425	15,32174683	20,1432724	10,50022125	15,32174683	21,54871941	0,1545003	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
426	139,9579735	152,7267303	127,1892166	139,9579735	21,3664856	1,0146863	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
427	144,1231918	167,931427	120,3149567	144,1231918	21,38134003	2,0149023	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
428	96,25831604	176,450058	16,0665741	96,25831604	21,38134003	3,0151183	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
429	118,1258087	118,6048431	117,6467743	118,1258087	21,4574337	0,1529141	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
430	108,4049263	108,8535385	107,9563141	108,4049263	21,46887016	1,0131001	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
431	109,1310768	109,4643021	108,7978516	109,1310768	21,46887016	2,0133161	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
432	108,9884796	109,5873642	108,389595	108,9884796	21,48945808	3,0135321	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
433	10,64006853	9,624165535	11,65597153	10,64006853	21,62721252	0,150378	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
434	10,94849682	10,30020809	11,59678555	10,94849682	21,62848473	1,010564	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
435	9,751144409	9,009549141	10,49273968	9,751144409	21,40660477	2,01078	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
436	9,885838509	9,933753967	9,83792305	9,885838509	21,54561234	3,010997	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
437	16,09015465	19,36966515	12,81064415	16,09015465	21,47224236	0,1558541	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
438	14,82207966	18,06064224	11,58351707	14,82207966	21,59160995	1,0160401	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
439	13,60313368	16,68009949	10,52616787	13,60313368	21,44026184	2,0162571	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
440	112,7915688	112,8854141	112,6977234	112,7915688	21,45040131	3,0164731	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
441	14,4846034	14,61787796	14,35132885	14,4846034	21,44027519	0,1641789	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
442	14,42833662	15,37743092	13,47924232	14,42833662	21,46040916	1,0043599	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
443	14,20594311	15,47727489	12,93461132	14,20594311	21,46171188	2,0045769	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
444	106,7304344	107,5087891	105,9520798	106,7304344	21,48491096	3,0047929	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
445	14,73281097	16,57724571	12,88837624	14,73281097	21,48294067	0,1598757	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
446	13,79365826	15,4743309	12,11298561	13,79365826	21,50296974	1,0000577	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
447	12,331532	13,72288322	10,94018078	12,331532	21,49727058	2,0002737	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
448	12,88507795	13,45688725	12,31326866	12,88507795	21,48738861	3,0004897	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
449	13,2289772	12,55092144	13,90703297	13,2289772	21,55366325	0,1612257	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
450	13,18580675	12,96750832	13,40410519	13,18580675	21,55366325	1,0014077	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
451	20,08529949	21,98596954	18,18462944	20,08529949	21,5656929	2,0016237	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
452	10,97691727	11,00847149	10,94536304	10,97691727	21,79271698	3,0018397	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
453	101,8629951	101,6339645	102,0920258	101,8629951	21,51143837	0,1679263	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
454	97,7107811	97,73964691	97,68191528	97,7107811	21,51143837	1,0081083	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
455	98,09782791	98,26654816	97,92910767	98,09782791	21,52890778	2,0083243	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
456	104,6166458	104,8889236	104,344368	104,6166458	21,54728508	3,0085403	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
457	52,30955505	68,9354248	35,6836853	52,30955505	21,61586952	0,1652808	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
458	106,2178421	106,3304062	106,105278	106,2178421	21,61586952	1,0016418	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
459	102,5207367	103,0017242	102,0397491	102,5207367	21,44165611	2,0056778	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
