

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Puu ja metsätalouden markkinointi

Mika Salo

OPTIMAALISEN SILEYDEN SAAVUTTAMINEN TAGUCHI-MENETELMÄLLÄ

Opinnäytetyö 2009

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puu ja metsätalouden markkinointi

SALO, MIKA JUHANI

Optimaalisen sileyden saavuttaminen Taguchi-menetelmällä

Insinööriyö

40 sivua + 19 liitesivua

Työn ohjaaja

Kauko Mononen

Toimeksiantaja

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Huhtikuu 2009

Avainsanat

koesuunnittelu, murtolujuus, optiset ominaisuudet, sileys, prosessin hallinta

Sellun jauhatusprosessissa tapahtuvien muutosten avulla voidaan vaikuttaa oleellisesti sellukuitujen muodostumiseen paperissa. Työn tarkoituksena on selvittää jauhatusprosessissa tapahtuvien hallittujen säätöjen vaikutus paperin sileyteen. Tärkeimpänä haasteena oli selvittää voidaanko paperin sileyteen vaikuttaa hallitusti kokeellisessa prosessissa.

Työssä on käytetty tapoja, joilla mitataan paperin teknillisiä ominaisuuksia. Näiden ominaisuuksien tarkastelun avulla voidaan pitää saavutettuja tuloksia luotettavina sekä vertailukelpoisina prosessiteollisuuden mittauksiin. Työssä on käytetty Taguchi-menetelmää jonka avulla voidaan optimoida tulos pitämällä koemäärää suhteellisen pienenä. Kokeessa on käytetty myös Minitab-laadunhallintaohjelmaa.

Tulosten analysointiin on käytetty tilastotieteeseen perustuvia menetelmiä, joten tuloksia voidaan pitää luotettavina. Tuloksien perusteella voidaan hyvinkin pitää koetta onnistuneena ja prosessin hallituilla säädöillä voidaan vaikuttaa ulostuloon. Puu kuitenkin vaihtelee hyvin paljon laadullisesti ja koe on suoritettu yksinkertaisella laitteistolla, joten tuloksiin pitää suhtautua varauksella. Johtopäätöksiä tehtäessä on kuitenkin selluaineksen epähomogeenisuus ja koetilojen laitteisto otettu huomioon.

ABSTRACT

KYMENLAAKSO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Wood and forest product marketing

SALO, MIKA JUHANI

Bachelor`s thesis

Missioned by

Keywords

Gaining optimal smoothness with Taguchi method

40 pages with 19 pages of appendices

Kauko Mononen

Design of experiment, tensile strength, optical qualities, smoothness, process control

With changes in the process of grinding cellulose we can affect to formation of cellulose in paper. Idea of this experiment is to find out of controlled adjustments affects to paper smoothness. The most biggest challenge is to find out that is it possible to affect paper smoothness with controlled adjustments in this design of experiment.

I have used the most common ways to measure papers technical qualities. With observing these qualities can be assure that the results are reliable and comparable to measurements in paper process industries. Taguchi method is used in this experiment with keeping the result exact with small amount of experiments. Also Minitab quality control program is used in this experiment.

With analyzing results have been used tools which are based to a statistics. Results are reliable. With gathered results the test is a success and with controlled adjustments we can affect to output. Wood is a very variable material and the machinery is simple so the results must be handled with caution. When I made the conclusion I have considered the variation of cellulose material and the machinery of process in conclusions.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	1
1.1. Tutkimustavoite	1
1.2. Tausta.....	1
1.3. Työn tavoitteet.....	2
2. SELLUN VALMISTUS.....	2
2.1. Massan valmistus ja työvaiheet ennen kuivatusta	3
2.2. Tukkien käsittely	3
2.3. Haketus	3
2.4. Keittoprosessi	3
2.5. Hapetus	4
2.6. Massan pesu.....	4
2.7. Massan lajittelu.....	5
2.8. Massan valkaisu.....	5
3. MASSAN KUIVATUS JA VARASTOINTI.....	6
3.1. Kuivatus.....	6
3.2. Varastointi	6
4. SELLUN JAUHATUS LABORATORIOSSA	7
4.1. Yleistä.....	7
4.2. Jauhatus ja kuivaus	7
5. JAUHATUSASETUKSET JA NIIDEN VAIKUTUS ARKKITUOTTEESEEN	7
5.1. Jauhatuskuorma	7
5.2. Jauhatuslämpötila	8
5.3. Jauhatusaika.....	8
5.4. Jauhatuksen pH.....	8
5.5. Massan sakeus	8
5.6. Massalaatu	9
5.7. Vetyxidokset	9
6. TILASTOLLISET MENENETELMÄT	9
6.1. Taguchi-menetelmä	9
6.2. Ortogonaalimatriisit.....	10
6.3. Tilastollinen prosessin ohjaus (SPC= Statistical Process Control).....	10

6.4. Prosessin ohjauskortit	11
7. TYÖSSÄ SUORITETUT KOKEET	11
7.1. SR luku (Shopper-Riegler)	12
7.2. Sileys (PPS)	12
7.3. Lujuudet.....	12
7.4. Valkoisuus ja opasiteetti	12
7.5. Formaatio.....	12
7.6. Taguchi -menetelmä	13
8. TULOSTEN TARKASTELU	14
8.1. Sileyden mittaus.....	14
8.2. Lujuuskoe	19
8.3. Opasiteetti ja vaaleus	24
8.4. SR-luku	28
8.5. Formaatio.....	29
9. TAGUCHI-KOE	33
Tulosten perusteella valitut asetteet ja estimaatti.	35
10. KONFIRMAATIOKOE	35
10.1. Varmistuskokeen tulokset.....	36
10.2. SR- luku	36
10.3. Sileyden mittaus.....	36
10.4. Lujuuskoe	37
10.5. Opasiteetti ja vaaleus	38
10.6. Formaatio.....	39
11. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	40
Lähteet.....	41

LIITTEET:

- Liitteet 1-4 Sileyksien ohjauskortit
- Liitteet 5-8 Lujuusmittausten kuvaajat
- Liitteet 9-12 Opasiteetin ja vaaleuden kuvaajat
- Liitteet 13-16 Kuituformaation kuvaajat
- Liite 17 Taguchi-kokeen taulukot
- Liitteet 18-19 Konfirmaatiokokeen kuvaajat

1. Johdanto

1.1. Tutkimustavoite

Sellun jauhatus on erittäin monimuotoinen prosessi eikä sen optimoiminen ole helppoa. Työn tarkoituksena on optimoida jauhatusprosessia, jotta voidaan vaikuttaa hallitusti paperin sileyteen. Paperin sileyden on erittäin tärkeä tekijä paperin teknillisiä ominaisuuksia tarkasteltaessa. Tavoitteena myös tutkia Taguchi-menetelmän avulla tehtyä koetta.

1.2. Tausta

Sellun jauhatusprosessi on erittäin vaikeamuotoinen prosessi, johon vaikuttaa monet tekijät. Laadullisesti jauhatusprosessin pitää olla tarkka jotta voidaan vaikuttaa oleellisesti kuitujen muodostumiseen paperiradalla. Formaation eli pohjan muodostus paperille on erittäin tärkeä suure, jota täytyy mitata. Yhtenä mittaustapana voidaan pitää sileyden mittaamista. Pinnan sileyden vaikutus paperin ajettavuuteen ja painettavuuteen on merkittävä ja sitä voidaan pitää sitä laadullisesti merkittävänä tekijänä.

Paperin sileydellä on merkittävä vaikutus paperin laatuun, mutta myös muut paperitekniset ominaisuudet, kuten lujuus sekä optiset ominaisuudet vaikuttavat. Nämä tärkeimmät tekijät ovat mitattavissa ja laadullisesti arvioitavissa.

Jauhatusprosessilla on merkittävä osuus paperin valmistuksessa ja se on vaikeasti hallittavissa. Hallittavuuteen vaikuttavat aina sellun keittoprosessissa tapahtuneet muutokset sekä itse jauhatusprosessin tekijät. Kokonaiskuvaa voidaankin pitää sellun valmistuksesta erittäin vaikeana ja muuttavana prosessina. Puuaines on vaihtelevaa ja jakautuu laadullisesti vaikeasti mitattavaksi. Kuitenkin sellun jauhatusprosessi on hyvin yksinkertainen, mutta eroja tulee raaka-aineen vaihtelevuuden takia.

Sellun keiton ja jauhatusprosessin jälkeiset tapahtumat ovat vielä hallittavissa, mutta pohjan eli formaation muodostuminen paperikoneella vaikuttaa oleellisesti lopputulokseen. Siksi juuri tässä työssä tarkastellaan pääosin sileyden ja formaation muutoksia. Työssä ei suinkaan unohdeta muita tärkeitä elementtejä paperin mittauksessa.

1.3. Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää voidaanko jauhatusprosessissa olevien tekijöiden avulla vaikuttaa hallitusti paperin ominaisuuksiin. Työssä on tarkasteltu laboratorion mittalaitteiden antamia tuloksia ja niiden avulla analysoitu tekijöiden vaikutukset lopputulokseen.

Koesuunnittelun päätarkoituksena on selvittää selluarkille parhaat mahdolliset jauhatusasetukset, jotta selluarkin sileyden saadaan mahdollisimman hyväksi. Sileyden mittaamisen avulla voidaan arvioida tuotteen ajettavuutta, painettavuutta ja formaatiota. Selluarkeista mitataan myös lujuuDET sekä optiset ominaisuudet ja tarkkaillaan optiikan avulla myös kuituformaatiota. Mittaukset ja jauhatus suoritetaan Kymenlaakson ammattikorkeakoulun tiloissa. Kokeeseen valittiin ne tekijät, joilla on suurin vaikutus massojen kuidun käyttäytymiseen jauhatusprosessissa.

Kokeessa käytettiin koesuunnittelua, joka perustuu monimuuttujatekniikkaan. Kokeessa käytettiin Taguchi-menetelmää jonka avulla voidaan parantaa tulosta hallitsemalla muuttujia. Kokeessa on myös tarkasteltu prosessia spc:n avulla, mutta ei arvioitu prosessin hallittavuutta spesifikaatorajoilla. Suunnitelman apuna on käytetty myös Ishikawa-diagrammia, jotta voidaan tunnistaa tulokseen vaikuttavat tekijät. Ishikawa-diagrammi perustuu tekijöiden erotteluun ja tunnistamiseen. Tekijöiden vaikutukset heijastuvat suoraan ulostuloon.

Työ antaa erittäin tarkan kuvan prosessin tapahtumista ja siitä kuinka voidaan hallitusti säätämällä parametreja vaikuttaa lopputulokseen.

2. Sellun valmistus

Sellun valmistus on erittäin monivaiheinen kokonaisprosessi, joka alkaa puun käsittelystä ja loppuu massan varastointiin tai loppukäyttöön. Massan valmistus voi tapahtua monella eri tavalla, mutta seuraavassa esitetään massan valmistus pääpiirteittäin. Prosessi alkaa puun käsittelystä, jota seuraa hakkeen valmistus. Haketusprosessin jälkeen valmistetaan hioke, hierre tai kemimekaaninen massa. Vaihtoehtona myös sulfaattikeitto. Keittoprosessin jälkeen massa hapetetaan. Hapetusvaiheen jälkeen massa pestään ja lajitellaan. Massa voidaan valkaista ja sen jälkeen tapahtuu massan kuivatus ja varastointi. Valmis massa voidaan toimittaa asiakkaalle valmiina paaleina. Massa voidaan ajaa myös suoraan massatorneihin josta se johdetaan paperikoneelle.(1,38-39)

2.1. Massan valmistus ja työvaiheet ennen kuivatusta

2.2. Tukkien käsittely

Kaikki massan valmistusprosessit edellyttävät puun kuorintaa. Kuorijae sisältää vain vähän hyödyllisiä kuituja, ja se kuluttaa kemikaaleja keitto- ja valkaisuprosesseissa sekä aiheuttaa roskaisuutta. Kuorinnan puhtausaste riippuu massa valmistusmenetelmästä ja lopputuotteesta . (1,24.)

2.3. Haketus

Sellun valmistuksessa haketus on välttämätöntä puun pilkkomiseksi niin pieniksi palasiksi, että keittoliuos pystyy imeytymään puun sisään joka kohtaan ja reagoimaan puussa olevan ligniinin kanssa. Näin luodaan keitossa sellaiset olosuhteet, että kuidut erottuvat toisistaan ja soveltuvat raaka-aineeksi paperin ja kartongin valmistukseen.(1,30.)

2.4. Keittoprosessi

Sulfaattikeiton tarkoituksena on poistaa ainakin osittain puukuituja toisiinsa sitova ligniini. Se on keskittynyt välilamelliin ja sekundääriseiniin. Keitto tapahtuu voimakkaasti alkalisella

liuoksella. Puuraaka-aineen käytetään pääosin mäntyä, kuusta ja koivua, havu- ja lehtipuut keitetään erikseen. Keittoon tuleva puuaines on kuorittu ja haketettu. Kuoriaines kuluttaa paljon valkolipeää ja vaatii lisäksi tehokkaan lajittamon sekä talteenottolinjan. Keittimen lämmitykseen käytetään joko suorasti tai epäsuorasti.

Valkaistaville massalaaduille on kehitetty ligniiniä poistava happivaihe, mutta tietyillä valkaisuomattomilla massalaaduilla, joiden ligniinipitoisuus jää suuremmaksi, on massa kuidutettava levyjauhimilla.

Puusta irtoaa keitossa raakatärpättiä, raakasuopaa ja haisevia orgaanisia yhdisteitä. Raakatärpätti eroaa kaasuna, ja se lauhdutetaan nestemäiseen muotoon. Raakasuopa eroaa mustalipeästä keiton jälkeen lipeäsäiliössä. Mäntysuopa keitetään hapolla mäntyöljyksi. Keitosta vapautuu lämpöä, joka pyritään ottamaan talteen. Mitä modernimpi laitos on, sen paremmin lämmön talteenotto on järjestetty. Väkevät hajukaasut poltetaan meesauunissa ja laimeat syötetään soodakattilan tertiääri-ilman joukkoon. Talteenottolinja valmistaa mustalipeästä valkolipeää ja tuottaa samalla lämpöenergiaa yli oman tarpeen.(1,75.)

2.5. Hapetus

Happi on perustilassaan lievä hapetin. Kun happimolekyyli reagoi, se pelkistyy eri vaiheiden kautta vedeksi ($O_2 \rightarrow H_2O_2 \rightarrow H_2O$). Ligniiniipitoisuutta voidaan vähentää 40-50% ilman että lujuusominaisuudet heikkenevät merkittävästi.

Happidelignifointi on ollut teollisesti käytössä 25 vuoden ajan. Kehitystyö jatkuu edelleen. Tiukentuneet päästörajat ja säästö valkaisu kemikaaleissa puoltavat happivaiheen käyttöönottoa. Viime aikoina on siirrytty kaksivaiheisiin happireaktoreihin. Valtaosa uusein laitojen käsittelysakeuksista on keskisakeusalueella (MC 10-15%). Suursakeuskäsittelyn (HC 25-28%) huonoja puolia ovat suuret pääomakustannukset, räjähdysvaara ja massan lujushäviöt.(1, 98.)

2.6. Massan pesu

Keiton jälkeen valmistusprosessin seuraava vaihe on massan pesu. Pesun tarkoituksena on erottaa kuituvirrasta mahdollisimman tarkoin keiton aikana liuennut puuaines sekä keittokemikaalit eli ns. jäteliemi. Jäteliemen erotuksessa on tärkeää, että massa on mahdollisimman puhdasta jatkokäsittelyä varten. lisäksi on tärkeää, että jäteliemi otetaan

tehokkaasti talteen mahdollisimman vähän laimennettuna myöhempää haihdutusta ja polttoa varten. Jäteliemen talteenotto on niin ikään tärkeää kemikaalien uudelleenkäytön, energian kehityksen sekä ympäristönsuojelun vuoksi.

Kiteytettynä pesulla on neljä tavoitetta:

1. Sellun ja keittoliemen erottaminen toisistaan
2. Keittoliemen kemikaalien talteenotto käytettäväksi uudelleen regeneroinnin jälkeen
3. Liunneen puuaineksen talteenotto polttoaineeksi
4. Ympäristöä Likaavien päästöjen eliminointi.

2.7. Massan lajittelu

Massa sisältää keiton jälkeen useita erilaisia epäpuhtauksia, jotka on eroteltava sulpusta, jotta lopputuotteessa päästään haluttuun puhtaustasoon. Epäpuhtauksien erottamista kutsutaan lajitteluksi. Lajittelu tehdään yleensä kahdessa prosessivaiheessa:

- Ruskealle massalle ennen valkaisua
- Valkaistulle massalle jälkivalkaisun jälkeen

Nykyaikaisessa tehtaassa ruskean massan lajittamo sijoitetaan pesuvaiheiden väliin ennen tai jälkeen happikäsittelyyn. Lajittamon jälkeinen saostin toimii yhtenä pesuvaiheena. Lajittamon tarkoituksena on erottaa massasta epäpuhtaudet niin, että primakuituhäviöt ovat mahdollisimman pienet. Viimeaikainen prosessikehitys on vähentänyt lajittamoiden kuormittuneisuutta. Jatkettu keitto eri modifikaatioineen ja tehostunut valkaisu vähentävät lajittelussa rejektoituvaa puupitoista osuutta.

2.8. Massan valkaisu

Valkaisun tarkoituksena on parantaa massan vaaleutta ja puhtautta poistamalla massan värillisiä aineita. Merkittävin väriä aiheuttava aine on jäännösligniini, joka tulee poistaa mahdollisimman tarkoin ja selektiivisesti. Ligniinin väriä voidaan myös vaalentaa, jolloin puhutaan ligniiniä säästävistä valkaisusta. Menetelmää käytetään kuitenkin vain mekaanisten massojen valmistuksessa. Kemialliset massa valkaistaan aina ligniiniä poistavalla tavalla.(1,122.)

Kemiallisten massojen valkaisun voidaan sanoa olevan keiton jatkamista toisilla kemikaaleilla. Keittoprosessissa ja sitä seuraavassa happikäsittelyssä on kuitenkin lopetettava määrättyyn ligniinitasoon, koska muuten hiilihydraattisuus alkaisi myös pilkkoutua. Tästä syystä

loppuligniini on poistettava kalliimmalla, mutta ligniinin suhteen selektiivisimmillä kemikaaleilla. Valkaisu on pyrittävä tekemään niin, että saavutettu massan vaaleustaso myös mahdollisimman hyvin säilytetään. Vaaleustaso, johon sellu on valkaistava, riippuu etupäässä käyttötarkoituksesta. Vaaleustasojen yhteydessä käytetään seuraavanlaisia termejä:

	Vaaleus ISO %
- Valkaisematon mäntysulfaatti	23-28
- Valkaisematon koivusulfaatti	28-31
- Puolivalkaistu mäntysulfaatti	<80
- Vajaavalkaistu	80-87
- Täysvalkaistu koivu ja mänty	88-91

Yli 90 % ISO vaaleustaso on riittävä kaikissa käyttökohteissa. (1,122.)

3. Massan kuivatus ja varastointi

3.1. Kuivatus

Sellutehtailla, joihin liittyy oma paperitehdas, pumpataan sellu pumppumassana suoraan jauhausosastolle, joka edeltää paperikonetta. Jos sellu sitä vastoin on tarkoitus kuljettaa jollekin toiselle paperitehtaalle koti tai ulkomailla, on se ensin kuivatettava. Kuivatuksen tarkoituksena on muodostaa massasulputta kuljetukseen ja varastointiin sopiva tuote. Sen tähden sellu yleensä kuivatetaan niin pitkälle, että sen kuiva-ainepitoisuus on noin 90% (ilmakuiva sellu). Veden kuljettaminen märän massan mukana ei ole taloudellista, ja lisäksi sellun laatu voi kärsiä, koska kosteus altistaa sellun mikro-organismeille.(1,138)

3.2. Varastointi

Kuivatusosan ja massanjäähdyttimen jälkeen raina johdetaan automaattiseen paalauslinjaan, jossa raina leikataan arkkileikkurissa ensin osiin pituussuunnassa leikkuukiekkujen avulla ja sen jälkeen poikkisuuntaa leikkuutelalla halutun kokoisiksi arkeiksi. Arkinlatojalla arkit pinotaan paaleiksi, normaalisti 200kg/ paali. Massa voidaan varastoida myös suoraan rullana. (1,143)

4. Sellun jauhatus laboratoriossa

4.1. Yleistä

Tässä kokeessa on käytetty koeprosessiin suunniteltua jauhinta joka perustuu selluarkkien jauhautumiseen erilaisissa olosuhteissa. Sellun jauhautumiseen voidaan vaikuttaa jauhatuskuorman, lämpötilojen, sellun määrän ja pH:n avulla. Kokeissa voidaan myös käyttää erilaisia sellulaatuja ja jauhatusajan eri pituuksia. Jauhatus on tärkeä vaihe joka vaikuttaa suuresti lopputulokseen paperissa. Erilaisten säätöjen avulla voidaan vaikuttaa paperiarkin laatuun. Menetelmää käytetään erilaisten massalaatujen jauhautumiseen ja niiden tuloksien analysointiin. Selluarkit on muodostettu laboratorioon suunnitellulla arkkimuodostuslaitteella.

4.2. Jauhatus ja kuivaus

Selluarkit imeytetään veteen ja annetaan niiden kyllästyä täydellisesti. Selluarkit jauhetaan halutuilla säädöillä ja niistä mitataan Shopper Riegler luku. Sellumassaa otetaan 150ml ja annostellaan ne arkkimuodostuslaitteeseen. Arkkilaitteessa tapahtuu veden ja massan sekoitus jonka jälkeen poistetaan vesi viiraosan lävitse. Jäljelle jäänyt massa otetaan talteen ja kuivatetaan riippukansiossa

5. Jauhatusasetukset ja niiden vaikutus arkkituotteeseen

5.1. Jauhatuskuorma

Jauhatuskuorman tehtävänä on muodostaa paine veden sellun ja vastakappaleen välille. Kuorman kasvaessa jauhautuminen suurenee ja partikkelien koko pienenee. Jos pidetään pientä jauhatuskuormaa taasen jauhautumisaste pienenee. Yleisimmät käytetyt kuormat laboratoriotiloissa sijoittuvat 3,6 ja 7kg:n välille. Eri puulajit jauhautuvat eri tavalla joten kuorman määrittäminen on hankalaa. Säätely vaikuttaa myös oleellisesti arkin teknillisiin ja optisiin ominaisuuksiin.