460	106,3244019	106,253746	106,3950577	106,3244019	21,45493317	3,0058948	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
461	98,94215393	98,65776825	99,22653961	98,94215393	21,65680313	0,1616162	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
462	12,04897451	14,63824177	9,45970726	12,04897451	21,63406181	1,0017972	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
463	16,51878738	16,13875771	16,89881706	16,51878738	21,64116669	2,0020132	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
464	10,14631772	12,515481	7,777154446	10,14631772	21,48655128	3,0022302	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
465	23,06297493	18,53189087	27,59405899	23,06297493	21,53147316	0,1739782	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
466	26,03392792	31,4079113	20,65994453	26,03392792	21,51810265	1,0141602	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
467	53,8239584	87,96240234	19,68551445	53,8239584	21,52525711	2,0143762	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
468	30,30316162	36,32758331	24,27873993	30,30316162	21,53782654	3,0145922	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
469	34,0300045	17,83562851	50,22438049	34,0300045	21,56000519	0,1692975	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
470					21,56871033	1,0094785	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
471	32,09221506	8,037373543	56,14705658	32,09221506	21,57270622	2,0096955	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
472					21,57365799	3,0099115	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
473	12,10168743	10,19034672	14,01302814	12,10168743	21,63697433	0,1556046	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
474	12,82643747	10,0753994	15,57747555	12,82643747	21,61956596	1,0157906	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
475	111,4121933	111,8008804	111,0235062	111,4121933	21,60533905	2,0160066	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
476	112,4000015	111,9825974	112,8174057	112,4000015	21,58732033	3,0162226	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
477	118,0846634	118,223259	117,9460678	118,0846634	21,68431091	0,1669255	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
478	118,3482056	117,9910126	118,7053986	118,3482056	21,66605186	1,0071065	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
479	113,7825966	114,0121307	113,5530624	113,7825966	21,64310455	2,0073235	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
480	115,718174	115,8669739	115,5693741	115,718174	21,64310455	3,0075395	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
481	95,42678833	95,77106476	95,0825119	95,42678833	21,53743172	0,1602676	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
482	99,4882431	99,38441467	99,59207153	99,4882431	21,53743172	1,0004486	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
483	102,049015	102,0726852	102,0253448	102,049015	21,5542202	2,0006646	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
484	98,53536224	99,0039444	98,06678009	98,53536224	21,54605293	3,0008816	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
485	75,6444149	141,5485992	9,74023056	75,6444149	21,62578583	0,1616405	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
486	18,82333279	26,68652534	10,96014023	18,82333279	21,60712242	1,0018215	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
487	80,22351074	143,5901184	16,85690308	80,22351074	21,61711311	2,0020385	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
488	11,08977795	12,67874146	9,500814438	11,08977795	21,61536789	3,0022545	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
489	125,0323792	125,6003189	124,4644394	125,0323792	21,63662338	0,1579939	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
495					21,44094849	2,0097268	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
496	13,70325899	15,57709694	11,82942104	13,70325899	21,45477295	3,0099428	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
497	19,96976185	19,53561783	20,40390587	19,96976185	21,47248268	0,1474522	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
498	21,80189133	19,98907661	23,61470604	21,80189133	21,46800423	1,0076382	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
499	22,38848972	21,42909622	23,34788322	22,38848972	21,69753647	2,0078542	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
500	21,78090382	20,2717514	23,29005623	21,78090382	21,55023003	3,0080712	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop

501	16,141469	17,40592384	14,87701416	16,141469	21,53189087	0,1607913	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
502	15,20119572	16,22266388	14,17972755	15,20119572	21,54102707	1,0009733	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
503	15,32319593	16,1033783	14,54301357	15,32319593	21,51833153	2,0011893	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
504	14,1315608	15,52579308	12,73732853	14,1315608	21,66947746	3,0014063	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
505	20,72468853	26,11956024	15,32981682	20,72468853	21,58496475	0,1511081	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
506	22,08764219	30,24138832	13,93389606	22,08764219	21,57922173	1,0112941	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
507	16,31987715	19,01293755	13,62681675	16,31987715	21,55630684	2,0115101	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
508	16,17115641	18,32536697	14,01694584	16,17115641	21,55517006	3,0117261	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
509	21,11186314	22,01078033	20,21294594	21,11186314	21,58361435	0,142433	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
510	20,41518116	22,07860565	18,75175667	20,41518116	21,58273506	1,002619	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
511	17,73914814	17,17391205	18,30438423	17,73914814	21,5737896	2,002836	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
512	17,69795227	18,49667168	16,89923286	17,69795227	21,5737896	3,003052	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
513	23,25966167	24,71150017	21,80782318	23,25966167	21,63276482	0,1507836	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
514	24,63102245	25,63791466	23,62413025	24,63102245	21,63276482	1,0109696	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
515	25,32509518	25,72469521	24,92549515	25,32509518	21,50382233	2,0111866	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
516	22,67276573	24,25228882	21,09324265	22,67276573	21,67941856	3,0114026	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
517	19,52555466	19,78437424	19,26673508	19,52555466	21,63200569	0,1561339	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
518	19,21652031	19,73282623	18,70021439	19,21652031	21,63200569	1,0163199	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
519	18,27109718	17,66113663	18,88105774	18,27109718	21,61159134	2,0165559	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
520	18,19904041	18,08901215	18,30906868	18,19904041	21,61589622	3,0167529	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
521	21,25301743	25,29024506	17,21578979	21,25301743	21,65297127	0,1427803	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
522	19,5585928	23,35485268	15,76233292	19,5585928	21,65455437	1,0029663	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
523	21,25824261	26,72897339	15,78751183	21,25824261	21,64963913	2,0031823	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
524	19,32913303	23,76899147	14,8892746	19,32913303	21,65103912	3,0033993	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
525	18,68870831	17,50219345	19,87523216	18,68870831	21,51745796	0,1462444	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
526	22,58986664	19,74741173	25,43232155	22,58986664	21,63406944	1,0064304	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
527	18,96331406	18,26091957	19,66570854	18,96331406	21,62140846	2,0066464	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
528	18,18898678	17,48861504	18,88935852	18,18898678	21,61559868	3,0068624	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
529	17,99588108	17,55642509	18,4353707	17,99588108	21,75889969	0,1355839	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
530	17,70538807	16,96854591	18,44223022	17,70538807	21,76143265	1,0137739	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
531	17,57683754	17,33273315	17,82094193	17,57683754	21,76143265	2,0139899	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
532	17,03169632	17,12747765	16,93591499	17,03169632	21,57591057	3,0142059	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
533	18,91452408	19,26342392	18,56562424	18,91452408	21,6555748	0,1519325	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
534	18,92944241	19,91664696	17,94223785	18,92944241	21,6555748	1,0121185	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