5.2. Jauhatuslämpötila

Jauhatuslämpötila vaikuttaa sellukuitujen hajoamiseen, mutta kuten laajalti löytyvissä tutkimuksissa kuumen ja kylmän veden käytön erot ovat kovin pieniä, joten energian säästämiseksi sellua jauhetaan teollisuudessaakin kylmällä vedellä. Säättely vaikuttaa myös oleellisesti arkin teknillisiin ja optisiin ominaisuuksiin.

5.3. Jauhatusaika

Jauhatusaika vaikuttaa sellukuitujen hajoamiseen paljonkin, koska eri puulajeilla on eripituiset ja vahvuiset kuidut. Jauhatusaika pidentämällä jauhatusaste lisääntyy ja aikaa pienentämällä jauhatusaste pienenee. Säättely vaikuttaa myös oleellisesti arkin teknillisiin ja optisiin ominaisuuksiin.

5.4. Jauhatuksen pH

Jauhatukseen ja lopputulokseen voidaan vaikuttaa lisäämällä jauhatukseen NaOH liuosta joka nostaa pH:n emäksisen puolelle. Emäksisyys vaikuttaa taas puukuidun hajoamiseen ja kuitujen irtoamiseen. Säättely vaikuttaa myös oleellisesti arkin teknillisiin ja optisiin ominaisuuksiin.

5.5. Massan sakeus

Massan sakeuden vaihtelu on merkittävä tekijä arkin muodostumiselle ja sen ominaisuuksille. Sakeuden lisääminen vaikuttaa oleellisesti arkin teknillisiin ja optisiin ominaisuuksiin. Massan lisäyksellä arkin neliömassa kohoaa ja opasiteetti vähenee. Säättely vaikuttaa myös oleellisesti arkin teknillisiin ja optisiin ominaisuuksiin.

5.6. Massalaatu

Eukalyptusta käytetään hyvin yleisesti sellun valmistuksessa nopean kasvun ja hyvien ominaisuuksien takia. Eukalyptuspuun kuidut ovat lähestulkoon samanlaiset koivun kanssa. Kuidut ovat lyhyitä ja ne soveltuvat hyvin hienopaperien jatkeeksi. Mäntykuitua käytetään teollisuudessa sen pitkien kuitujen ja kestävyuden takia. Mäntykuitu on erittäin vahvaa, mutta ei taas sovellu hienopaperien valmistukseen. Mäntykuitua käytetään paperi ja kartonkiteollisuudessa vahvikkeena ominaisuuksiensa ansiosta.

5.7. Vetysidokset

Puristus on myös yksi tärkeimmistä tekijöistä paperi ja kartonkiteollisuudessa. Vetysidokset kiinnittyvät toisiinsa ja vedenpoistossa jäljelle jää pieni määrä vettä ja kuitusidosten rakenne on helposti hallittavissa. Myös kuivatukseen tarvittava energiamäärä ei ole niin suuri kun suurin osa vedestä on poistettu puristinosalla. Kokeessa mitattiin puristuksen vaikutusta ja sidosten muodostusta. Käytetty puristuslujuus oli 2 Kn/m^2 .

6. Tilastolliset menetelmät

Tilastolliset menetelmät ovat mukana työssä ja tärkeimpänä pidetään Taguchi-menetelmää. Työssä on käytetty myös tilastollista prosessin ohjausta (SPC) jonka avulla on tarkasteltu prosessin vaihtelua. Työn tulokset ovat esiteltynä erilaisilla graafisilla kuvaajilla. Luvussa on myös käsitelty Taguchi-menetelmän eri vaiheet ja selostettu minkä takia kyseiseen menetelmään päädyttiin.

6.1. Taguchi-menetelmä

Taguchi-menetelmä on tuote- ja prosessisuunnitteluun kehitetty laadun optimointimenetelmä, jolla on samanaikaisesti laatua nostava ja kustannuksia alentava vaikutus. Menetelmä tehostaa kokeellista toimintaa ja kokeista saatavan informaation tulkintaa. Menetelmän on kehittänyt japanilainen tohtori Genichi Taguchi viimeisen 40 vuoden aikana. (2,3.)

Taguchin laatufilosofian perusajatus voidaan kiteyttää seuraavaan neljään kohtaan:

1. Laadun parantaminen ja kustannusten alentaminen samanaikaisesti on mahdollista, kun pienennetään tuotteen ominaisuuksien vaihtelua.
2. Tuotteen ominaisuuksien vaihtelua pienennetään käsittelemällä ohjaus- ja häiriötekijöitä erillisinä niin että tuotteesta tulee robusti: tuote kestää häiriötä
3. Ohjaamalla ja valitsemalla suunnittelijan käytettävissä olevia tekijöitä voidaan sellaisten(häiriö) tekijöiden vaikutukset minimoida, joihin ei voida suoraan vaikuttaa.
4. Tavoitearvo (paras arvo) on vain laatua. (2,7-8.)

Taguchin menetelmä yhdistää kaksi asiaa: insinööritieteen ja tilastotieteen . Tilastotekniikalla ja kokeilla Taguchi hakee tiedon ja soveltaa sitä insinöörimäisesti tavoitteen saavuttamiseksi. (2,12.)

Koesuunnittelussa käytetään ortogonaalimatriiseja ja monimuuttujatekniikkaa jonka avulla voidaan pitää tuloksia luotettavina ja helposti analysoitavina.

6.2. Ortogonaalimatriisit

Ortogonaalimatriisit ovat suhteellisen vanha keksintö: ranskalainen matemaatikko Jaques Hadamard keksi nämä lineaariyhtälöt 1880-luvun lopulla. Kuitenkin vasta toisen maailmansodan jälkeen Plackett, Burman ja erityisesti Taguchi alkoivat soveltaa ja käyttää niitä. (2,54.)

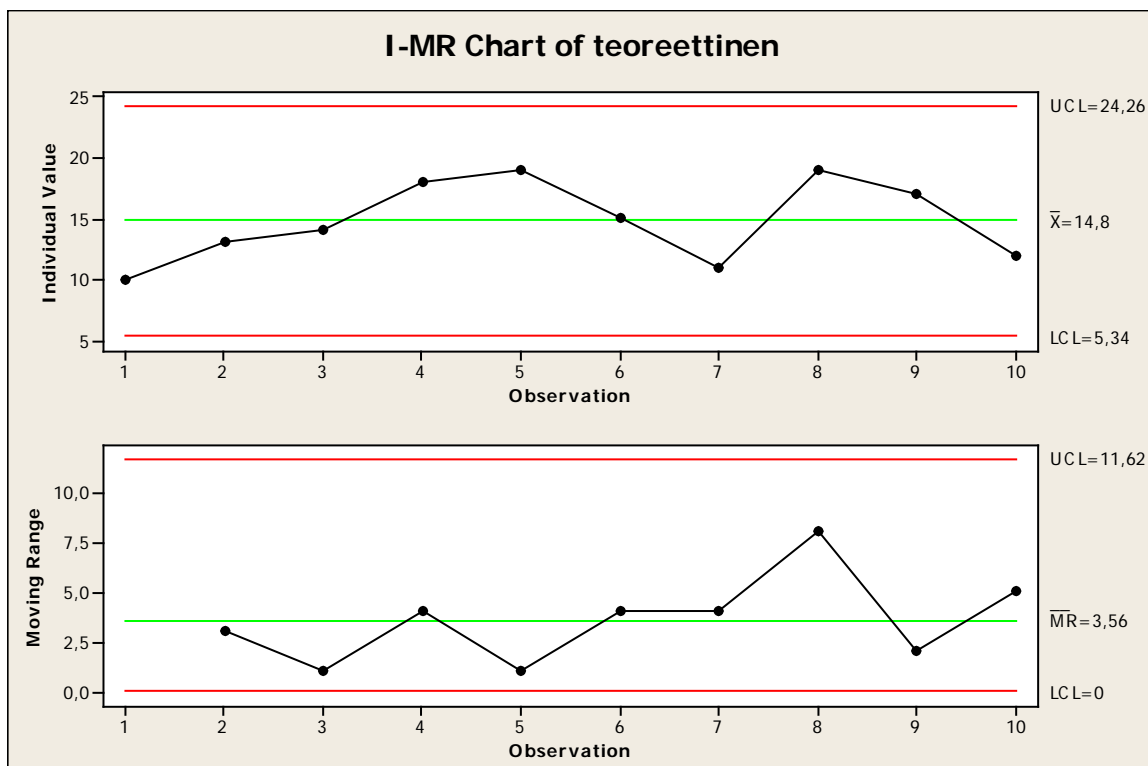
Ortogonaalimatriisien etuna on mm. joustavuus ja kyky käsitellä suurta määrää muuttujia pienellä määrällä kokeita. Kaikkein tärkein syy ortogonaalimatriisien käyttämiseen teollisuudessa on se, että kokeiden tulokset ovat luotettavia ja toistettavia. Normaaleilla koejärjestelyillä kokeiden määrää vähennettäessä myös niiden tuloste luotettavuus kärsii. (2,55.)

6.3. Tilastollinen prosessin ohjaus (SPC= Statistical Process Control)

Kaikissa prosesseissa on luonnollista vaihtelua (satunnaisten syiden aikaansaannos) ja ei-luonnollista vaihtelua (erityissyiden aikaansaannos). Käytämme SPC:tä monitoroimaan ja/tai parantamaan prosessia. Ohjauskortit ovat keino, joiden avulla prosessi ja tuoteparametreja seurataan ja otetaan näytteitä tilastollisesti ajan suhteen. (3.)

6.4. Prosessin ohjauskortit

Moving Range- kortti mahdollistaa muutosten valvonnan ja havaitsemisen prosessin vaihtelussa, kun data on yksittäisiä mittauksia ennemmin kuin alaryhmissä. Liikkuvan vaihteluvälin korttia käytetään estimoimaan sigmaa individuaalidatasta. Koska siinä on ainoastaan yksi mittaus/ryhmä, perättäisten mittausten välinen vaihtelu esittää lyhyen ajan vaihtelua. MR- kortti indikoi muutoksia vaihtelussa kun taas Individuals kortti indikoi muutoksia keskiarvoissa. (3)



Kuva 1. Ohjauskortti (teoreettinen)

7. Työssä suoritettut kokeet

Työssä suoritettiin sarja erilaisia kokeita joilla mitattiin paperin teknillisiä ja optisia ominaisuuksia. Tässä luvussa on käsitelty kokeiden kulku ja suoritettujen kokeiden menetelmät. Kokeita on jokaisessa suoritettu 6 kappaletta eri arkeista.

7.1. SR luku (Shopper-Riegler)

SR- luku on suhteellinen, mittausslaitteen rakenteen kautta määritetty mitta massan suotautumisnopeudelle. Massan SR-luku muodostuu sitä suuremmaksi, mitä nopeammin suotautuminen hidastuu viiralle kertyvän kuitukakun vaikutuksesta, ts, mitä hitaammin massa suotautuu.(4,4.)

7.2. Sileys (PPS)

Valmiit arkit mitattiin Bendtsen sileysmittarilla paineen ollessa 1MPa. Mittaukset suoritettiin SCAN-P 21:67 mukaisesti. Arkkeja mitattiin 6 kappaletta ja niistä laskettiin keskiarvo sekä keskihajonta. Paperin sileys määritetään mittaamalla ilman ilmamäärää paperin ja sen päälle asetetun metallirenkaan välistä. Bendtsen mittari antaa lukemat ml/min.

7.3. Lujuudet

Arkeista mitattiin 6 kertaa myös lujuudet, jotta voitiin tarkastella myös arkin lujuuksien vaihtelua. Arkeista otettiin 15mm liuska joka laitettiin antureiden väliin. Lujuusmittauksesta saatiin monta eri hyödyllistä tietoa kuten $F_{max}(N)$, Lujuus(kN/m), Venymä(%) ja Murtotyö(J/m²).

7.4. Valkoisuus ja opasiteetti

Paperin valkoisuus eli hajasiniheijastusluku mitataan Minolta-mittarilla. Näytteistä otettiin 6 eri mittausta joista laskettiin keskiarvo. Paperin vaaleus ilmoitetaan ISO-vaaleutena.

Vaaleus vaikuttaa painopinnan kontrastiin ja on sen tähden hyvin tärkeä paperin ominaisuus.(4,73.)

Opasiteetti kuvaa paperin kykyä estää sen alla olevan samantyyppisellä paperilla olevan paperin läpinäkymistä. Eli opasiteetti on mustaa taustaa vasten määritetyn yksittäisen paperiarkin valonheijastusluvun suhde saman paperin Y-arvoon.(4,74)

7.5. Formaatio

Formaation analysoimiseen on käytetty Leican mikroskooppia ja formaatiokuvat on otettu 2,5x suurennoksella. Formaation rakenteen tutkiminen on tärkeää lopputuotteen kannalta. Mitä parempi pohjan formaatio sitä parempi lopputuote. Mikroskoopilla arkkien tarkastelu auttaa myös tunnistamaan jauhatuksessa käytetyn puulajin.

7.6. Taguchi -menetelmä

Koesuunnittelun menetelmänä on käytetty Taguchi-menetelmää ja ortogonaalimatriisia. Kokeessa pyrittiin analysoimaan vaikutukset arkin muodostukseen sekä hallittujen säätöjen vaikutus arkin teknillisiin ja optisiin ominaisuuksiin. Tärkeimpänä tarkastelun kohteena oli tässä kokeessa arkin sileys joka korreloi lähes suoraan tuotteen painettavuuteen sekä laatuun.

Kokeessa käytettiin L8 matriisia, jolloin kokeiden määrä oli 8 kpl. Jokaista koetta kohden on otettu 6 näytettä, jolloin näytekappaleita on saatu 48 kappaletta. Jos koe olisi suoritettu ns. OFAT kokeena (one factor at a time) olisi koemäärä ollut 128 (2^7). Ortogonaalimatriisin avulla kokeen määrä pidettiin suhteellisen pienenä ja erittäin luotettavana.

Kokeessa käytettiin näytekappaleina saatuja valkaistuja massoja. Näytekappaleet olivat virheetömiä ja ne tarkastettiin epäpuhtauksien varalta.

Koe suoritettiin laboratoriotiloissa jossa vallitsi normaalit olosuhteet jossa lämpötila oli noin $+23^0$ ja ilman suhteellinen kosteus 50%. Arkit kuivatettiin myös samanlaisissa olosuhteissa.

Taguchi kokeessa käytetyt muuttujat ja tasot ovat esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Taguchi kokeen muuttuja ja tasot

Muuttujat	Taso 1	Taso 2
a. Jauhatuskuorma	a1 = 3,8kg	a2 = 5,2kg
b. Jauhatuslämpötila	b1 = lämmin	b2 = kylmä
c. Jauhatusaika	c1 = 20min	c2 = 40min
d. Jauhatus ph	d1 = neutraali (7)	d2 = Emäksinen (12)
e. Massan sakeus	e1 = 15,7g/l	e2 = 30,3g/l
f. Massat	f1 = mänty	f2 = eucalyptus
g. Märkäpuristus	g1 = ei	g2 = kyllä

Muuttujat ja tasot sijoitettiin matriisitaulukkaan josta selviää prosessin ajotapa sekä muuttujien tasot. Taulukosta 2 selviää ajotapa sekä muuttujien asetearvot.

Taulukko 2. L-8 matriisi

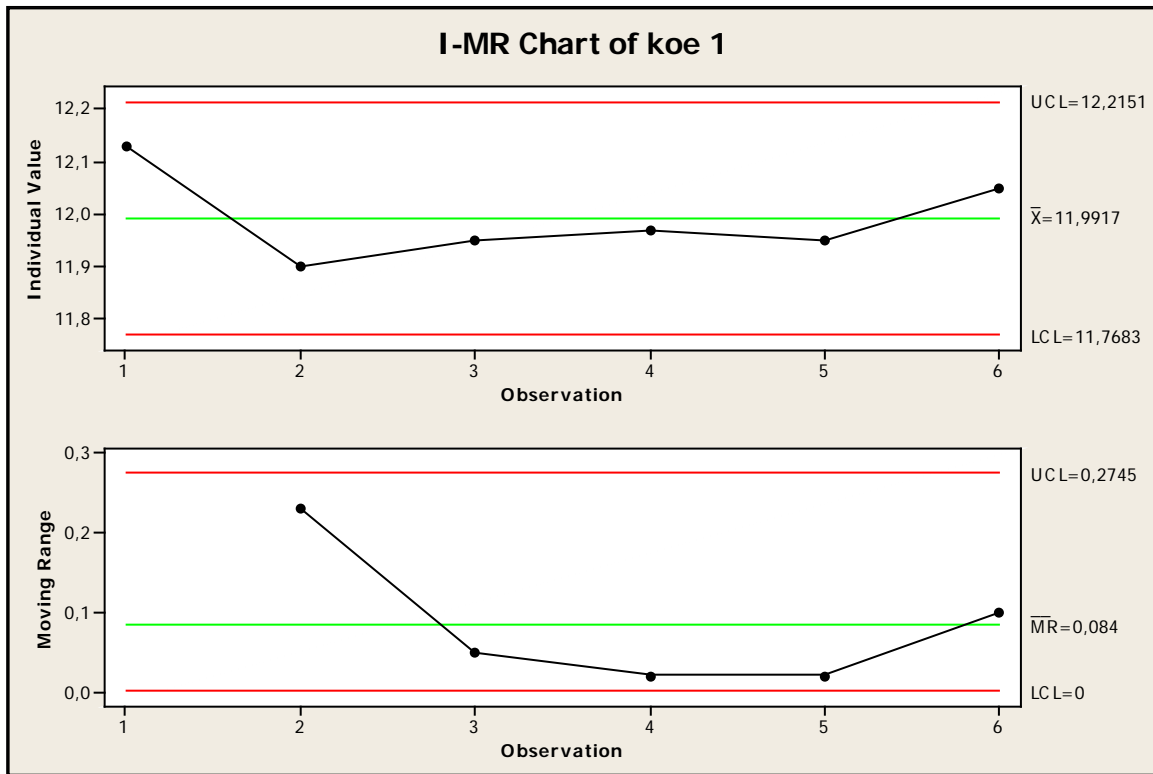
Koenumero	Muuttujan asete						
	a	b	c	d	e	f	g
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

8. Tulosten tarkastelu

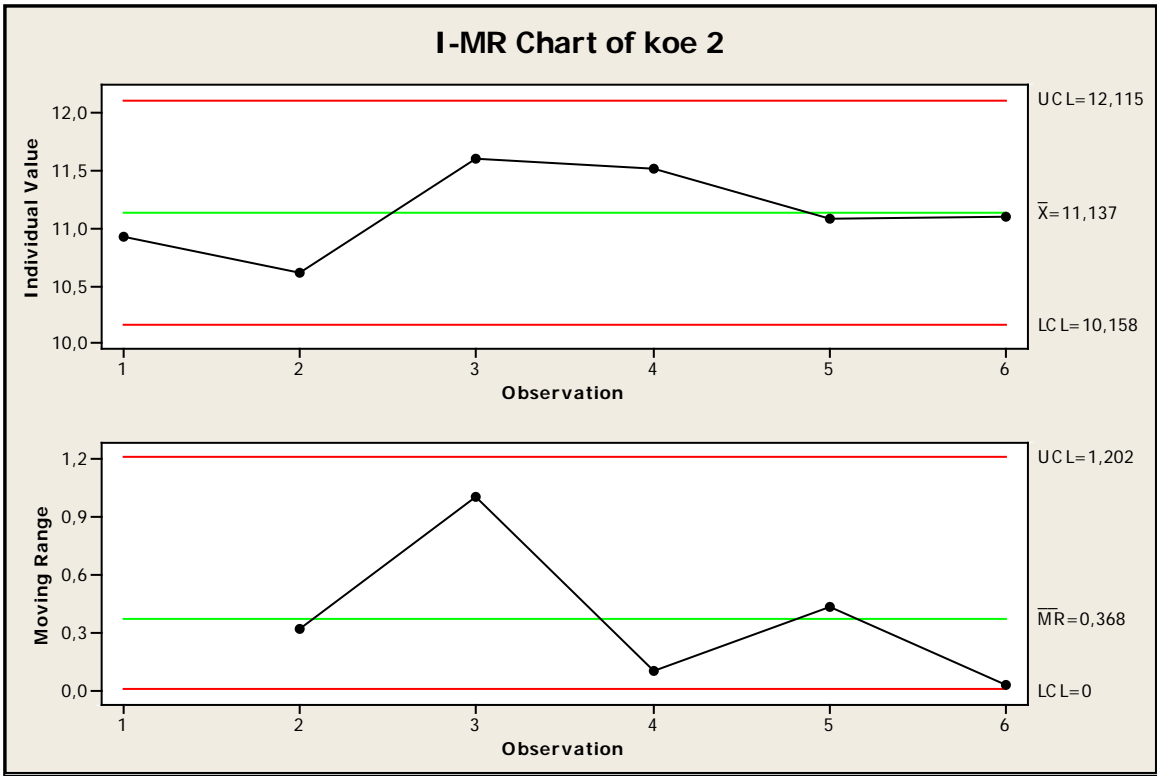
Tässä kappaleessa tutustutaan tarkemmin tuloksiin ja niistä saatuun informaatioon. Tulokset ovat esiteltynä kuvaajien avulla, josta voidaan tarkastella datan määrää ja analysoida koetta. Osa kuvaajista on esitetty tekstin avulla ja osa liitteinä. Tuloksien tarkastelussa otetaan huomioon Taguchi-kokeen konfirmaatiokoe, jonka perusteella optimaalinen ajotapa on löydetty.

8.1. Sileyden mittaus

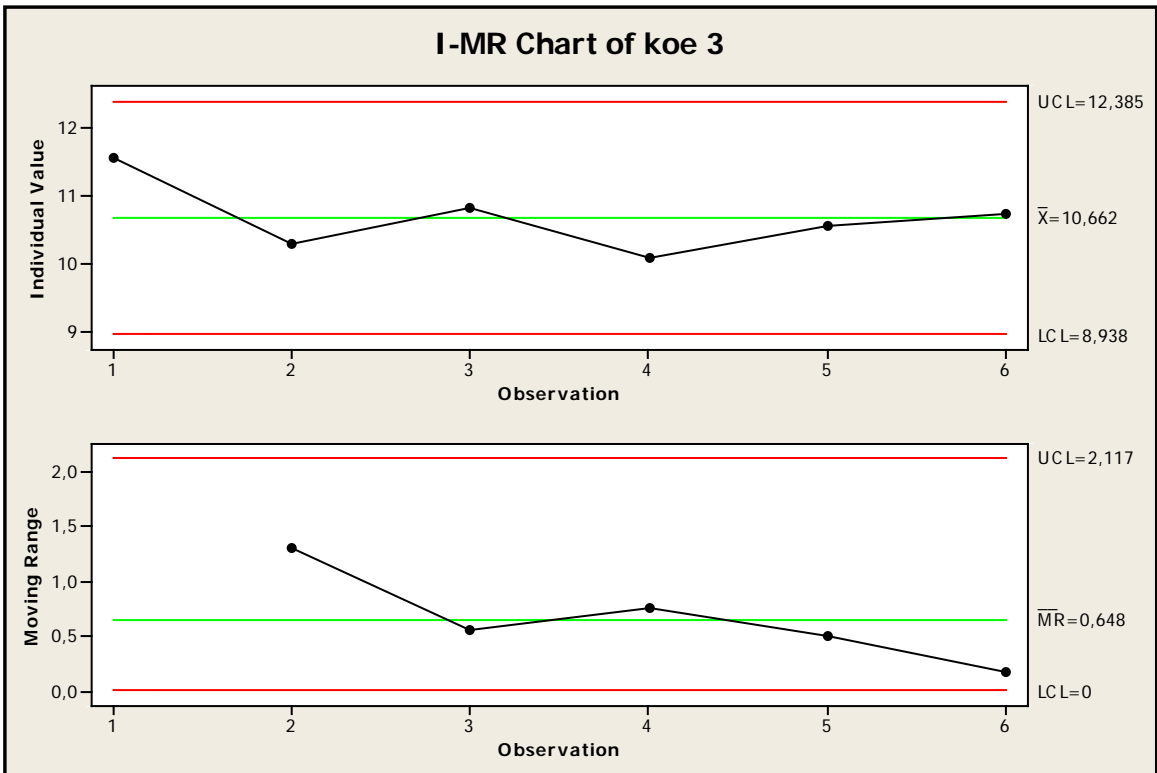
Sileyden jakautumista tarkasteltiin SPC:n avulla. Mittaustulokset on saatu 1 mpa:n paineen vallitessa. Ohjauskortista voidaan helposti havaita mittaustulosten jakautumista. Tässä kokeessa ei ole käytetty toleranssirajoja, joten ei voida sanoa, onko prosessi ohjauksessa vai ei. SPC:tä on käytetty vain tuloksien havainnollistamiseen ja tulkitsemiseen. Jokaisesta näytearkista on otettu 6 kpl mittaustuloksia, jotka näkyvät ohjauskortista. Kuvien 2-10 ohjauskorttien avulla on esitetty kokeiden 1-8 sileyksien tulokset.



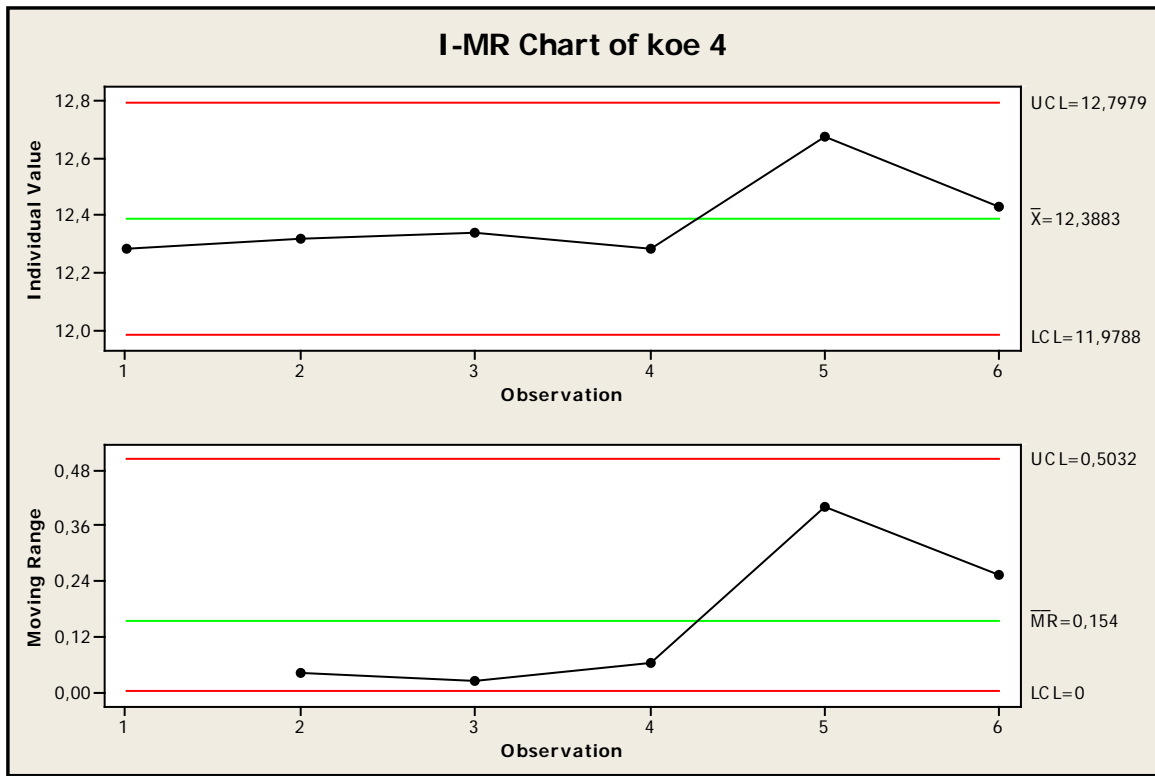
Kuva 2. Kokeen nro 1 sileyden ohjauskortti



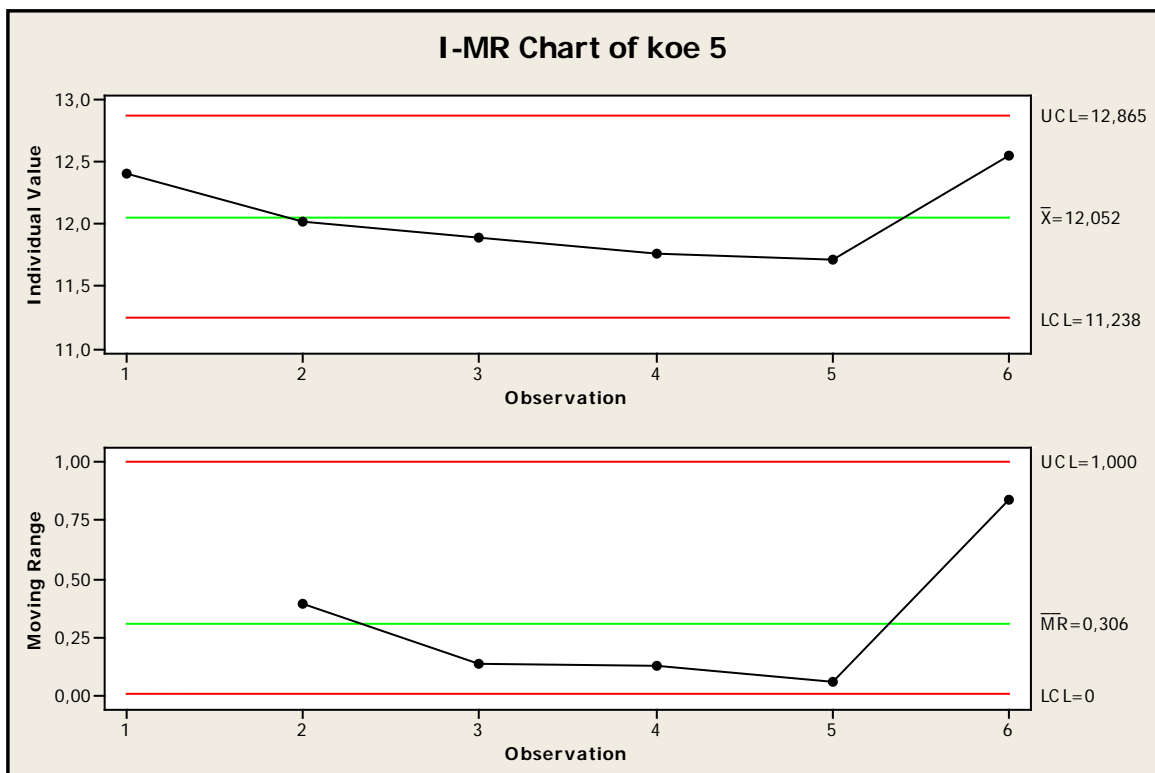
Kuva 3. Kokeen nro 2 sileyden ohjauskortti



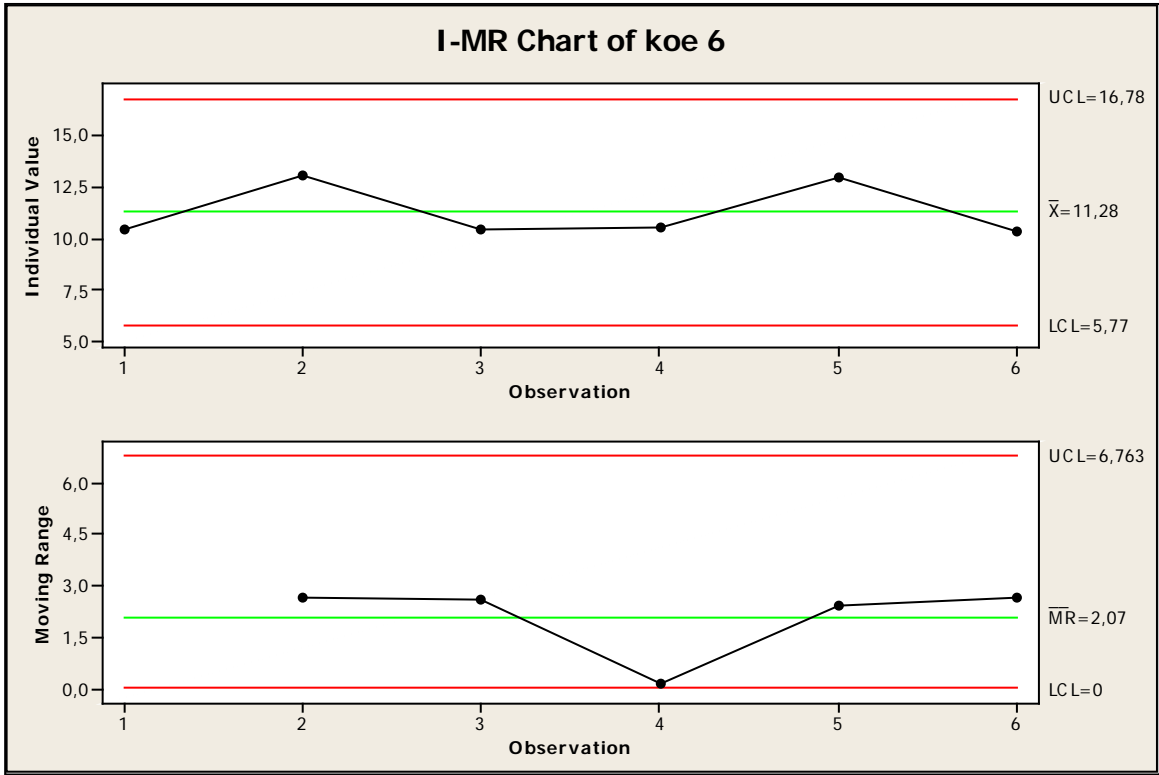
Kuva 4. Kokeen nro 3 sileyden ohjauskortti



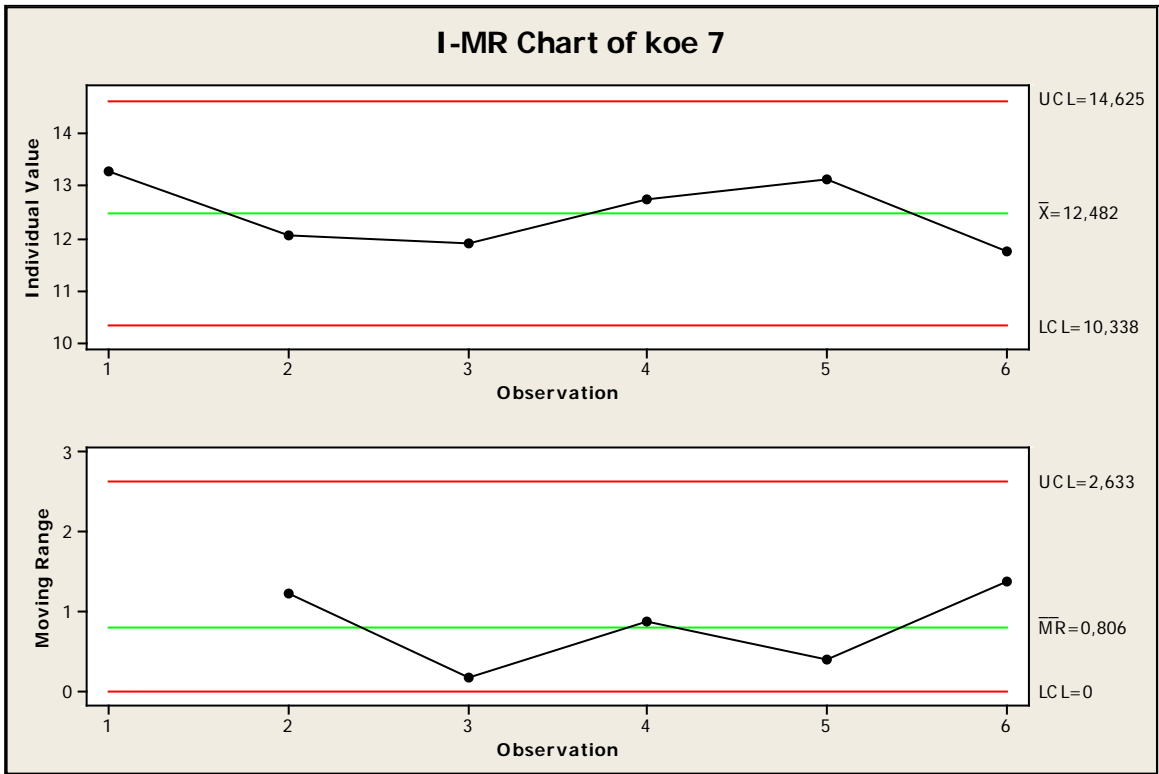
Kuva 5. Kokeen nro 4 sileyden ohjauskortti



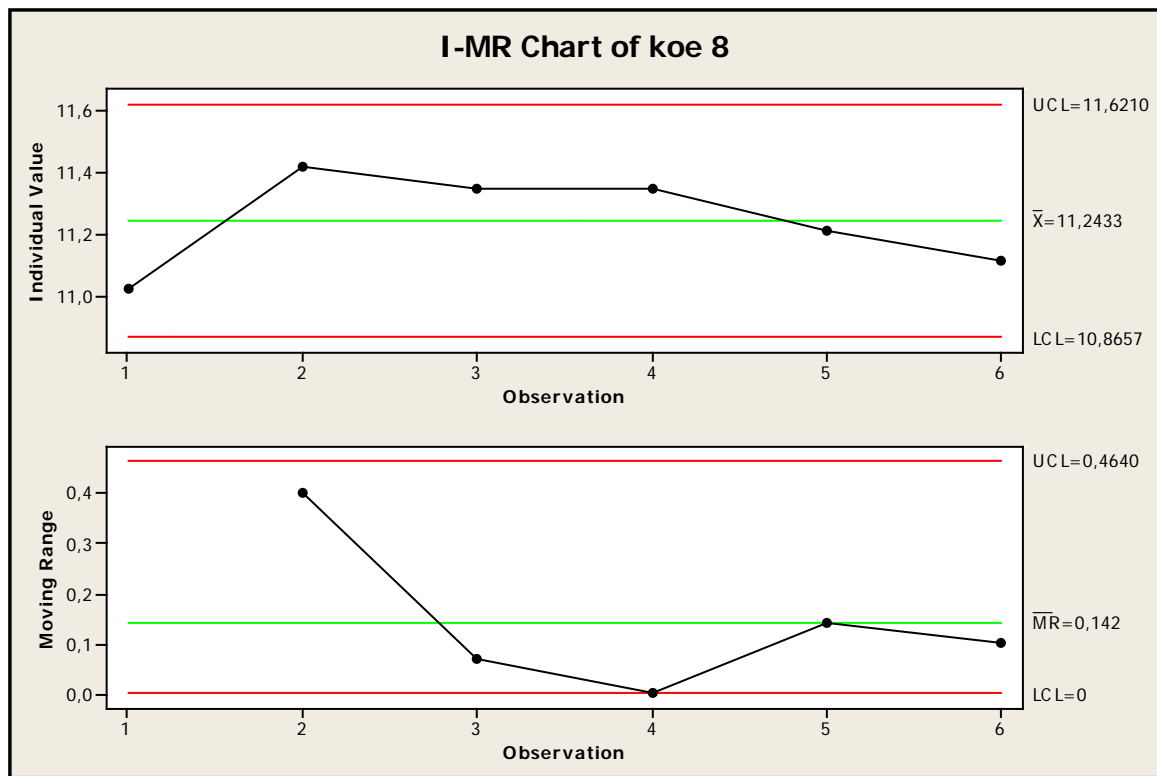
Kuva 6. Kokeen nro 5 sileyden ohjauskortti



Kuva 7. Kokeen nro 6 sileyden ohjauskortti



Kuva 8. Kokeen nro 7 sileyden ohjauskortti

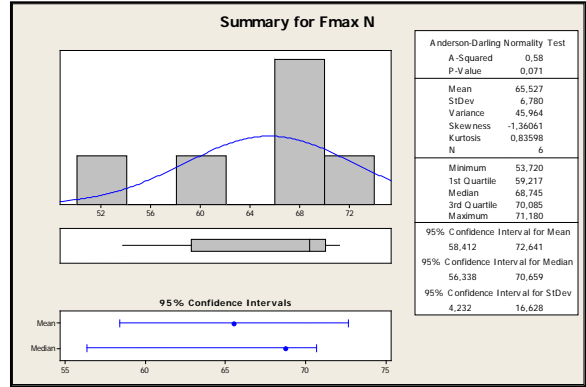
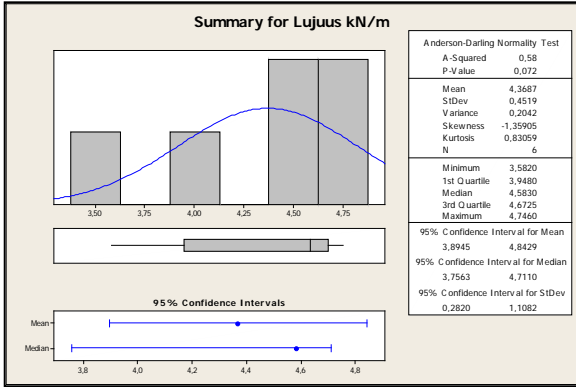
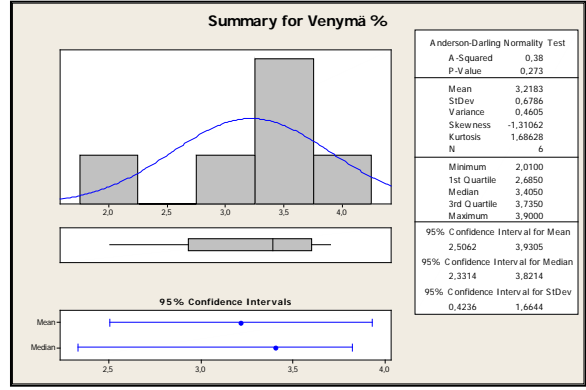
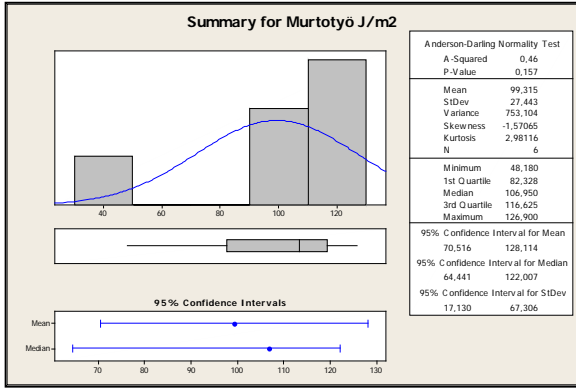


Kuva 9. Kokeen nro 8 sileyden ohjauskortti

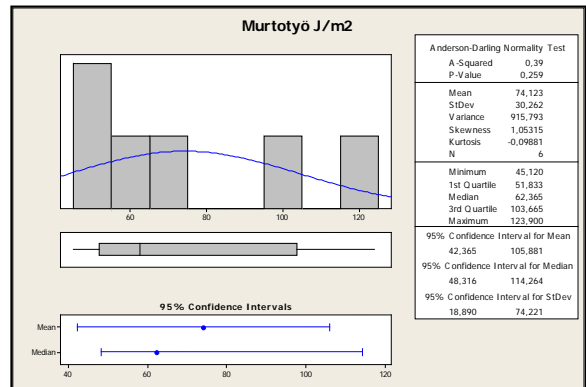
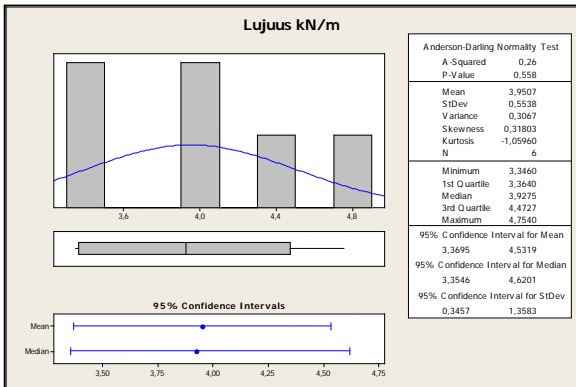
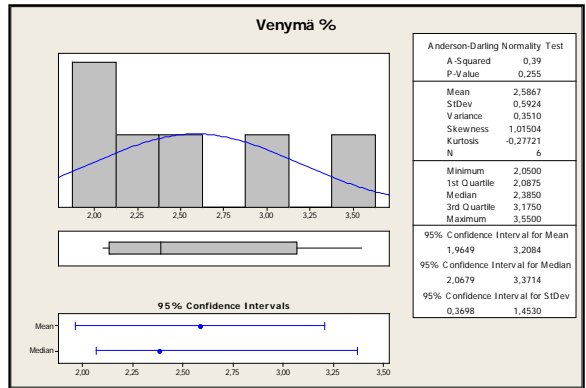
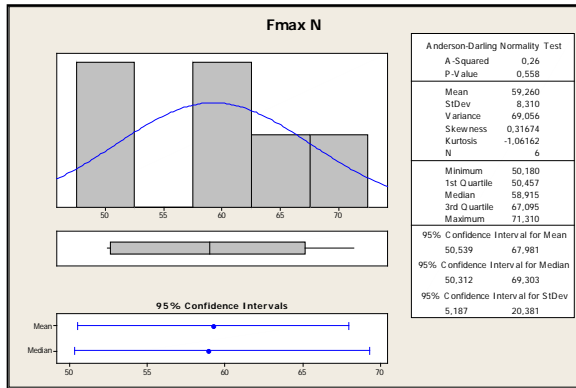
Kaikissa mitatuissa sileyden arvoissa oli lievää hajontaa joka on ymmärrettävää puun kuitujen monimuotoisuudella. Tuloksista käy ilmi kokeiden keskiarvot ja voitiinkin havaita että kokeella nro 3 oli pienin keskiarvo vaikka prosessin vaihtelu ei ollut pienin. Suurin keskiarvo oli kokeella nro 7. Puu raaka-aineena on erittäin vaihtelevaa ja se heijastuu myös tutkimustuloksiin. Kokeen havaintojen perusteella mittaustulokset ovat helposti luettavissa ja niistä selviää oleellinen tieto. Mitattava tieto on saatu 1MPa:n avulla. Lukemat ilmoitetaan μm .