535	17,80501175	18,61617661	16,99384689	17,80501175	21,66879272	2,0123345	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
536	17,96553421	17,82123756	18,10983086	17,96553421	21,65354919	3,0125515	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
537	18,27943707	19,20665741	17,35221672	18,27943707	21,73168564	0,1372718	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
538	17,59393501	18,31703568	16,87083435	17,59393501	21,51651382	1,0174618	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
539	17,1365509	17,46591949	16,80718231	17,1365509	21,66069412	2,0176778	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
540	17,17546654	17,54385757	16,8070755	17,17546654	21,67197037	3,0178938	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
541	16,08993816	16,15913582	16,02074051	16,08993816	21,50337029	0,1476086	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
542	16,30022573	17,37769699	15,22275448	16,30022573	21,71213531	1,0077946	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
543	15,5791564	16,98855209	14,1697607	15,5791564	21,71880913	2,0080106	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
544	18,94875097	22,16106606	15,73643589	18,94875097	21,59640884	3,0082266	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
545	19,50496101	20,70576096	18,30416107	19,50496101	21,62364578	0,1371612	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
546	19,47181702	20,16869736	18,77493668	19,47181702	21,61154556	1,0173512	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
547	20,0557518	21,09748077	19,01402283	20,0557518	21,63611412	2,0175682	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
548	19,56306839	20,72555923	18,40057755	19,56306839	21,50621796	3,0177842	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
549	112,5283661	112,4004974	112,6562347	112,5283661	21,64878845	0,1395342	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
550	111,4634247	112,094574	110,8322754	111,4634247	21,6270237	1,0197252	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
551	105,24757	105,5513229	104,9438171	105,24757	21,61294365	2,0199412	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
552	111,2007141	111,4686813	110,9327469	111,2007141	21,61988068	3,0001532	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
553	17,4932003	18,17494965	16,81145096	17,4932003	21,67036057	0,1329253	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
554	17,12640762	17,91505241	16,33776283	17,12640762	21,54351044	1,0131153	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
555	16,56802082	17,42126274	15,7147789	16,56802082	21,65974998	2,0133323	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
556	16,61323977	17,48493004	15,74154949	16,61323977	21,5459671	3,0135483	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
557	16,0807519	16,45706749	15,7044363	16,0807519	21,58215523	0,1402618	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
558	18,70881176	21,24914742	16,1684761	18,70881176	21,58215523	1,0004478	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
559	19,30315018	22,19309807	16,41320229	19,30315018	21,58238411	2,0006638	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
560	15,46516705	16,10194969	14,8283844	15,46516705	21,5934124	3,0008798	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
561	17,65146637	17,93744087	17,36549187	17,65146637	21,59558487	0,1396065	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
562	21,26241684	24,52213097	18,00270271	21,26241684	21,59558487	1,0197965	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
563	18,47317886	20,77320671	16,17315102	18,47317886	21,59652901	2,0000085	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
564	19,30776405	22,52376175	16,09176636	19,30776405	21,60811424	3,0002255	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
565	14,34509373	15,01866627	13,67152119	14,34509373	21,61218643	0,1289552	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
566	14,0851593	14,13322353	14,03709507	14,0851593	21,59282112	1,0091452	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
567	13,57701111	14,37983513	12,77418709	13,57701111	21,59525681	2,0093622	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
568	13,82389307	14,52867508	13,11911106	13,82389307	21,60983467	3,0095782	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop

Keskihajonta 36,95000327

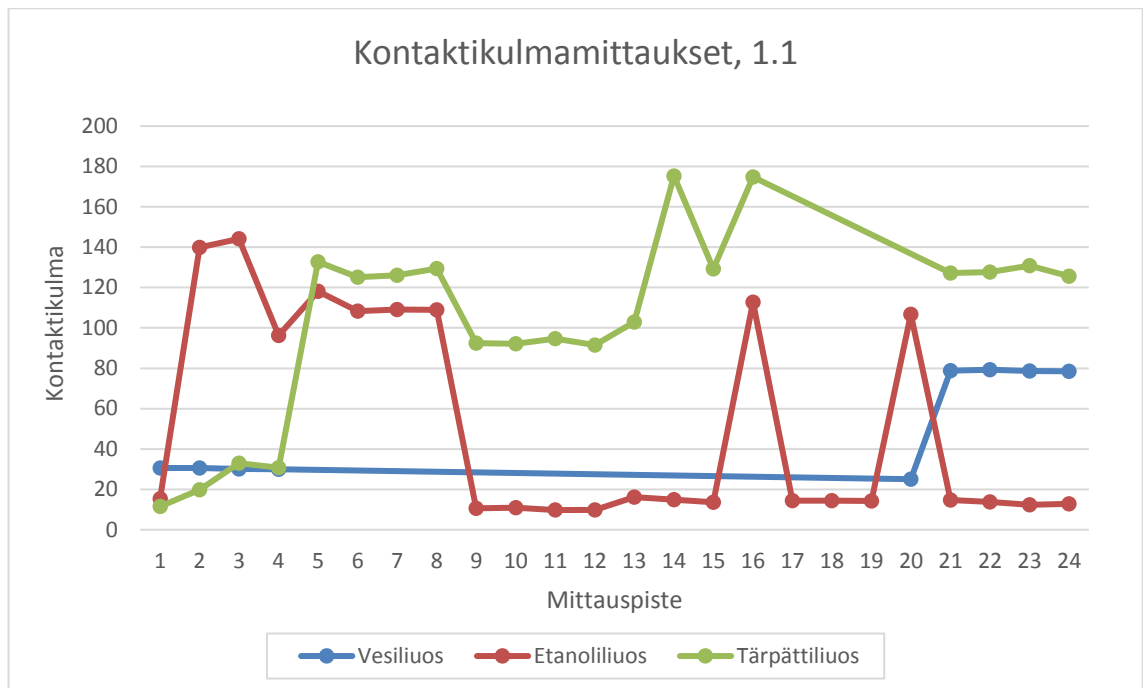
TAULUKKO 6. Tärpätiliuos

Step number	Kontaktikulma (M) [°]	Kontaktikulma (L) [°]	Kontaktikulma (R) [°]	Keskivarto	Lämpötila [°C]	Aika [s]	Metodi	Tyyppi