8.2. Lujuuskoe

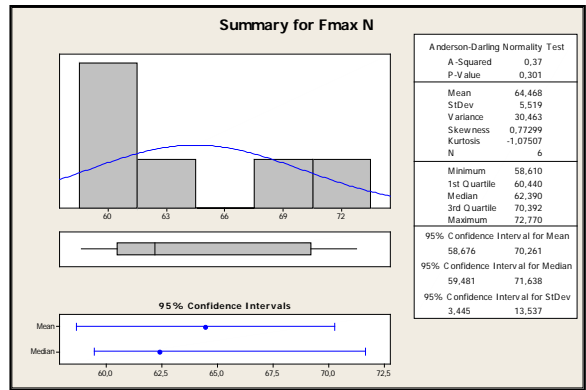
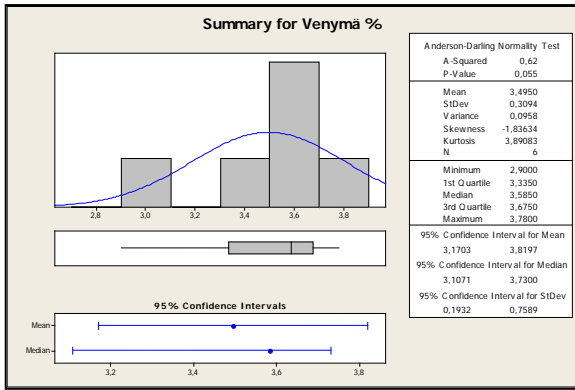
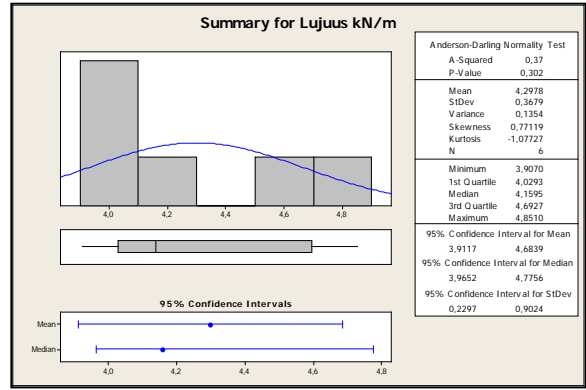
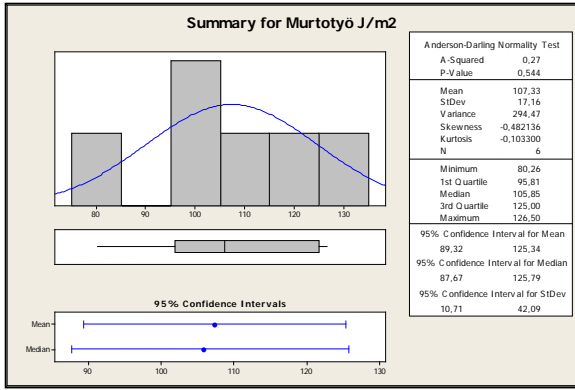
Lujuuskokeen tuloksia on tarkasteltu kuvaajien avulla josta tarkastellaan keskiarvoja sekä keskihajontaa. Lujuuskoe antoi arvot F_{max} , lujuus, venymä sekä murtotyön. Näistä tuloksista voidaan tarkastella arkin antamat arvot ja havainnollistaa arkin kestävyyttä. Kokeet nro 1-8 on esitelty kuvissa 10-18.



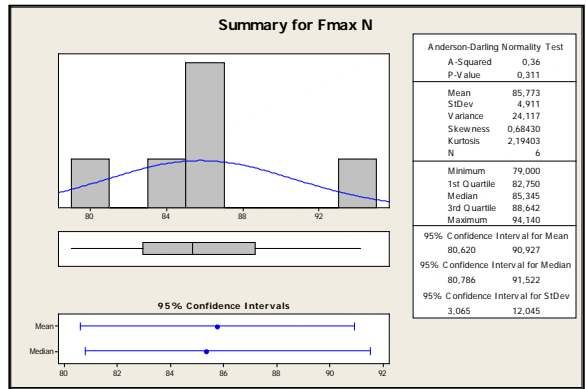
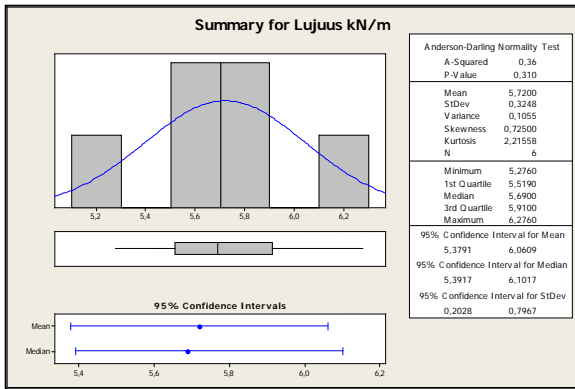
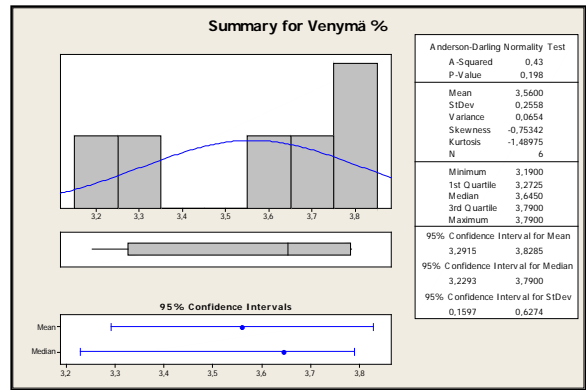
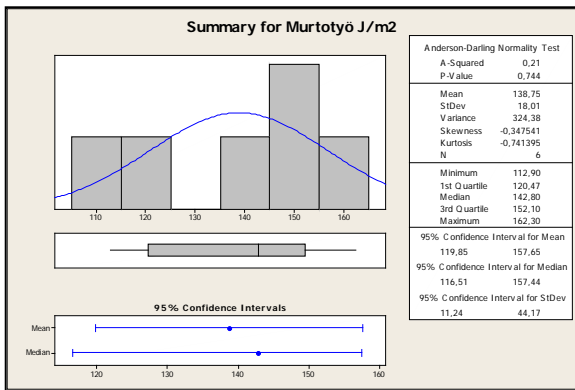
Kuva 10. Koe nro 1 lujuusmittaukset.



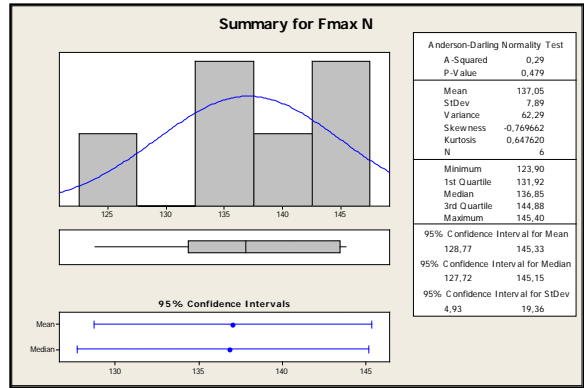
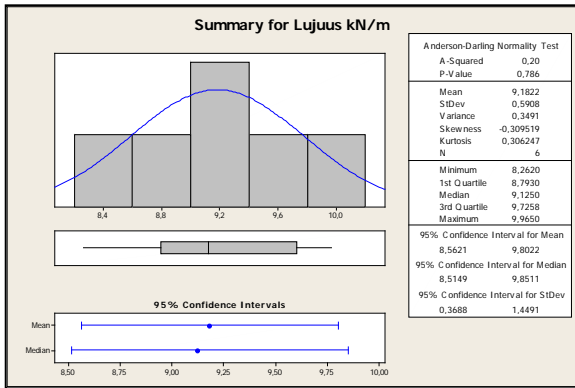
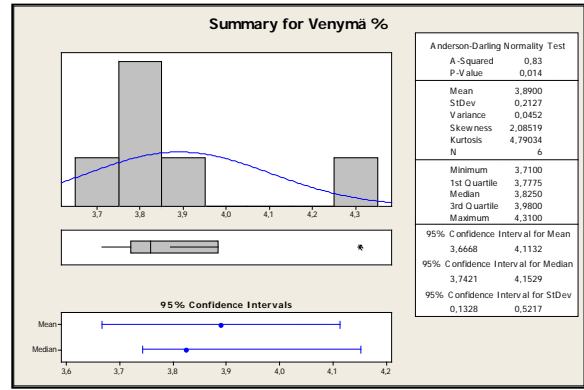
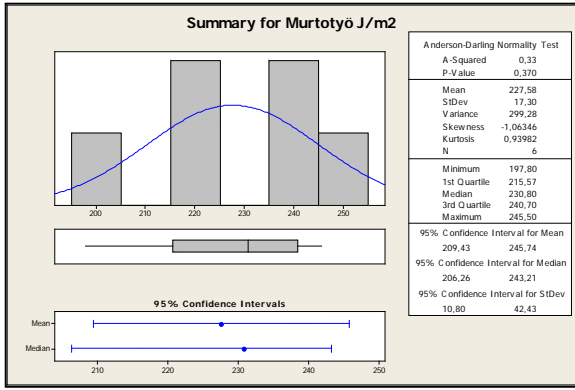
Kuva 11. Kokeen nro 2 lujuusmittaukset



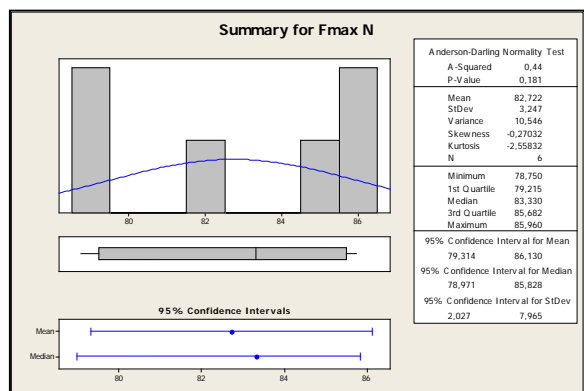
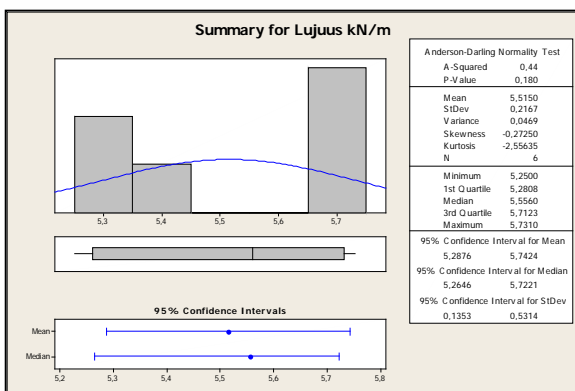
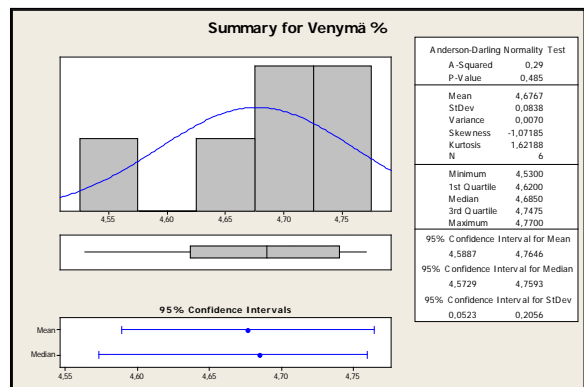
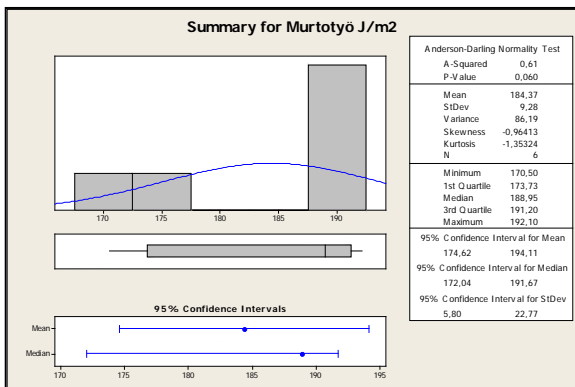
Kuva 13. Koe nro 3 lujuusmittaukset



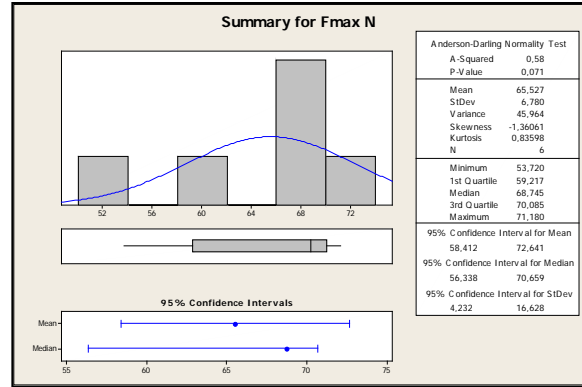
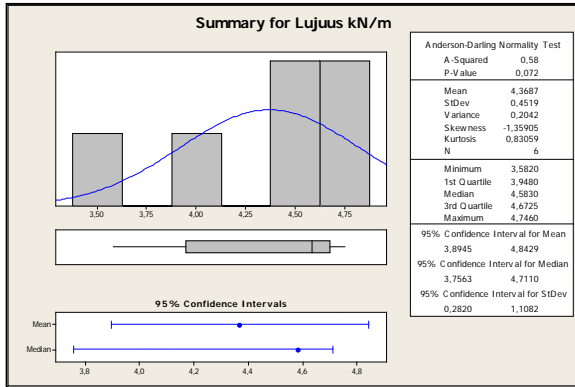
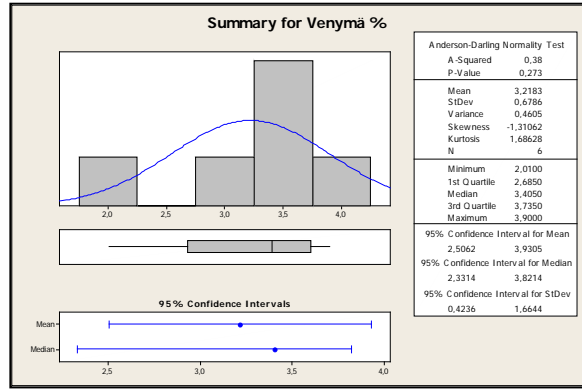
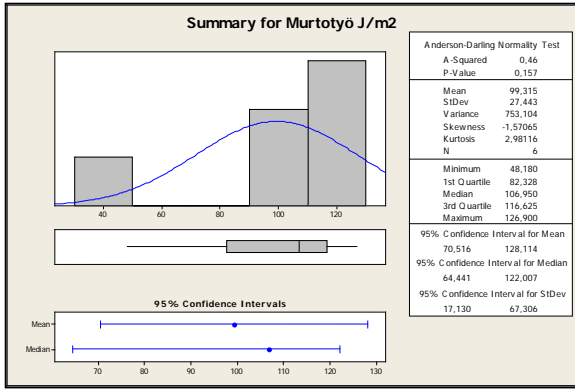
Kuva 14. Koe nro 4 lujuusmittaukset



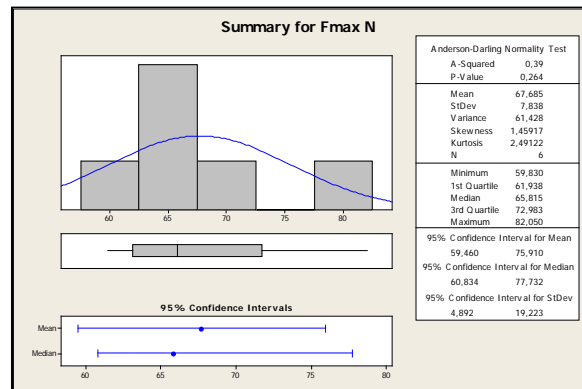
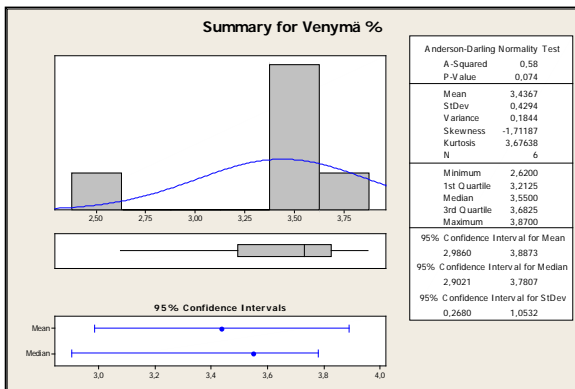
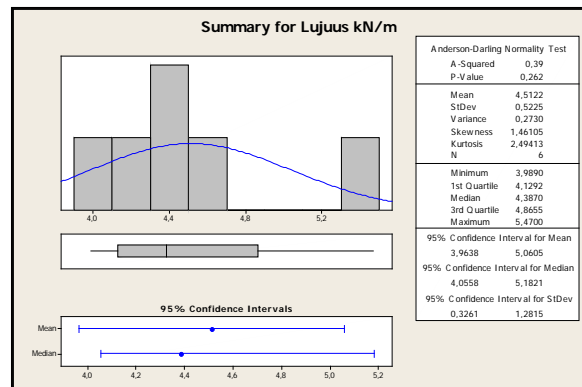
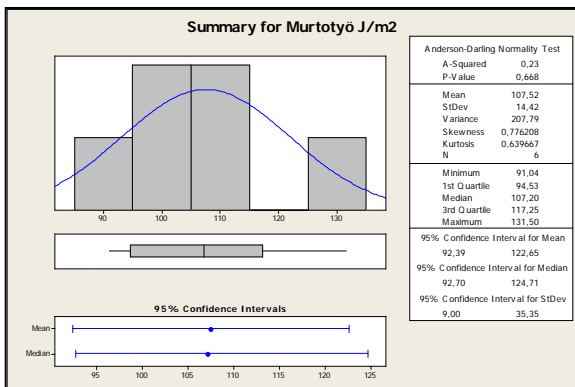
Kuva 15. kokeen nro 5 lujuusmittaukset



Kuva 16. Koe nro 6 lujuusmittaukset.



Kuva 17. Koe nro 7 lujuusmittaukset.



Kuva 18. Koe nro 8 lujuusmittaukset

Kuvaajia on käytetty mittausten havainnollistamiseen sekä arvioimaan arkin lujuutta. Kuvista selviää kunkin kokeen eri mittaustulokset joita voidaan pitää hyvin arvioitavissa. Kokeissa on huomattavan paljon eroja, koska kokeessa on käytetty 2 täysin erilaista puulajia. Puulajien kuitujen laatu ja koko on erittäin vaihtelevaa ja siksi tuloksissa on huomattavan paljon vaihtelua. Puu raaka-aineenakin on yksistään hyvin monijakoista ja siksi tuloksista voidaan päätellä huomattavaa vaihtelua. Lujuuksia on tarkasteltu vain mittausten perusteella eikä annettu lujuuksille suurta painoarvoa kokeen lopullisessa tuloksessa. Kuitenkin tuloksista voidaan huomata, että jauhatuksessa käytetty mänty antaa suuremmat lujuudet kuin myös jauhatuksessa käytetty eukasellu.

8.3. Opasiteetti ja vaaleus

Opasiteettia ja vaaleutta on arvioitu minolta mittauslaitteen antamien tuloksien avulla. Jokaisesta kokeesta on otettu 6 arvoa vaaleuksille sekä 6 arvoa opasiteetille. Mittaustulokset ovat helposti luettavissa kuvaajista. Kuvaajien avulla voidaan helposti ja luotettavasti tarkastella arkin optisia ominaisuuksia. Tulokset ovat esitettyinä kuvissa 19-26.

	Keskisarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	84,08	83,89	84,23	0,13
Arvo Y D65	88,70	88,37	88,94	0,20
Arvo Z D65	88,69	88,31	89,05	0,29
Arvo L* D65	95,45	95,32	95,56	0,08
Arvo a* D65	-0,04	-0,21	0,21	0,17
Arvo b* D65	4,47	4,36	4,58	0,08
Valkoisuus CIE + UV	68,44	67,92	69,13	0,53
Valkoisuus CIE - UV	68,07	67,51	68,72	0,52
R457 UV:n kanssa	83,18	82,76	83,94	0,29
R457 ilman UV:tä	82,84	82,37	83,19	0,31
hallitseva aallonpituus	575,4	574,9	576,1	0,5
Ärsykepuhtaus	4,31	4,12	4,47	0,13
Sirontakerroin	34,18	30,54	38,86	3,42
Absorptiokerroin	0,23	0,21	0,26	0,02
Opasiteetti	80,58	78,15	83,19	2,05

Kuva 19. Koe nro 1 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJIO NRO 2

Näyteste/rolla: _____

Puoli (YP/AP): _____

Toimintokoodi: _____

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	86,90	86,16	87,54	0,44
Arvo Y D65	91,71	90,74	92,40	0,54
Arvo Z D65	93,42	92,35	93,94	0,56
Arvo L* D65	96,70	96,30	96,98	0,22
Arvo a* D65	-0,09	-0,28	0,23	0,17
Arvo b* D65	3,34	3,11	3,58	0,16
Valkoisuus CIE + UV	76,72	75,52	77,93	0,80
Valkoisuus CIE - UV	76,32	75,05	77,41	0,79
R457 UV:n kanssa	87,48	86,43	87,99	0,55
R457 ilman UV:tä	87,12	86,05	87,59	0,55
hallitseva aallonpituus	575,3	574,4	576,6	0,7
Ärsykepuhtaus	3,16	2,89	3,33	0,18
Sironakerroin	81,59	77,02	90,37	4,96
Absorptiokerroin	0,29	0,27	0,32	0,02
Opasiteetti	92,53	91,86	93,63	0,66

6 Aseta nippu

6 Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 20. Koe nro 2 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJIO NRO3

Näyteste/rolla: _____

Puoli (YP/AP): _____

Toimintokoodi: _____

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	86,89	86,63	87,06	0,16
Arvo Y D65	91,62	91,18	91,86	0,26
Arvo Z D65	93,03	92,35	93,53	0,40
Arvo L* D65	96,66	96,48	96,76	0,11
Arvo a* D65	0,06	-0,11	0,35	0,17
Arvo b* D65	3,54	3,35	3,70	0,13
Valkoisuus CIE + UV	75,73	74,60	76,80	0,75
Valkoisuus CIE - UV	75,33	74,12	76,38	0,75
R457 UV:n kanssa	87,09	86,41	87,56	0,39
R457 ilman UV:tä	86,75	86,06	87,24	0,40
hallitseva aallonpituus	575,8	575,1	576,8	0,6
Ärsykepuhtaus	3,46	3,22	3,69	0,17
Sironakerroin	51,83	49,75	54,94	2,12
Absorptiokerroin	0,19	0,18	0,20	0,01
Opasiteetti	86,33	85,66	87,26	0,66

6 Aseta nippu

6 Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 21. Koe nro 3 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJIO NRO 4

Näyteste/rolla: _____

Puoli (YP/AP): _____

Toimintokoodi: _____

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,67	85,06	85,98	0,33
Arvo Y D65	90,46	89,80	90,82	0,36
Arvo Z D65	90,23	89,66	90,67	0,33
Arvo L* D65	96,19	95,92	96,34	0,15
Arvo a* D65	-0,18	-0,24	-0,14	0,04
Arvo b* D65	4,65	4,58	4,71	0,05
Valkoisuus CIE + UV	69,52	69,11	70,11	0,33
Valkoisuus CIE - UV	68,77	67,12	69,50	0,83
R457 UV:n kanssa	84,70	84,17	85,11	0,31
R457 ilman UV:tä	84,04	82,10	84,70	0,96
hallitseva aallonpituus	575,1	574,9	575,2	0,2
Ärsykepuhtaus	4,36	4,33	4,50	0,09
Sirontakerroin	45,70	42,26	51,08	3,51
Absorptiokerroin	0,21	0,20	0,24	0,02
Opasiteetti	84,98	83,56	86,87	1,31

6 Aseta nippu

6 Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 22. Koe nro 4 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJIO NRO 5

Näyteste/rolla: _____

Puoli (YP/AP): _____

Toimintokoodi: _____

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,22	85,06	85,32	0,11
Arvo Y D65	89,87	89,71	89,98	0,12
Arvo Z D65	88,79	88,52	89,06	0,22
Arvo L* D65	95,94	95,88	95,99	0,05
Arvo a* D65	0,02	0,00	0,05	0,02
Arvo b* D65	5,24	5,05	5,47	0,15
Valkoisuus CIE + UV	66,25	65,27	66,95	0,66
Valkoisuus CIE - UV	65,84	64,87	66,51	0,62
R457 UV:n kanssa	83,36	83,11	83,59	0,20
R457 ilman UV:tä	83,02	82,79	83,20	0,18
hallitseva aallonpituus	575,7	575,6	575,7	0,1
Ärsykepuhtaus	5,11	4,90	5,34	0,16
Sirontakerroin	44,88	40,40	51,44	3,91
Absorptiokerroin	0,24	0,21	0,27	0,02
Opasiteetti	85,03	83,09	87,35	1,50

6 Aseta nippu

6 Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 23. Koe nro 5 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJIO NRO 6

Näyteste/rolla: 6

Puoli (YP/AP): 6

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	82,34	82,17	82,49	0,13
Arvo Y D65	86,47	86,29	86,63	0,14
Arvo Z D65	83,72	83,40	83,99	0,25
Arvo L* D65	94,51	94,43	94,58	0,06
Arvo a* D65	0,69	0,64	0,77	0,05
Arvo b* D65	6,43	6,25	6,58	0,12
Valkoisuus CIE + UV	57,19	56,37	58,04	0,62
Valkoisuus CIE - UV	56,76	56,00	57,55	0,58
R457 UV:n kanssa	78,61	78,34	78,84	0,22
R457 ilman UV:tä	78,27	78,00	78,49	0,21
hallitseva aallonpituus	577,2	577,0	577,4	0,1
Ärsykepuhtaus	6,41	6,31	6,53	0,08
Sirontakerroin	41,99	40,95	43,71	1,15
Absorptiokerroin	0,41	0,40	0,43	0,01
Opasiteetti	86,06	85,59	86,78	0,50

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 24. Koe nro 6 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJIO NRO 7

Näyteste/rolla: 6

Puoli (YP/AP): 6

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	87,42	86,74	87,80	0,46
Arvo Y D65	92,31	91,56	92,75	0,50
Arvo Z D65	94,30	93,78	94,79	0,41
Arvo L* D65	96,95	96,64	97,13	0,21
Arvo a* D65	-0,20	-0,25	-0,13	0,06
Arvo b* D65	3,17	2,99	3,34	0,12
Valkoisuus CIE + UV	78,12	77,58	78,70	0,38
Valkoisuus CIE - UV	77,70	77,12	78,21	0,38
R457 UV:n kanssa	88,30	87,82	88,77	0,39
R457 ilman UV:tä	87,95	87,48	88,38	0,37
hallitseva aallonpituus	574,8	574,5	575,3	0,3
Ärsykepuhtaus	3,02	2,80	3,10	0,12
Sirontakerroin	80,46	78,32	84,34	2,62
Absorptiokerroin	0,24	0,24	0,25	0,01
Opasiteetti	91,99	91,68	92,52	0,37

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 25. Koe nro 7 vaaleus ja opasiteetti.

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	84,58	84,39	84,72	0,12
Arvo Y D65	89,39	89,10	89,54	0,15
Arvo Z D65	90,15	89,66	90,37	0,28
Arvo L* D65	95,74	95,62	95,81	0,06
Arvo a* D65	-0,31	-0,35	-0,18	0,07
Arvo b* D65	3,94	3,82	4,08	0,10
Valkoisuus CIE + UV	71,54	70,64	72,12	0,58
Valkoisuus CIE - UV	71,14	70,27	71,64	0,54
R457 UV:n kanssa	84,56	84,10	84,76	0,26
R457 ilman UV:tä	84,22	83,76	84,42	0,25
hallitseva aallonpituus	574,4	574,3	574,9	0,3
Ärsykepuhtaus	3,72	3,56	3,97	0,14
Sirontakerroin	27,86	26,04	30,82	1,57
Absorptiokerroin	0,17	0,16	0,18	0,01
Opasiteetti	75,63	74,04	77,92	1,26

Kuva 26. Koe nro 8 vaaleus ja opasiteetti.

Tuloksista voidaan tarkastella arkin vaaleutta sekä opasiteettia. Opasiteetti vaihtelee suuresti kokeiden välillä joka johtuu mm. siitä kuinka paljon massaa on käytetty arkin muodostamiseen. Myös massalaatu sekä jauhatusaika vaikuttavat lopputulokseen. Tuloksista voidaan huomata että eukalyptussellun ja mäntysellun valkaisuissa on hienoisia eroja. Eukasellu on hieman vaaleampaa kuin mäntysellu.

8.4. SR-luku

Jauhatusprosessin jälkeen mitattiin myös massojen suodattumisnopeudet jotka ilmoitetaan Schopper Riegler lukuna. Massan SR-luku muodostuu sitä suuremmaksi, mitä nopeammin suotautuminen hidastuu viiralle kertyvän kuitukakun vaikutuksesta.(4,4.) Kokeiden tulokset ilmoitettu seuraavasti.

Kokeen nro 1 SR- luku 16

Kokeen nro 2 SR- luku 31

Kokeen nro 3 SR- luku 32

Kokeen nro 4 SR- luku 21

Kokeen nro 5 SR- luku 25

Kokeen nro 6 SR- luku 43

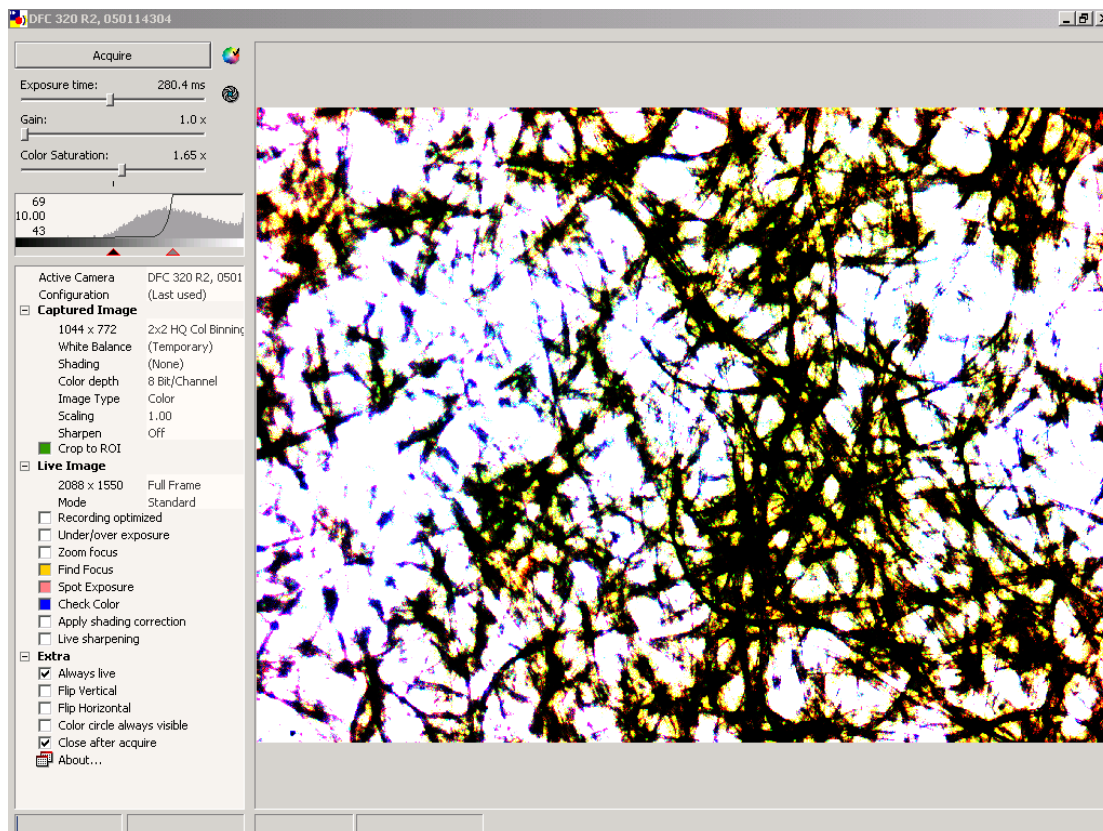
Kokeen nro 7 SR- luku 31

Kokeen nro 8 SR- luku 15

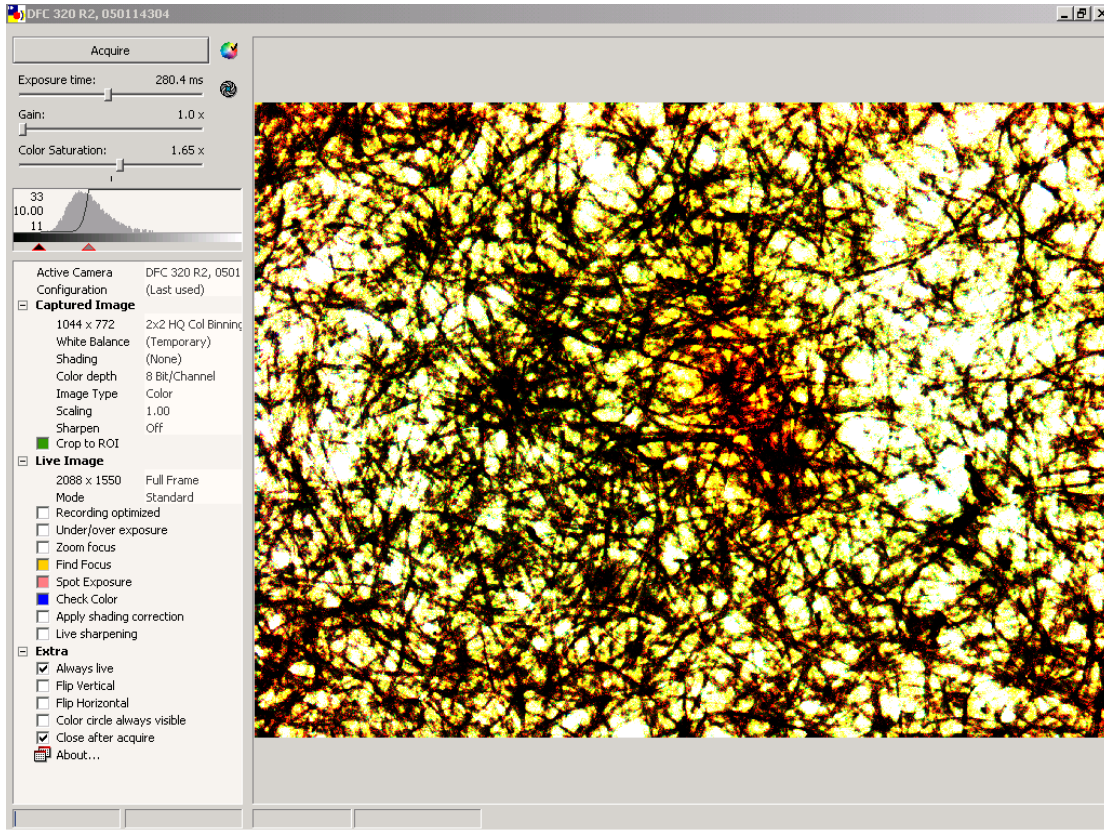
Lukuja tarkastellessa huomataan kokeiden välillä huomattavaa muutosta. Kokeessa käytetty muuttujien vaihtelu muokkaa SR- lukua melko huomattavasti. Kokeen perusteella tarkasteltujen tuloksien avulla voidaan huomata, että eukasellu on huomattavasti nopeammin jauhautuvaa, kuin mänty.

8.5. Formaatio

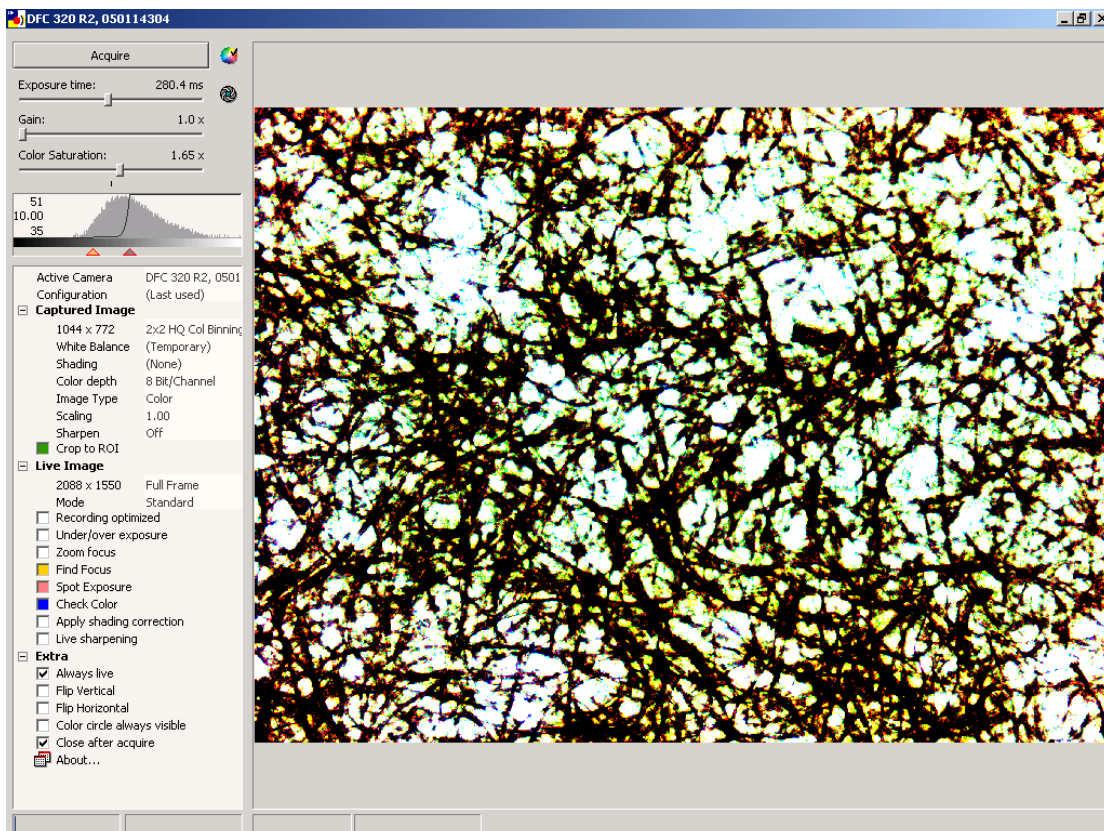
Arkkien formaation tarkastelu on tärkeää kuitujen jakautumisen takia. Kuidut käyttäytyvät monella eri tapaa kun muuttujille on annettu eri arvoja. Kuituformaatiota on tarkasteltu Leican mikroskoopilla 2,5x suurennoksella. Kuvista havaitaan kuituformaatio ja myös jauhausprosessissa käytetty puulaatu. Kuvista 27-34 nähdään kuitujen formaatio.



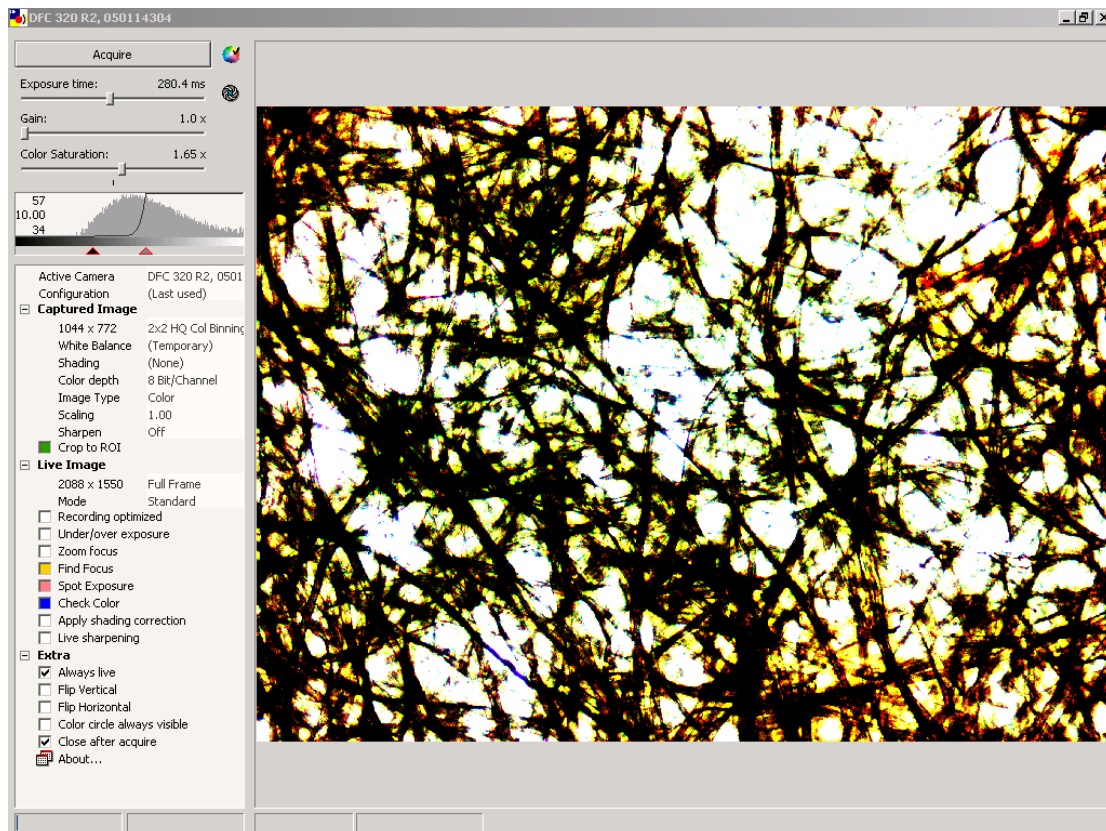
Kuva 27. Koe nro 1 kuituformaatio



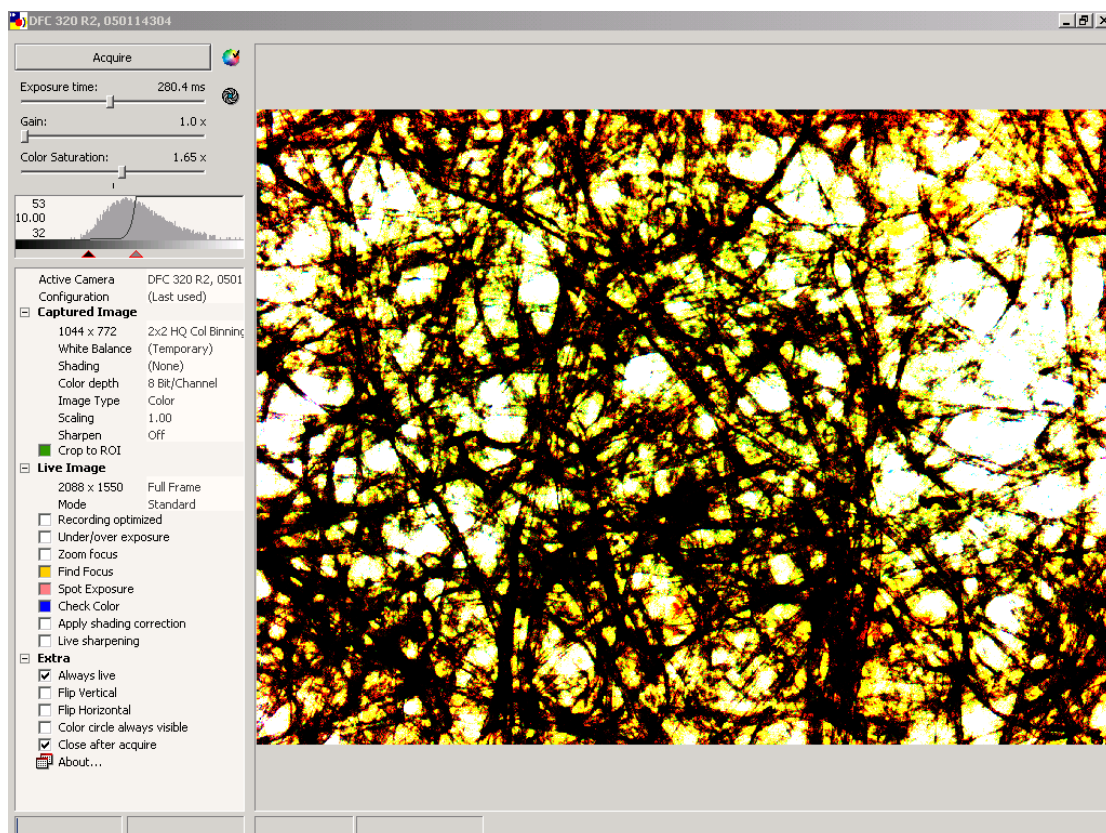
Kuva 28. Kokeen nro 2 kuituformaatio.