569	11,52250004	12,09626675	10,94873333	11,52250004	21,71477127	0,1837391	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
570	19,74761105	20,23457527	19,26064682	19,74761105	21,71477127	1,0039161	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
571	33,01229477	22,63918686	43,38540268	33,01229477	21,69037056	2,0041331	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
572	30,78311634	43,9683075	17,59792519	30,78311634	21,68341637	3,0043491	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
573	132,73703	131,9449615	133,5290985	132,73703	21,78129959	0,1905041	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
574	125,169632	125,4970779	124,842186	125,169632	21,76358223	1,0106821	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
575	126,0899811	126,2053223	125,9746399	126,0899811	21,76271057	2,0108981	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
576	129,4982986	130,3300781	128,6665192	129,4982986	21,77938652	3,0111141	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
577	92,47359848	92,21062469	92,73657227	92,47359848	21,69744301	0,2020491	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
578	92,06870651	91,83100891	92,30640411	92,06870651	21,71625519	1,0022221	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
579	94,73912048	93,90880585	95,56943512	94,73912048	21,7136879	2,0024381	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
580	91,44963455	91,07474518	91,82452393	91,44963455	21,70666122	3,0026551	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
581	102,881794	29,51361847	176,2499695	102,881794	21,77174377	0,1886161	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
582	175,3388901	173,5286865	177,1490936	175,3388901	21,58740425	1,0087931	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
583	129,2904968	129,1562958	129,4246979	129,2904968	21,60757828	2,0090091	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
584	174,8325424	173,2475586	176,4175262	174,8325424	21,62062836	3,0092261	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
585					21,67126465	0,1882081	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
586					21,67126465	1,0083861	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
587					21,6956234	2,0086021	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
588					21,71834755	3,0088181	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
589	127,2383957	127,5589523	126,9178391	127,2383957	21,72166061	0,1997701	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
590	127,6235733	127,785202	127,4619446	127,6235733	21,72166061	1,0199481	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
591	130,8734131	131,5244293	130,2223969	130,8734131	21,72097397	2,0001601	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
592	125,557045	125,1940994	125,9199905	125,557045	21,47165871	3,0003761	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
593	17,06104088	20,85766792	13,26441383	17,06104088	21,71808815	0,2034711	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
594	16,75609779	20,24302864	13,26916695	16,75609779	21,71622849	1,0036441	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
595	16,48471403	19,83097649	13,13845158	16,48471403	21,59701347	2,0038601	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
596	13,03763866	13,76746273	12,3078146	13,03763866	21,61647797	3,0040761	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
597	17,36208534	15,94181824	18,78235245	17,36208534	21,6650486	0,2011841	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
598	16,79061604	14,94258118	18,63865089	16,79061604	21,6650486	1,0013571	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
599	17,02751827	16,13122749	17,92380905	17,02751827	21,82965851	2,0015741	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
600	17,41566563	16,16105461	18,67027664	17,41566563	21,60375214	3,0017901	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
601	20,54851627	19,84136581	21,25566673	20,54851627	21,71234322	0,2036771	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
602	19,25832367	20,15135574	18,3652916	19,25832367	21,72088432	1,0038501	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
603	19,51467228	19,55779839	19,47154617	19,51467228	21,71343422	2,0040671	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
604	19,1497221	19,08129501	19,21814919	19,1497221	21,5657711	3,0042831	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
605	18,12821293	17,67013931	18,58628654	18,12821293	21,78302956	0,2011751	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
606	18,65169907	18,71609879	18,58729935	18,65169907	21,78302956	1,0013481	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
607	18,24523067	17,84104729	18,64941406	18,24523067	21,75993347	2,0015641	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
608	28,93820953	33,08813477	24,7882843	28,93820953	21,73591995	3,0017801	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
609	17,68667364	11,15827084	24,21507645	17,68667364	21,66361427	0,2076981	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
610	17,33391619	11,07509708	23,59273529	17,33391619	21,66734314	1,0078711	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
611	20,02603531	11,61758995	28,43448067	20,02603531	21,68217278	2,0080871	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
612	99,11489487	99,23116302	98,99862671	99,11489487	21,68737411	3,0083031	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
613	16,41521454	15,70208931	17,12833977	16,41521454	21,61929703	0,2131431	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
614	16,38465357	15,99272823	16,7765789	16,38465357	21,61929703	1,0133161	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
615	16,60018444	15,67952156	17,52084732	16,60018444	21,61851883	2,0115331	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
616	15,9497323	15,41024685	16,48921776	15,9497323	21,6125946	3,0137491	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
617	28,3251667	33,17212296	23,47821045	28,3251667	21,70844078	0,2076571	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
618	26,3918972	28,96353912	23,82025528	26,3918972	21,70844078	1,0078301	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
619	22,21069622	22,20107651	22,22031593	22,21069622	21,72029877	2,0080461	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
620	22,79858017	23,2735939	22,32356644	22,79858017	21,72186089	3,0082621	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
621	140,0317459	139,7320557	140,3314362	140,0317459	21,81934166	0,2183701	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
622	18,51586246	20,78496933	16,2467556	18,51586246	21,80132675	1,0185431	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
623	135,2753601	136,3475342	134,203186	135,2753601	21,78919411	2,0187601	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
624	18,55223751	20,8828373	16,22163773	18,55223751	21,80071068	3,0189761	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
625	22,55281448	22,28686333	22,81876564	22,55281448	21,56013298	0,2098331	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
626	22,40140438	21,95786858	22,84494019	22,40140438	21,7033329	1,0100061	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
627	22,56537247	22,43316841	22,69757652	22,56537247	21,71859741	2,0102221	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
628	22,39957047	21,79618645	23,00295448	22,39957047	21,73087883	3,0104381	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
629	21,21981621	21,45451355	20,98511887	21,21981621	21,75680542	0,2253041	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
630	21,37952042	21,87358475	20,88545609	21,37952042	21,75211525	1,0054731	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
631	21,41062355	21,72289276	21,09835434	21,41062355	21,63304901	2,0056891	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
632	21,11440277	21,66664886	20,56215668	21,11440277	21,77314568	3,0059061	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
633	16,62854815	20,1823082	13,07478809	16,62854815	21,6954937	0,2307801	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
634	16,70826674	20,76174545	12,65478802	16,70826674	21,88683891	1,0109491	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
635	16,72072124	20,99639702	12,44504547	16,72072124	21,67839813	2,0111651	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
636	16,21138	19,34165382	13,08110619	16,21138	21,66401291	3,0113811	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
637	20,44976044	20,110075	20,78944588	20,44976044	21,72441101	0,2162381	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
638	20,25689793	19,2919445	21,22185135	20,25689793	21,72441101	1,0164111	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
639	20,54032421	19,84603119	21,23461723	20,54032421	21,74798775	2,0166281	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