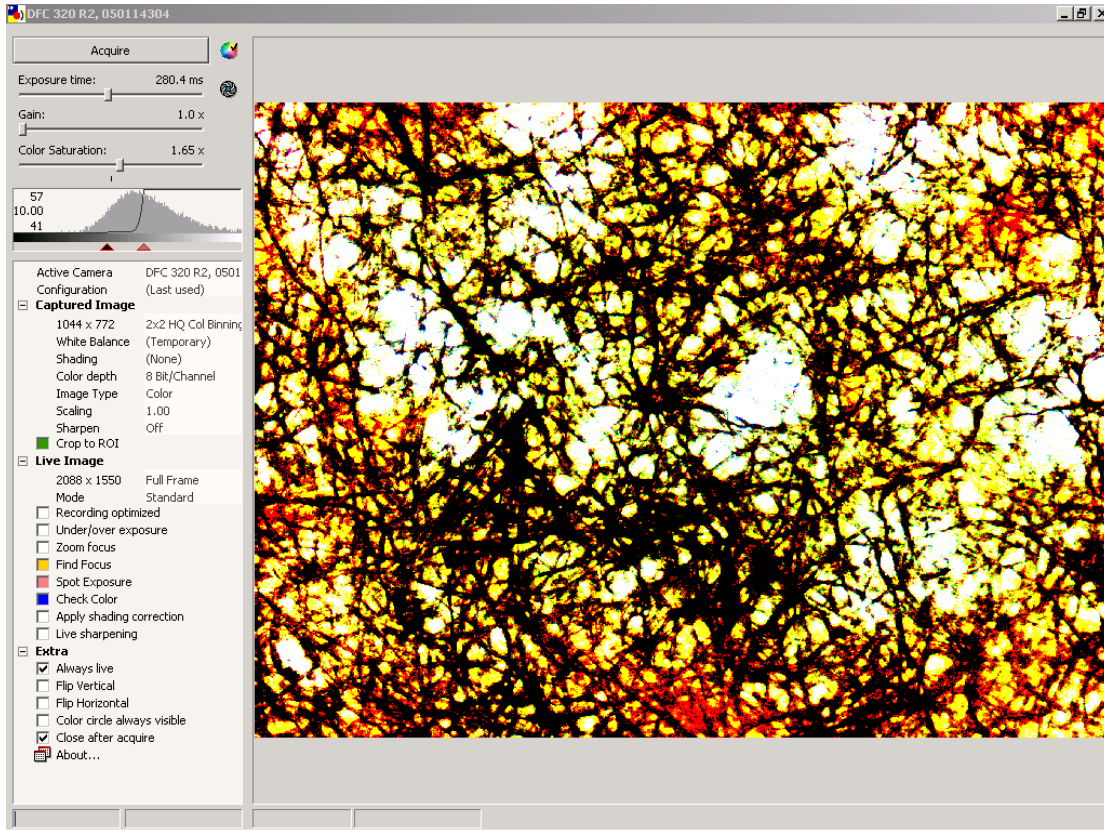
Kuva 29. Kokeen nro 3 kuituformaatio



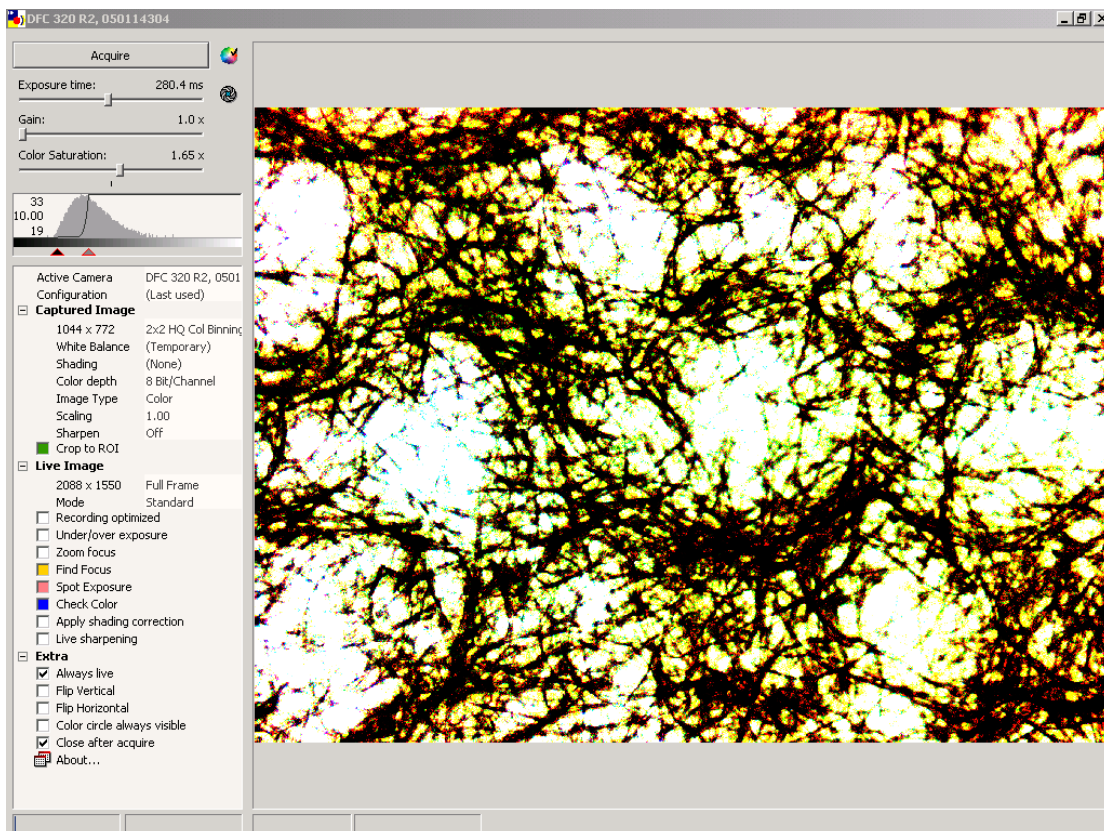
Kuva 30. Koe nro 4 kuituformaatio



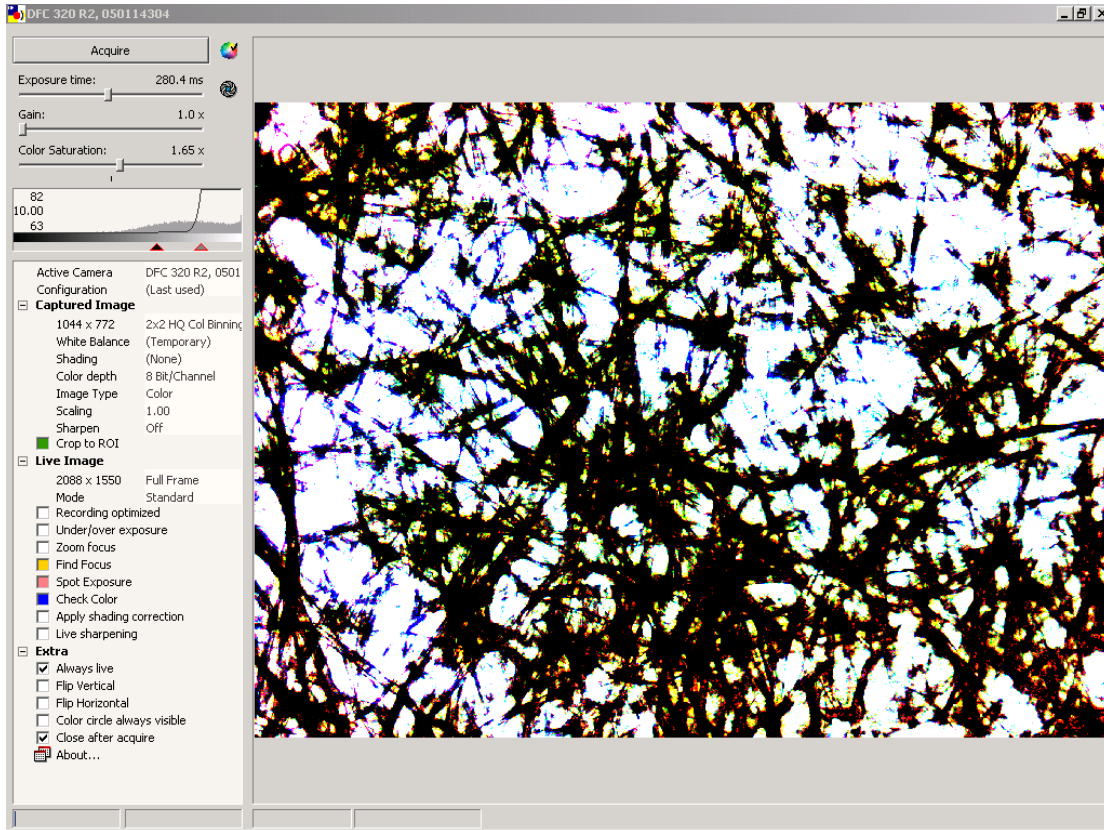
Kuva 31. Koe nro 5 kuituformaatio



Kuva 32. Koe nro 6 kuituformaatio



Kuva 33. Koe nro 7 kuituformaatio

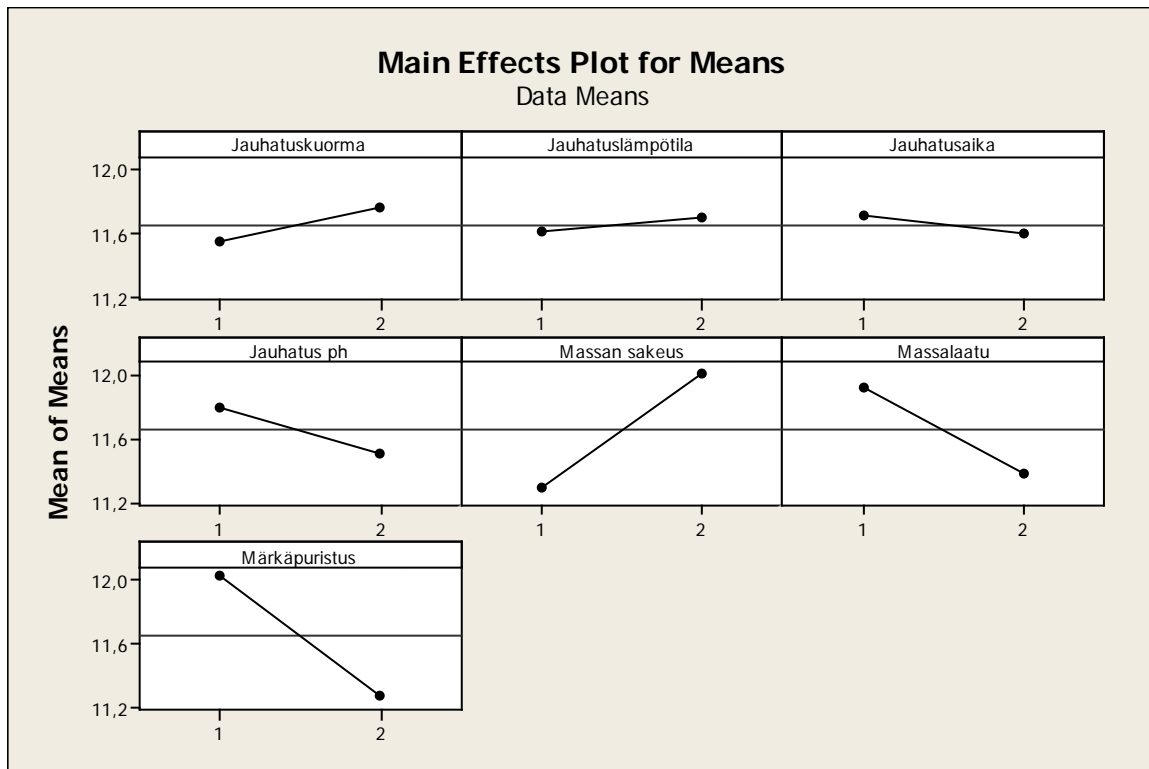


Kuva 34. Koe nro 8 kuituformaatio.

Kuvista nähdään selkeästi kuinka puulajien välinen ero tulee näkyville. Kokeessa käytettyjen eukalyptuksen ja männyn erot ovat helposti luettavissa. Mänty omaa huomattavasti pidemmän kuidun kuin eukalyptus. Kuvien tarkkailuun kuitenkin pitää kiinnittää huomiota, jotta voidaan analysoida kuituorientaatiota. Mitä tasaisempi kuitujakauma on sitä paremman formaation arkki omaa. Jos kuitujakauma on epätasaista on formaatio taas huonompaa.

9. Taguchi-koe

Taguchi kokeena avulla pyrittiin saamaan muuttujien asetteet kohdalleen, jotta saataisiin arkille optimaalinen sileys. Taguchi kokeen avulla suoritettiin 8 koetta L8 matriisilla jonka avulla hallitusti säädettiin kokeen muuttujia. Kokeiden tuloksien perusteella saatiin kuvaaja jonka avulla voitiin päätellä parhaimmat mahdolliset säädöt muuttujille. Taguchi kokeella suoritettiin 8 eri prosessia joista jokaisesta otettiin 6 näytettä. Näytteiden sileyksien keskiarvoa mittaamalla saatiin optimaaliset asetteet muuttujille. Vastekuvaajan avulla voidaankin helposti tulkita optimaaliset asetearvot. Kuva 35 kertoo optimiasetukset muuttujille ja kuvaajan ja vastetaulukon avulla.



Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E	F	G
1	11,54	11,64	11,76	11,80	11,34	11,90	12,12
2	11,83	11,73	11,61	11,57	12,03	11,47	11,25
Delta	0,29	0,09	0,14	0,24	0,68	0,42	0,86
Rank	4	7	6	5	2	3	1

Kuva 35. Vastekuvaaja ja vastetaulukko

Kuvaa tarkasteltaessa huomataan vaikutukset muuttujien asetuksilla. Kuvaa tarkasteltaessa tärkeimmiksi muuttujiksi huomataan massan sakeus, massalaatu, märkäpuristus, jauhatuskuorma, sekä jauhatus ph. Muilla muuttujilla ei ole kovinkaan suurta vaikutusta ulostuloon, joten voidaan pitää 5 merkittävintä tekijää luotettavina tarkastellessa tuloksia. Taguchi menetelmän avulla voidaan laskea myös estimaatti optimaaliselle tulokselle.

Tulosten perusteella valitut asetteet ja estimaatti.

Muuttujien tasojen perusteella voidaan havaita vaikutukset arkin lopulliseen sileyteen. Taguchi menetelmän avulla voidaan laskea myös estimaatti ja suorittaa konfirmaatio koe, jotta tuloksia voidaan tarkastella luotettavasti. Muuttujien asetteeksi valittiin Taguchi kokeen avulla:

- Jauhatuskuorma: 3,8kg
- Jauhatuslämpötila: lämmin
- Jauhatusaika: 40min
- Jauhatus ph: emäksinen
- Massan sakeus 287,5g
- Massalaatu: eukalyptus
- Märkäpuristus: kyllä

$$\mu = T + (x_1 - T) + (x_2 - T) + (x_3 - T) + (x_4 - T) + (x_5 - T)$$

Jossa μ =ennuste
 T =kokeiden keskiarvo
 x =yksittäinen muuttuja

Ennusteyhtälön liite(x) perusteella saatiin 5 merkittävimmän tekijän mukaan keskiarvon tulokseksi 10,4385.

10. Konfirmaatiokoe

Konfirmaatiokoe suoritettiin Taguchi menetelmän antamilla tuloksilla. Koe on suoritettu tuloksien perusteella annetuilla muuttujien arvoilla ja kokeen tulokset on mitattu identtisesti samalla tavalla kuin aikaisemmat tulokset.

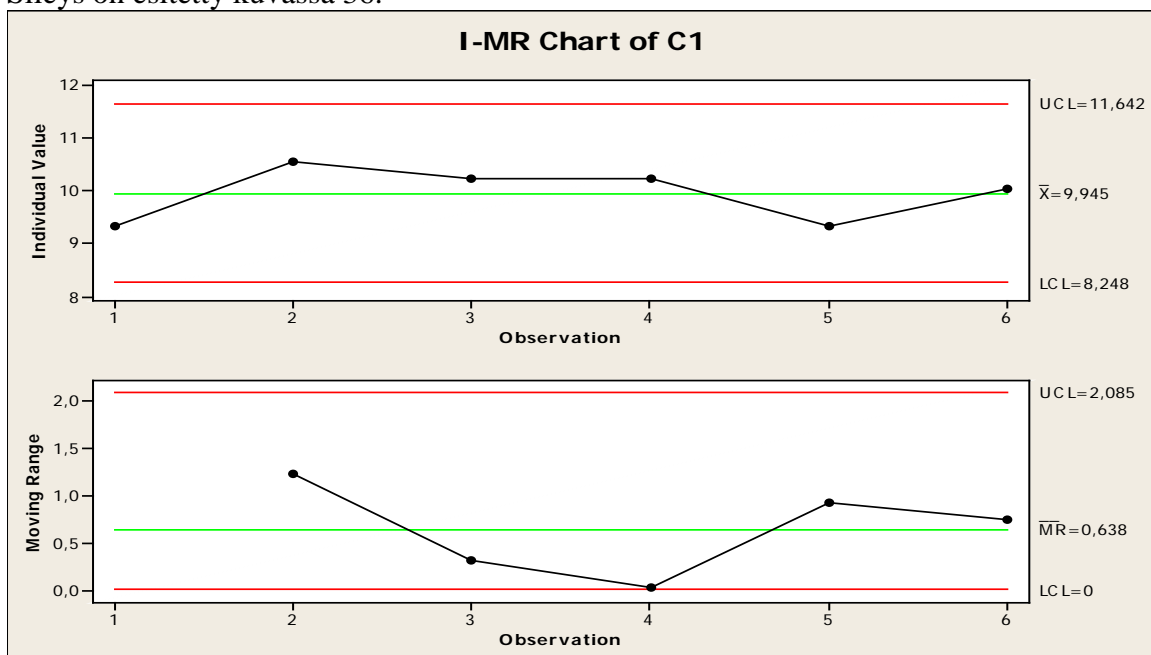
10.1. Varmistuskokeen tulokset

10.2. SR- luku

Varmistuskokeessa saatu SR- luku oli 32. SR- lukua tarkasteltaessa todetaan eukalyptusmassan tyypillisesti kohdattu suotautumisnopeus.

10.3. Sileyden mittaus

Sileys on esitetty kuvassa 36.

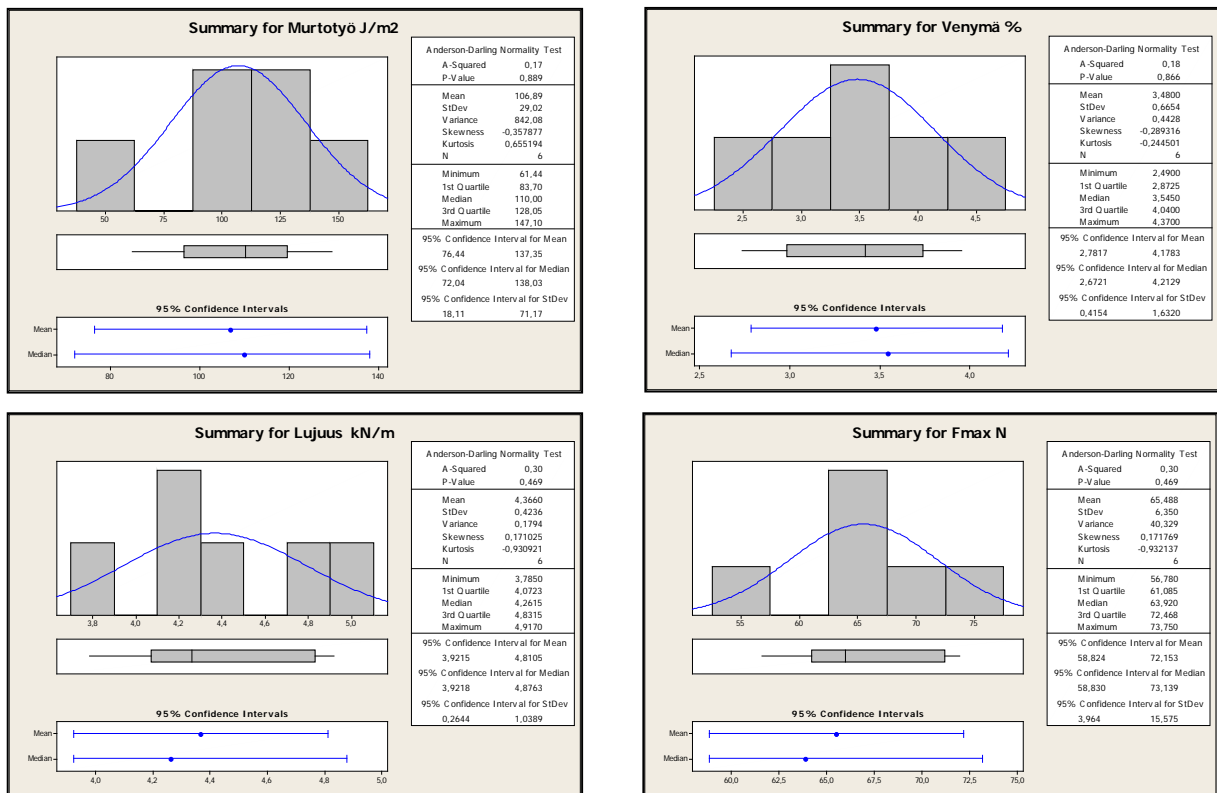


Kuva 36. Konfirmaatiokokeen sileyden ohjaukorkti.

Sileyden kuvaajan mukaa päästiin vielä parempiin tuloksiin kuin oli odotettu. Sileys oli keskiarvoltaan 9,94 um joka poikkesi hieman estimaatista. Tulokset jakautuvat hyvinkin laajalti joten on huomattava että raaka-aineena sellukuitu on hyvin vaikeasti mitattavissa.

10.4. Lujuuskoe

Lujuuskokeen tulokset taulukoituna kuvassa 37.



Kuva 37. Konfirmaatiokokeen lujuusmittaukset.

Lujuuskokeen tuloksia tarkasteltaessa voidaan huomata, että lujuuksien jakaumat ovat suhteellisen tasaiset. Mittaustuloksia voidaan pitää suuntaa antavana, koska koekappaleiden määrä on suhteellisen pieni ja huomioon pitää ottaa myös raaka-aineen epähomogeenisuus. Lujuusominaisuuksia tarkasteltaessa voidaan hyvin päätellä, että eukalyptuksen ja männyn erot lujuuksissa ovat selkeät. Konfirmaatiokokeen lujuusmittaukset antavat yleisen kuvan eukalyptussellun käyttäytymisestä eri jauhatusprosessissa.

10.5. Opasiteetti ja vaaleus

Opasiteetti ja vaaleus esitetty kuvassa 38.

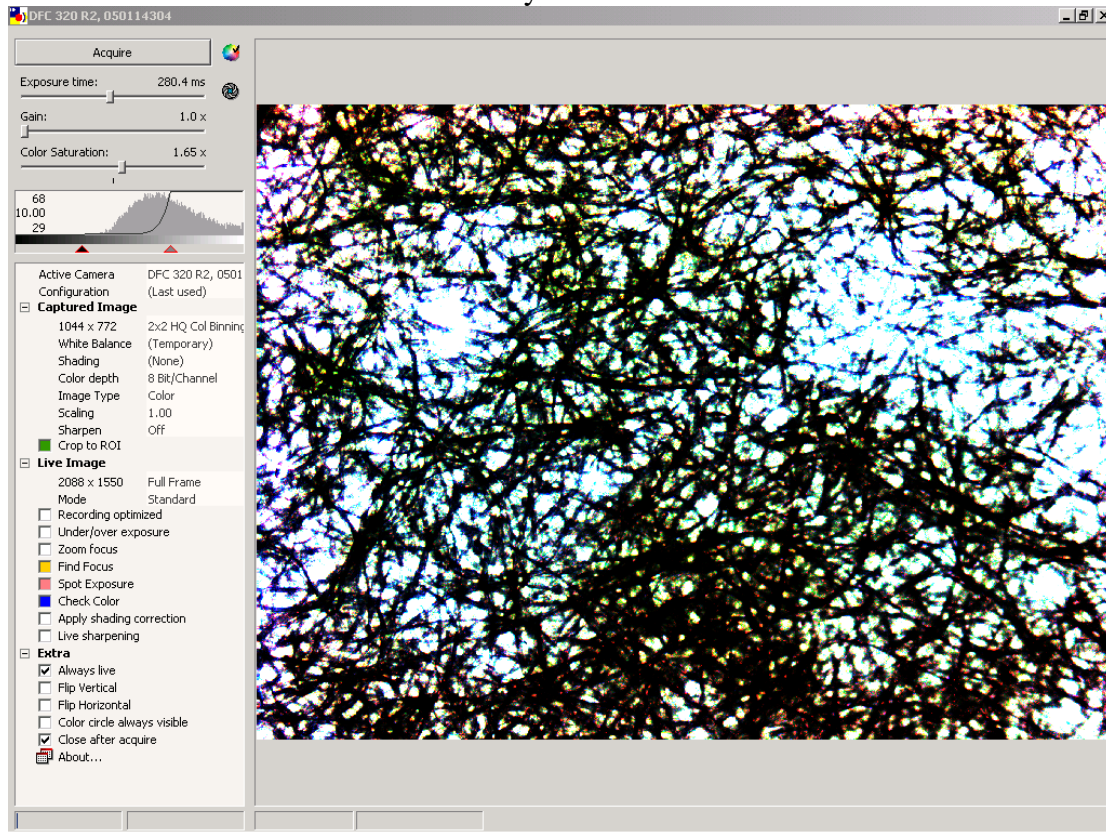
	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,30	84,76	85,84	0,46
Arvo Y D65	90,17	89,57	90,77	0,50
Arvo Z D65	92,33	91,75	92,92	0,48
Arvo L* D65	96,07	95,82	96,31	0,21
Arvo a* D65	-0,34	-0,40	-0,31	0,03
Arvo b* D65	2,99	2,96	3,06	0,04
Valkoisuus CIE + UV	76,67	76,16	77,19	0,40
Valkoisuus CIE - UV	76,18	75,66	76,64	0,35
R457 UV:n kanssa	86,49	85,95	87,05	0,44
R457 ilman UV:tä	86,11	85,57	86,64	0,43
hallitseva aallonpituus	574,0	573,7	574,3	0,2
Ärsykepuhtaus	2,73	2,71	2,90	0,09
Sirontakerroin	41,19	40,15	42,14	0,88
Absorptiokerroin	0,21	0,21	0,22	0,00
Opasiteetti	83,38	82,89	83,80	0,41

Kuva 38. Konfirmaatiokoneen vaaleus ja opasiteetti.

Opasiteetti ja vaaleus ovat hyvin odotettavalla tasolla kun tarkastellaan eukasellun yleisesti saatuja tuloksia. Koetilanteessa jauhetuilla eukalyptustuloksilla ja konfirmaatiokokeella ei ollut kovinkaan suuria eroja johtuen sellun valkaisuprosessista. Toisaalta erot männyn ja eukasellun välillä ovat huomattavissa.

10.6. Formaatio

konfirmaatiokokeen formaatio on esitetty kuvassa 39.



Kuva 39. Konfirmaatiokokeen formaatio.

Konfirmaatiokokeen arkin formaatio on erittäin tasaista eikä vaihtelua juurikaan esiinny.

Voidaankin huomioda, että jauhatusprosessi ja jauhatuksen jälkeinen prosessi on hyvin hallittua.

Konfirmaatiokokeen tuloksien tarkastelussa pitää ottaa huomioon koekappaleiden määrä verrattuna erittäin vaihtelevaan raaka-aineeseen. Koetta voidaan pitää hyvin suuntaa antavana ja luotettavana huolimatta raaka-aineen laadun vaihtelusta ja koekappaleiden suhteellisen pienestä määrästä.

Taguchi kokeen arvojen hallitun säädön sekä estimaatin ansiosta löytyi muuttujille optimiasetukset. Sileyden mittaamista voidaan pitää luotettavana tapana arvioida arkin painettavuutta sekä ajettavuutta. Taguchi kokeen ansiosta saatiin huonoimman koetuloksen sekä parhaimman koetuloksen keskiarvoille huomattava ero. Taguchin 5 suurimman muuttujan estimaatin 10,43 μm tulokseen ei aivan päästy, mutta 7 muuttujan konfirmaatiokokeella sileyden keskiarvoksi saatiin 9,94 μm . Koetta voidaan pitää onnistuneena huolimatta siitä ettei konfirmaatiokokeen ja estimaatin arviot olleet yhteneväiset. Kuten edellä on mainittu on puu raaka-aineena erittäin epähomogeenistä jolloin tuloksia pitää tarkastella sen mukaan.

11. Yhteenveto ja johtopäätökset

Sellun valmistus sekä jauhamisprosessi on erittäin monivaiheinen sekä vaihteleva. Raaka-aineen epähomogeenisuus tekee valmistuksesta sekä jauhatuksesta erittäin vaikeasti hallittavan. Sellun jauhatusprosessi koetiloissa on myös erittäin haastavaa oikeiden asetusten sekä raaka-aineen valinnan ja vaihtelun takia. Kokeeseen valitut muuttujat on valittu tarkoin ja valikoiminen on perustunut aikaisempaan kokemukseen jauhatuksesta. Prosessiin valittujen muuttujien arvot on myös tarkoin valittu ja valitsemisperusteena on käytetty aikaisempaa kokemusta sellun jauhatuksesta.

Taguchi-menetelmä valittiin työhön sen takia, että kokeessa tarvittavien raaka-aineiden määrä pysyy suhteellisen pienenä ja että kokeeseen käytettyä aikaa voitaisiin käyttää tehokkaasti. Taguchi kokeen avulla saatiin käsitys siitä, kuinka hallituilla säädöillä voidaan vaikuttaa lopputulokseen. Koetta ei sen takia suoritettu OFAT(one factor at a time)- kokeena, joka perustuu yhden muuttujan säätämiseen kerralla. Kyseisen kokeen suorittaminen olisi ollut huomattavasti vaikeampaa sekä vaatinut raaka-ainetta ja aikaa huomattavan paljon.

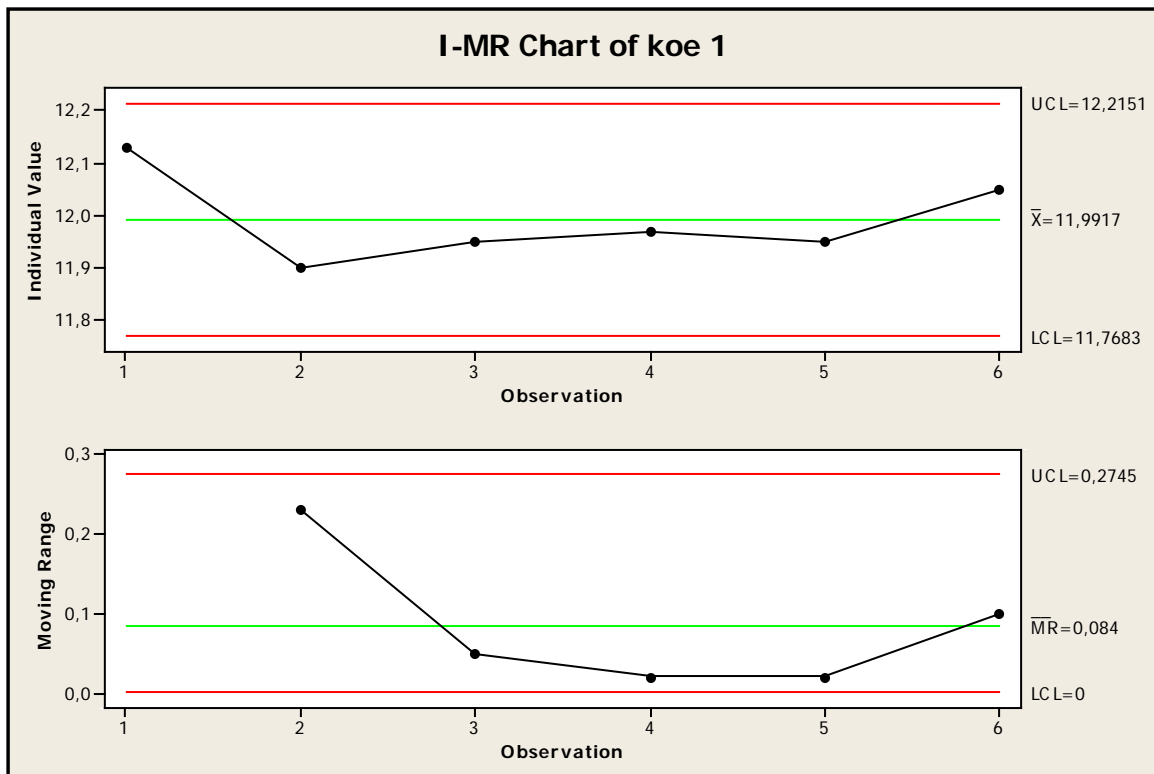
Koulutustilanteessa on jauhettu puolajaja eri asetusarvoilla, jotka perustuivat tietämykseen. Tässä kokeessa tietämykseen perustuivat muuttujat sekä tasot. Taguchin avulla voitiinkin hallitusti suorittaa koe, eikä suorittaa kokeita vain tuntuman perusteella.

Koetta voidaankin hyvin pitää onnistuneena sekä suuntaa antavana. Kokeen avulla voidaan nyt suorittaa koulutustilanteessa hallittuja koeajoja sekä arvioida niiden tuloksia. Tietyn optimiarvon saavuttamiseksi tarvitaan kuitenkin tietämystä erilaisten muuttujien vaikutuksesta ulostuloon. Tätä tietämystä voidaankin käyttää Taguchi-kokeessa määrittämään halutun ulostulon optimiasetuksia.

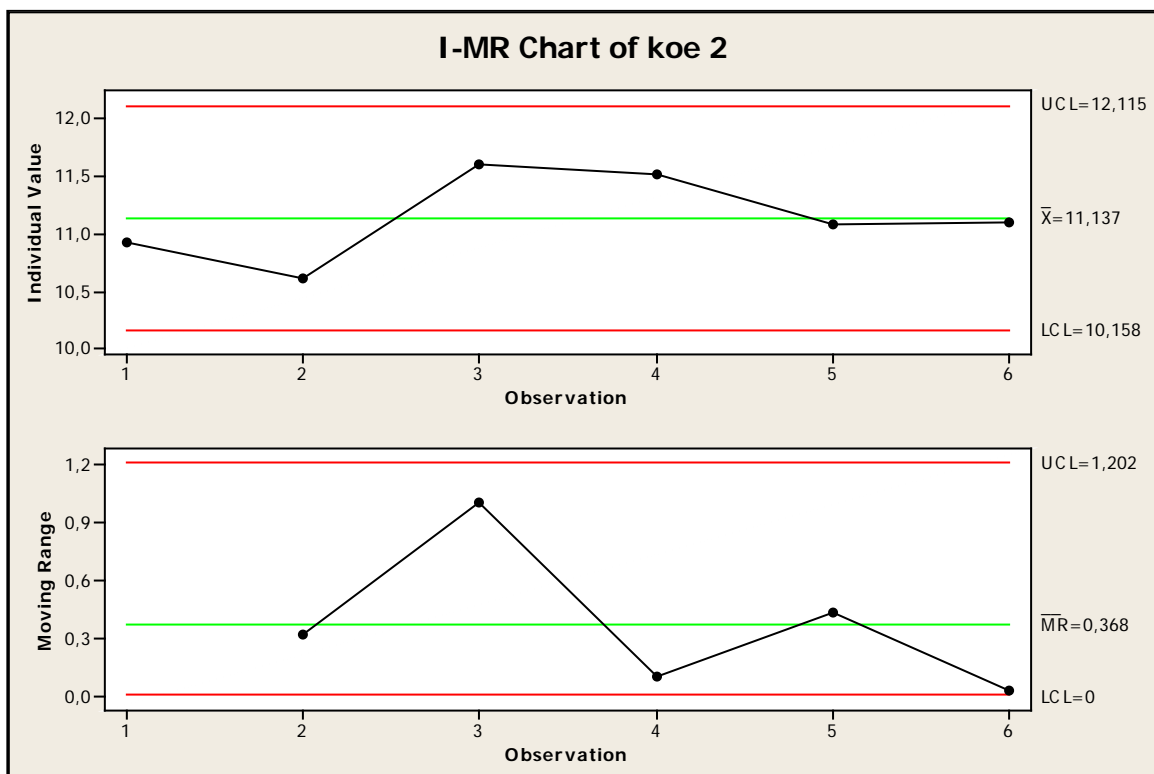
Lähteet

1. Markku J. Seppälä, Ursula Klemetti, Veli-Antti Kortelainen, Jorma Lyytikäinen, Heikki Siitonen, Raimo Sironen, Paperimassan valmistus 2005.
2. Eero E. Karjalainen, Tuotteen ja prosessin optimointi koesuunnittelulla 1989.
3. Eero E. Karjalainen, Laatupäällikkökoulutuksen opintomateriaali 2008.
4. Kauko Mononen, Työkirja: märkä ja kuivalaboratorioharjoituksia varten 2007.

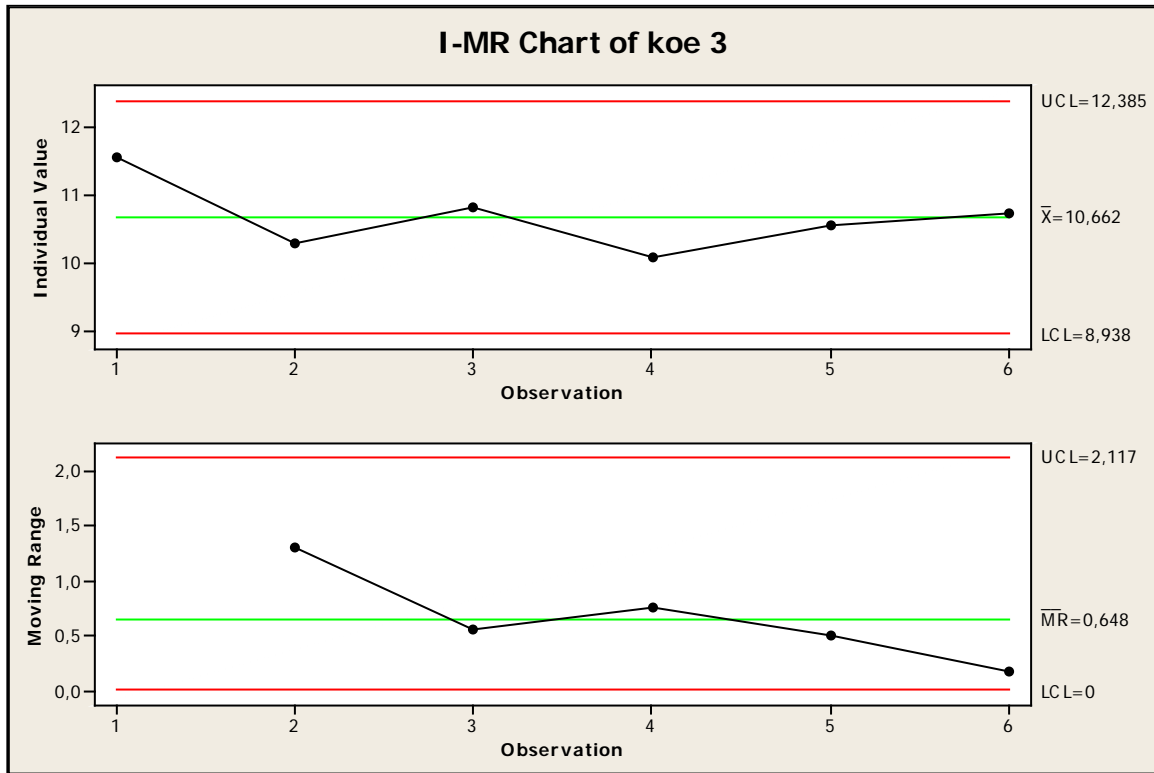
Sileyksien ohjauskortit



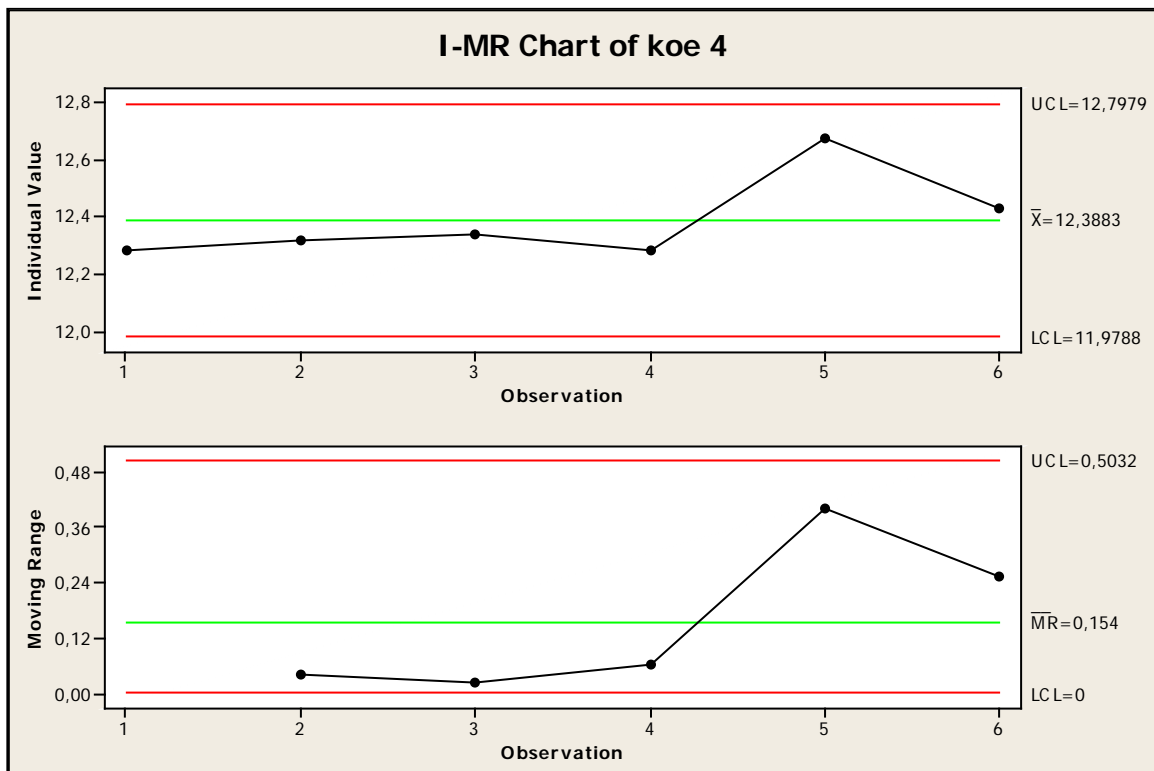
Kuva 2. Kokeen nro 1 sileyden ohjauskortti.