640	19,51863003	19,32462883	19,71263123	19,51863003	21,72635078	3,0168441	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
361	124,3262901	124,1860352	124,4665451	124,3262901	21,32569122	0,0282623	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
362	123,1097107	123,572113	122,6473083	123,1097107	21,34807205	1,008835	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
363	117,7842598	118,2364349	117,3320847	117,7842598	21,3299427	2,009051	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
364	7,473971128	7,500772476	7,447169781	7,473971128	21,31459808	3,009268	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
365	116,739109	116,2733231	117,204895	116,739109	21,46472359	0,027896	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
366	117,6724548	117,4427261	117,9021835	117,6724548	21,45972061	1,008108	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
367	116,8478737	116,8889847	116,8067627	116,8478737	21,30819321	2,008324	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
368	116,9423103	116,6406174	117,2440033	116,9423103	21,29838753	3,00854	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
369	109,811245	109,8158875	109,8066025	109,811245	21,31287384	0,020948	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
370	112,4398766	112,0582886	112,8214645	112,4398766	21,31546783	1,00116	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
371	112,2581635	113,0043182	111,5120087	112,2581635	21,32959175	2,001376	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
372	110,603363	111,6208878	109,5858383	110,603363	21,31145477	3,001592	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop

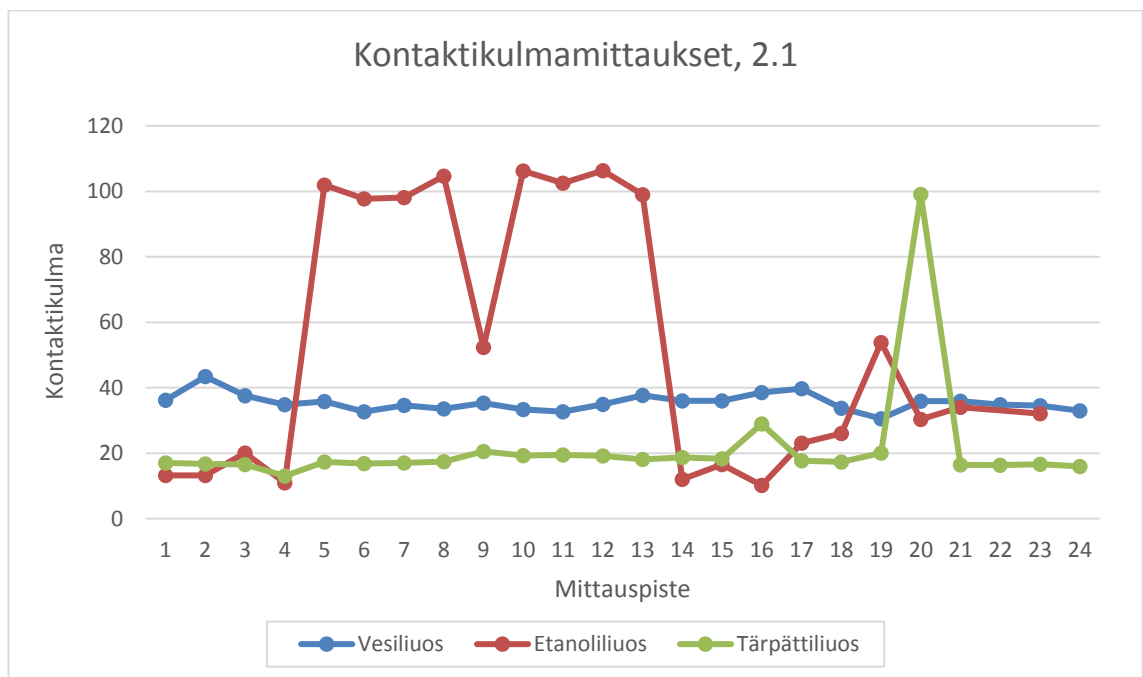
373	116,508461	116,7193832	116,2975388	116,508461	21,38500595	0,028982	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
374	111,3808403	111,8468933	110,9147873	111,3808403	21,38500595	1,009194	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
375	111,4623146	111,899498	111,0251312	111,4623146	21,37705612	2,00941	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
376	115,1777496	116,1658783	114,189621	115,1777496	21,35536194	3,009627	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
377	115,4011078	115,7218018	115,0804138	115,4011078	21,32717323	0,035077	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
378	106,7020645	107,2411423	106,1629868	106,7020645	21,32542801	1,015289	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
379	111,5347633	112,2348328	110,8346939	111,5347633	21,30194855	2,015506	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
380	112,7193794	113,7140427	111,7247162	112,7193794	21,31167793	3,015722	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
381	117,6813679	175,7734833	59,58925247	117,6813679	21,31484222	0,038125	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
382	109,6841278	110,0661163	109,3021393	109,6841278	21,29267693	1,018337	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
383	111,892437	112,3211441	111,4637299	111,892437	21,31100082	2,018553	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
384	112,842659	113,0601196	112,6251984	112,842659	21,30732727	3,018769	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
385	123,9079361	123,9653625	123,8505096	123,9079361	21,40165901	0,016343	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
386	119,7245026	120,4796524	118,9693527	119,7245026	21,38858986	1,01656	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
387	126,4687538	127,5598602	125,3776474	126,4687538	21,3671875	2,016776	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
388	124,9422188	124,6987152	125,1857224	124,9422188	21,35334587	3,016992	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
389	121,6180687	122,0159073	121,2202301	121,6180687	21,37401009	0,0194471	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
390	112,7702713	112,8804169	112,6601257	112,7702713	21,38650322	1,0196641	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
391	120,0157013	120,907486	119,1239166	120,0157013	21,38650322	2,0198801	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
392	120,0684128	120,4911728	119,6456528	120,0684128	21,39310074	3,0000921	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
393	112,7528076	113,2562103	112,2494049	112,7528076	21,39829826	1,0156275	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
394	111,9510231	112,2692032	111,632843	111,9510231	21,3885746	1,0158435	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
395	118,984642	118,9607849	119,0084991	118,984642	21,28013802	2,0160595	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
396	114,5636787	115,7292557	113,3981018	114,5636787	21,40291214	3,0162755	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
397	115,1344223	115,2542725	115,0145721	115,1344223	21,43374443	0,0058013	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
398	114,9948235	115,7329865	114,2566605	114,9948235	21,42476273	1,0060173	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
399	118,4225731	118,6775513	118,1675949	118,4225731	21,40390968	2,0062343	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
400	120,1104584	119,873024	120,3478928	120,1104584	21,41127777	3,0064503	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
401	124,3330116	123,8439789	124,8220444	124,3330116	21,30944443	0,0058213	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
402	121,9790916	122,2986679	121,6595154	121,9790916	21,32709503	1,0084483	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
403	125,3587494	124,9851685	125,7323303	125,3587494	21,32709503	2,0086643	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
404	118,6443443	118,6176071	118,6710815	118,6443443	21,34189987	3,0088803	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
405	114,6530991	115,1227341	114,1834641	114,6530991	21,42395401	0,0164029	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
406	116,8975868	117,6644821	116,1306915	116,8975868	21,41698456	1,0166199	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
407	116,4471436	117,0070114	115,8872757	116,4471436	21,40543747	2,0168359	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
408	116,1154327	116,3089828	115,9218826	116,1154327	21,39909363	3,0170519	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
409	8,965983152	4,22320509	13,70876122	8,965983152	21,29117775	0,009555	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
410	116,0010147	116,0304565	115,9715729	116,0010147	21,29936218	1,009771	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
411	115,3723373	115,0673904	115,6772842	115,3723373	21,29371452	2,009987	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
412	111,2546806	111,6807175	110,8286438	111,2546806	21,29698944	3,010203	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
413	111,6668892	112,0451965	111,2885818	111,6668892	21,26137543	0,0147333	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
414	113,7074585	113,676918	113,737999	113,7074585	21,26166725	1,0149493	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
415	109,5880775	109,5471268	109,6290283	109,5880775	21,27464104	2,0151653	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
416	109,4678726	109,5111008	109,4246445	109,4678726	21,29532051	3,0153813	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
417	113,9089737	113,7253265	114,0926208	113,9089737	21,28399849	0,0028979	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
418	117,0262947	117,0827408	116,9698486	117,0262947	21,27908707	1,0031139	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
419	111,6840324	111,9993668	111,3686981	111,6840324	21,29880142	2,0033299	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
420	111,6039009	111,3387222	111,8690796	111,6039009	21,28643227	3,0035469	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
421	114,6100044	115,0881805	114,1318283	114,6100044	21,26766205	0,0010795	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
422	115,898262	116,0685272	115,7279968	115,898262	21,28101921	1,0012965	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
423	113,7579498	113,6206284	113,8952713	113,7579498	21,2692318	2,0015125	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop
424	108,9658737	109,1720657	108,7596817	108,9658737	21,26288223	3,0017285	Ellipse (Tangent-1)	Sessile drop

Keskihajonta 46,97892926

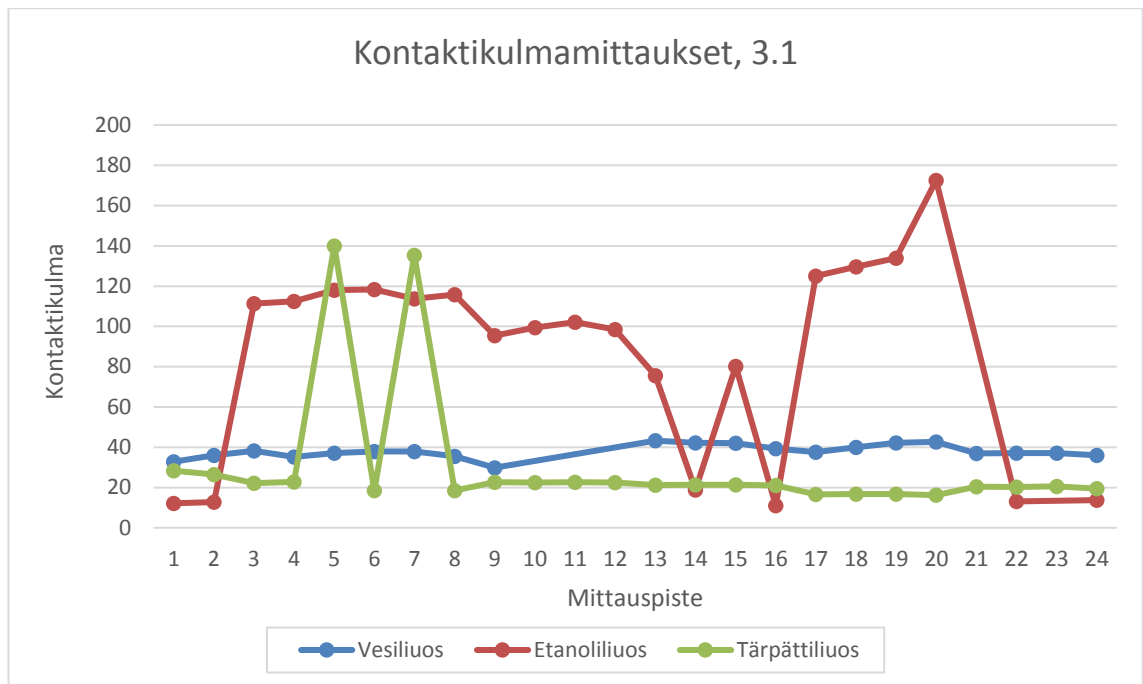
Liite 3. Kontaktikulmamittausten kuvaajat



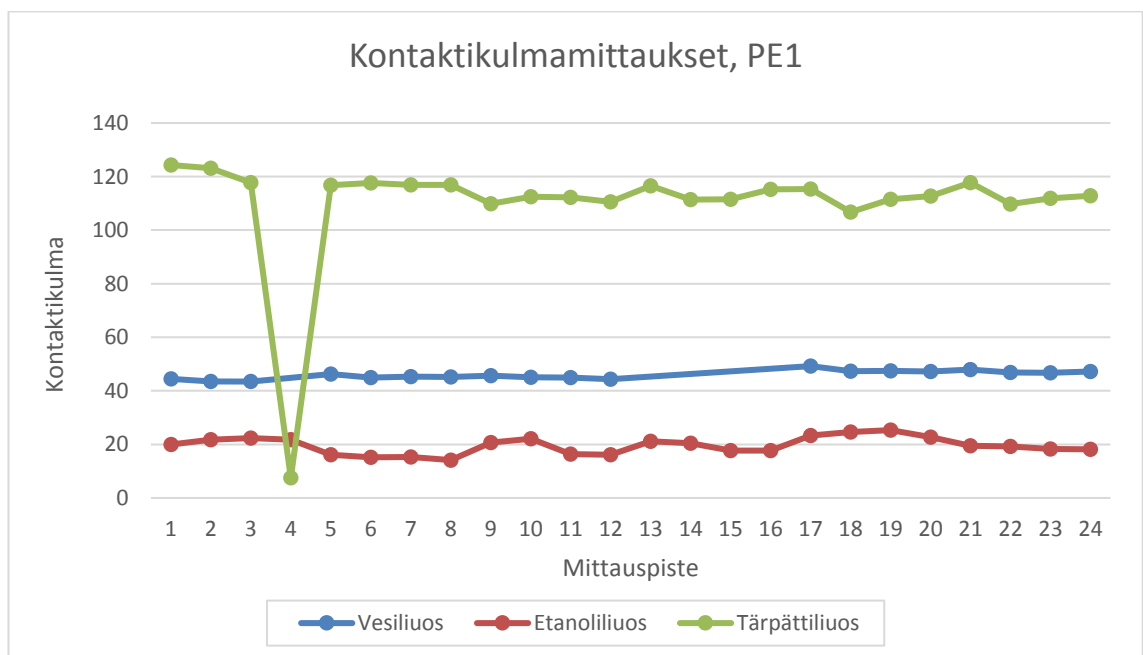
KUVIO 7. Kontaktikulmamittaukset, näytteenä 1.1



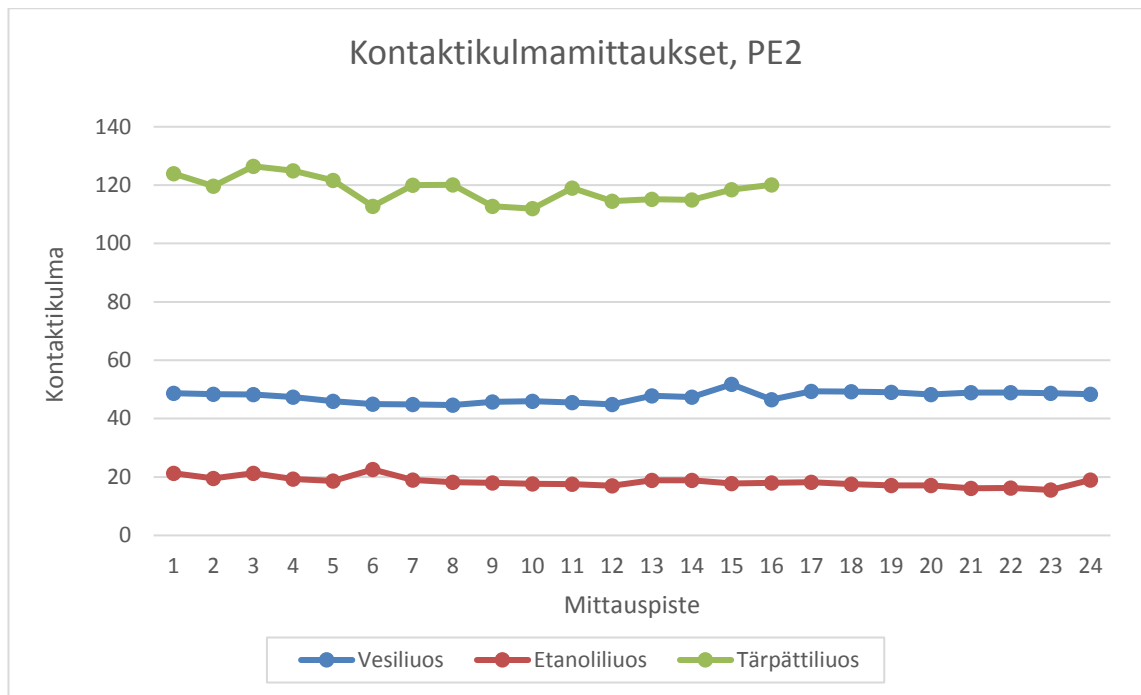
KUVIO 8. Kontaktikulmamittaukset, näytteenä 2.1



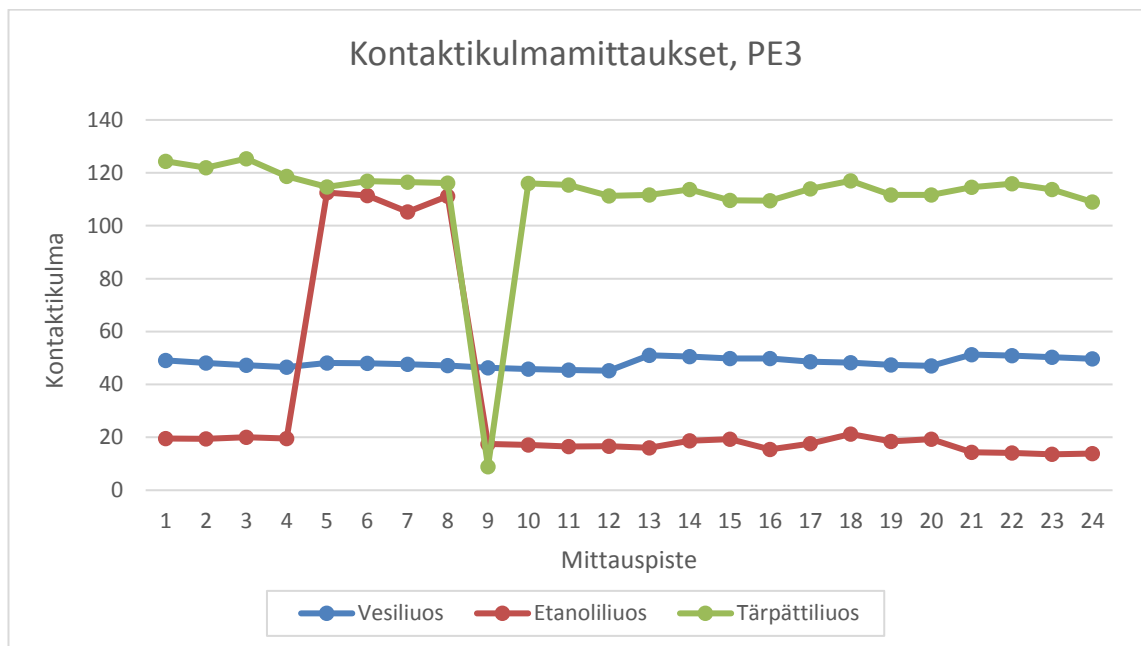
KUVIO 9. Kontaktikulmamittaukset, näytteenä 3.1



KUVIO 10. Kontaktikulmamittaukset, näytteenä PE1



KUVIO 11. Kontaktikulmamittaukset, näytteenä PE2



KUVIO 12. Kontaktikulmamittaukset, näytteenä PE3