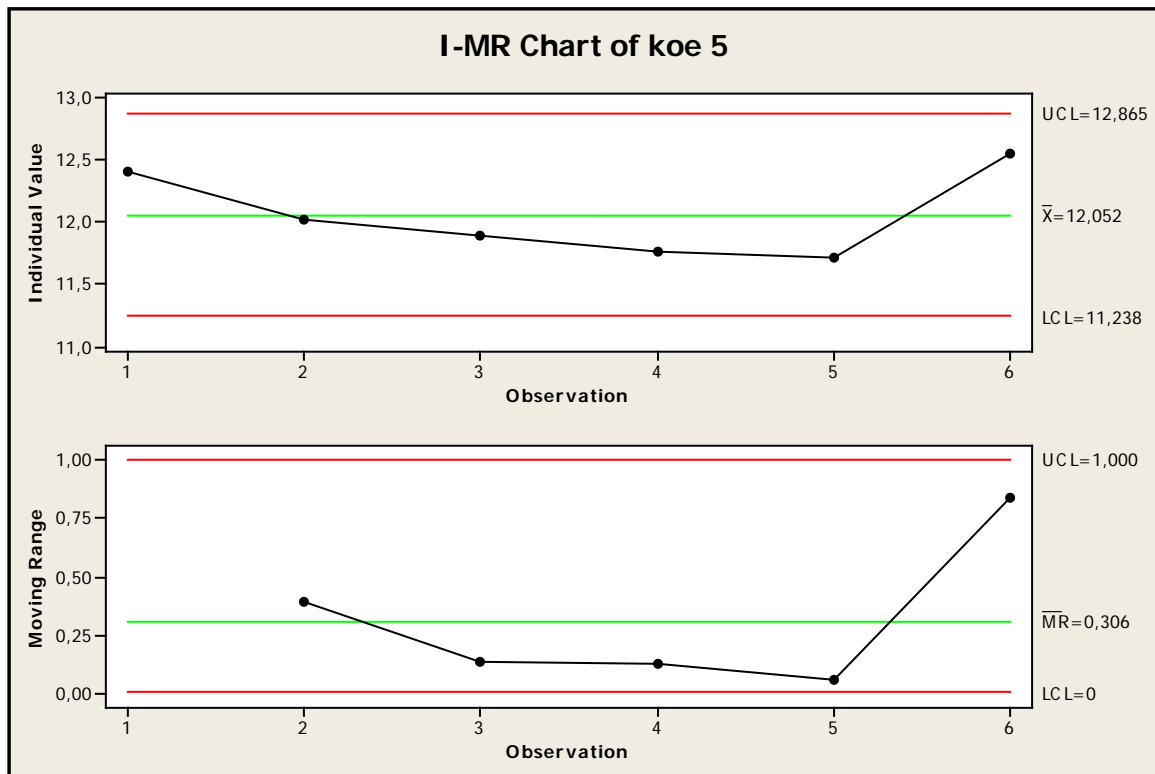
Kuva 3. Kokeen nro 2 sileyden ohjauskortti.



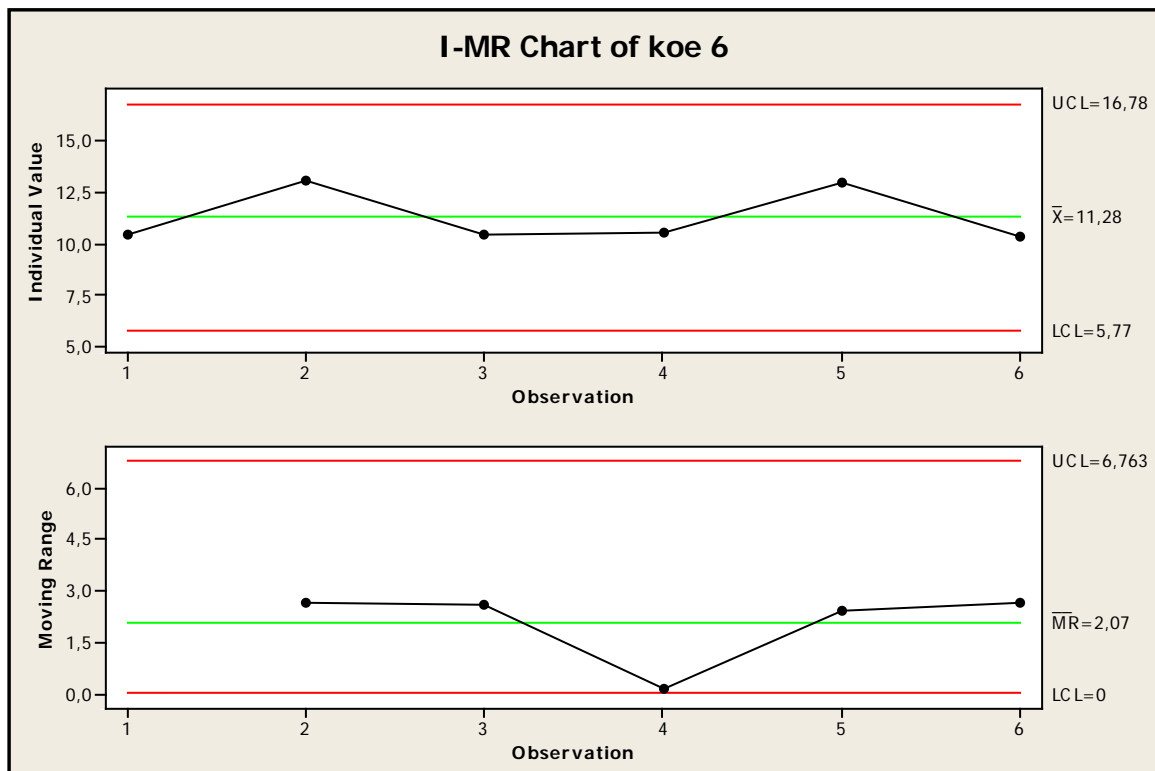
Kuva 4. Kokeen nro 3 sileyden ohjauskortti.



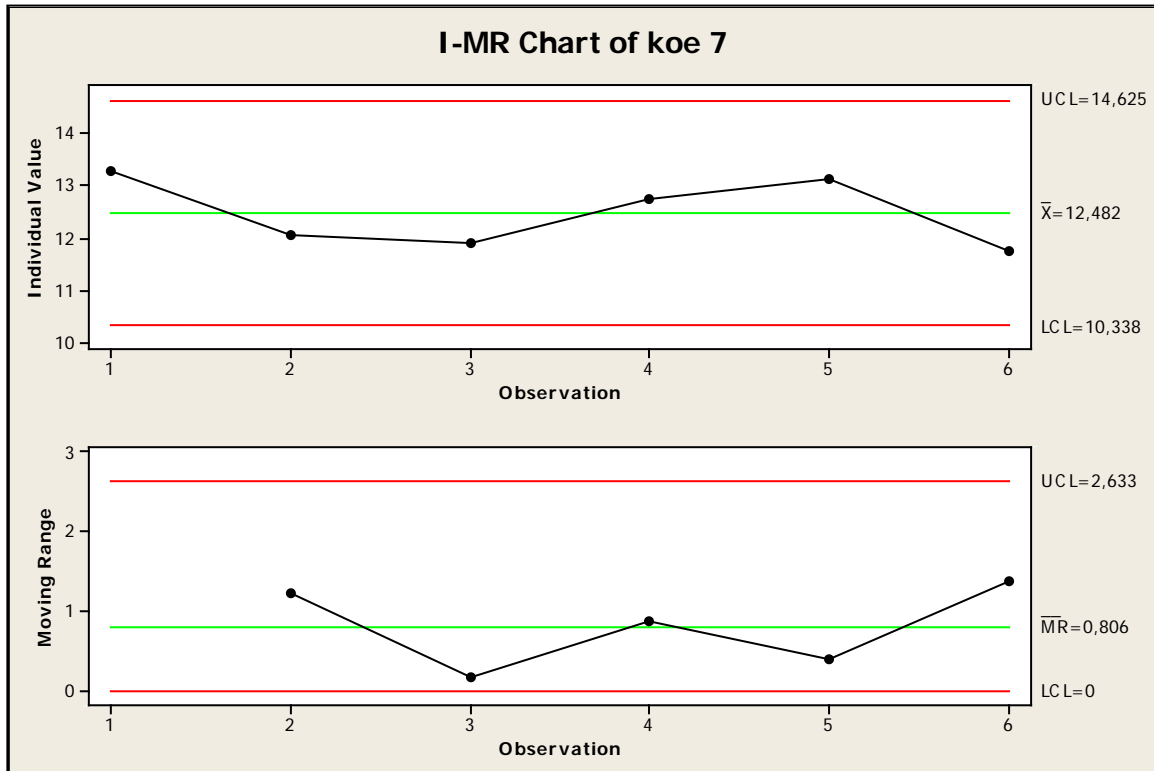
Kuva 5. Kokeen nro 4 sileyden ohjauskortti



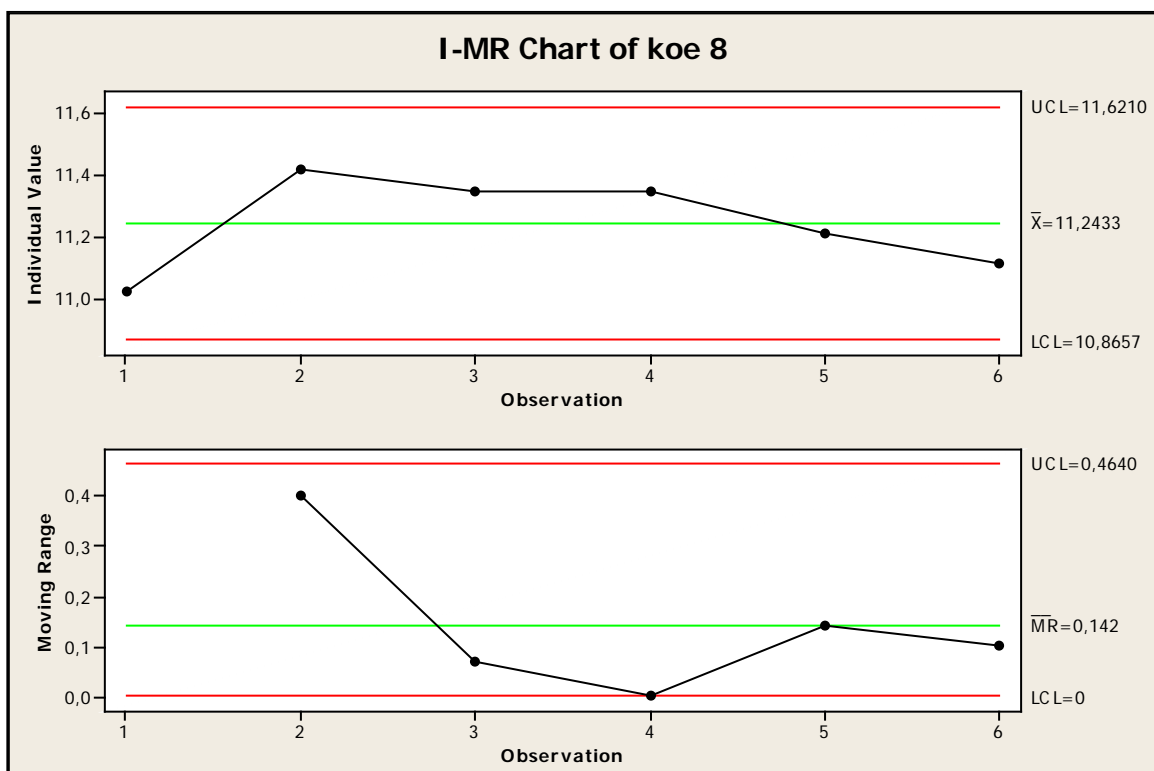
Kuva 6. Kokeen nro 5 sileyden ohjaukorktti.



Kuva 7. Kokeen nro 6 sileyden ohjaukorktti.

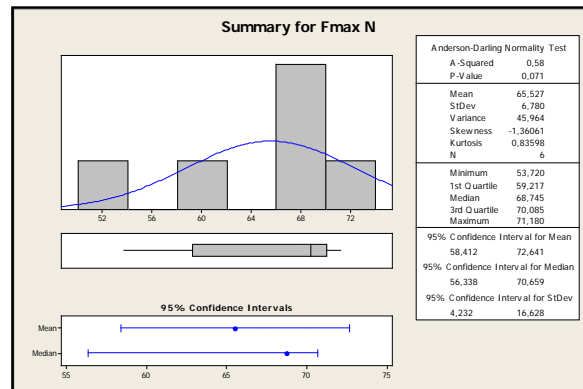
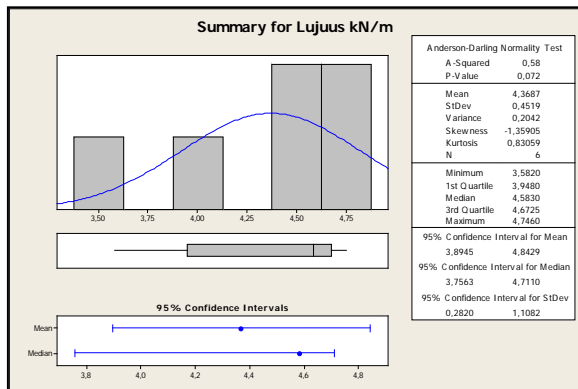
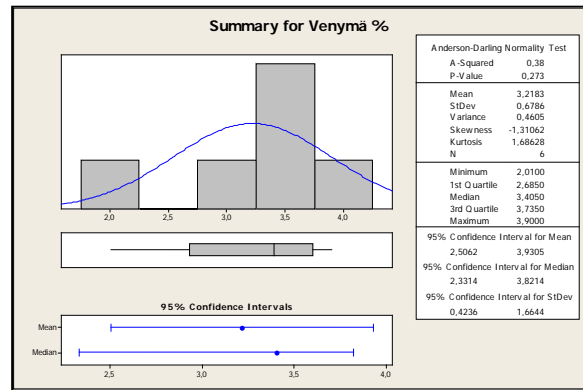
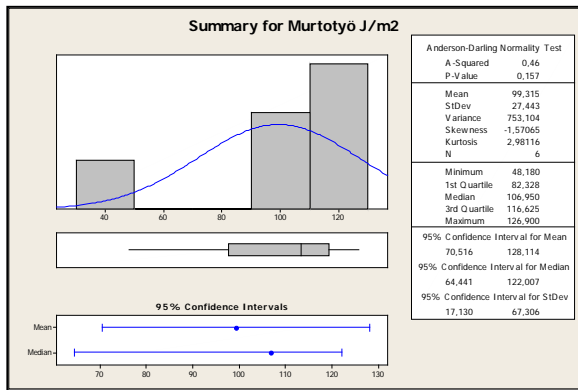


Kuva 8. Kokeen nro 7 sileyden ohjauskortti.

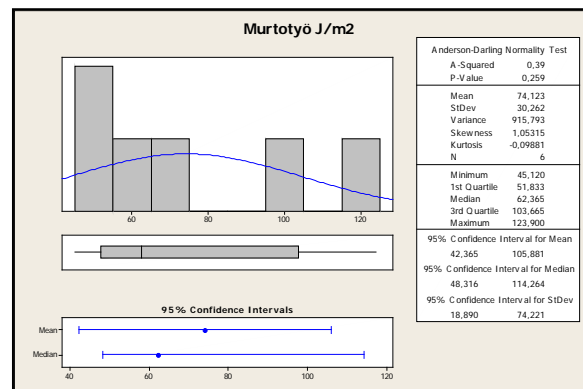
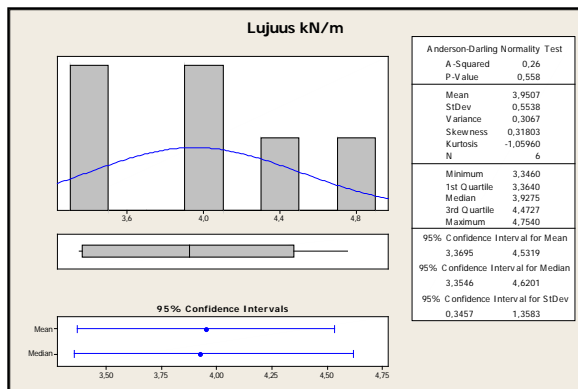
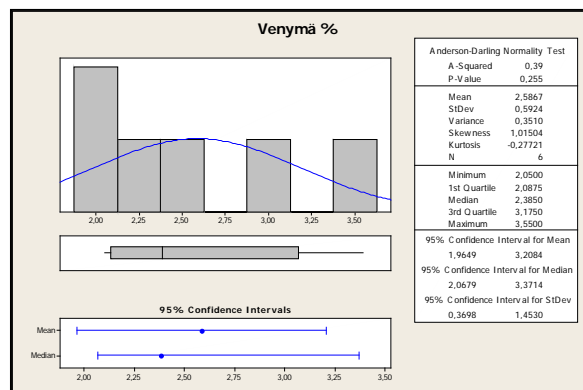
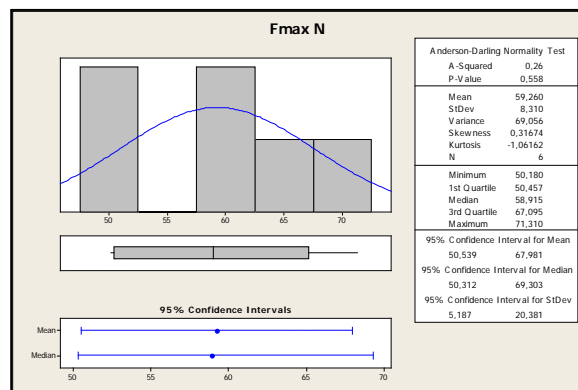


Kuva 9. Kokeen nro 8 sileyden ohjauskortti.

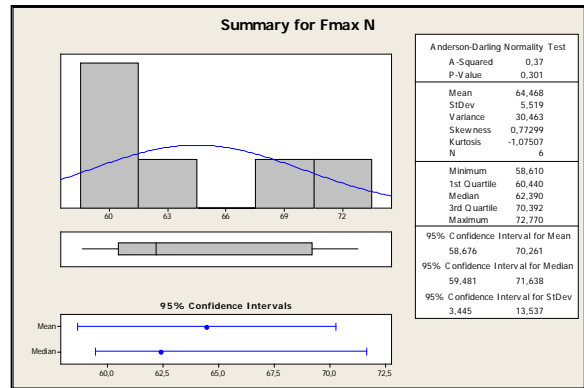
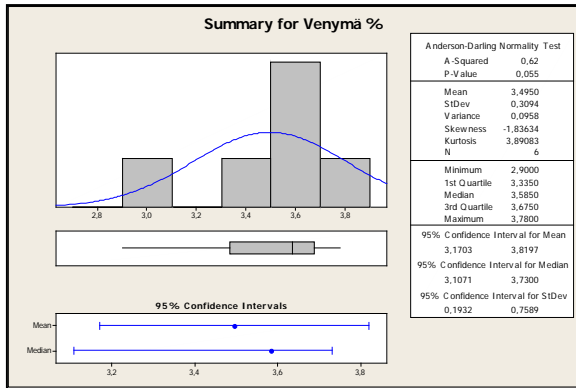
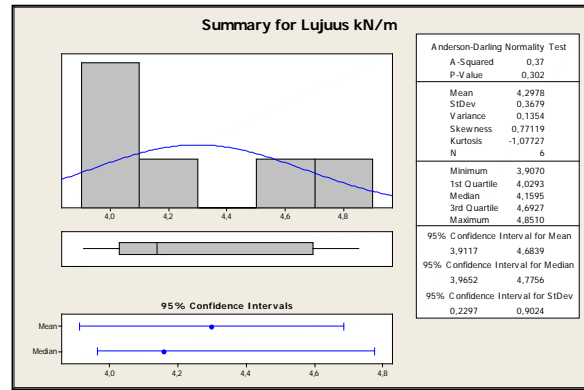
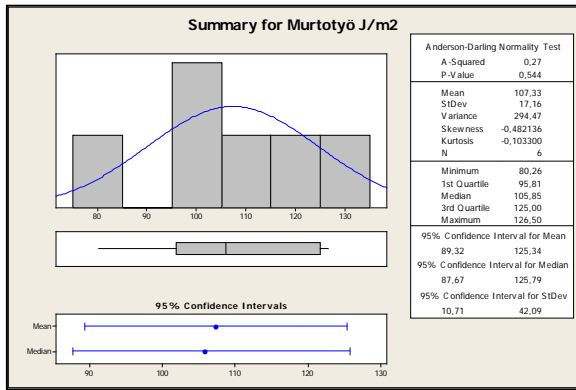
Lujuusmittausten kuvaajat



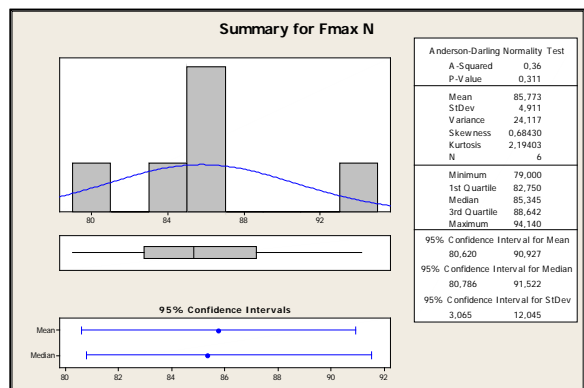
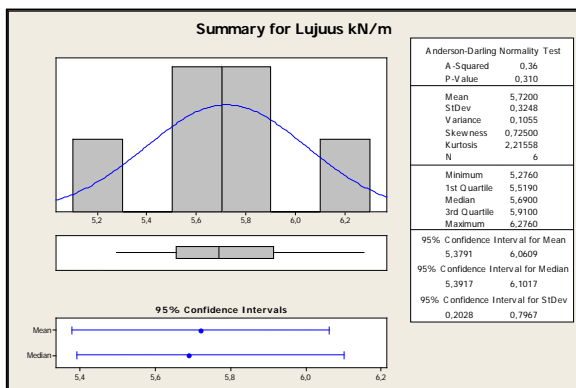
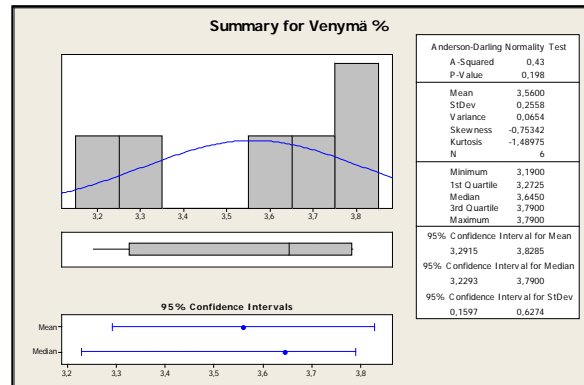
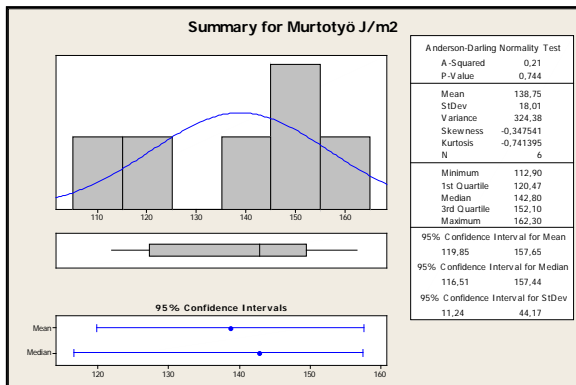
Kuva 10. Koe nro 1 lujuusmittaukset.



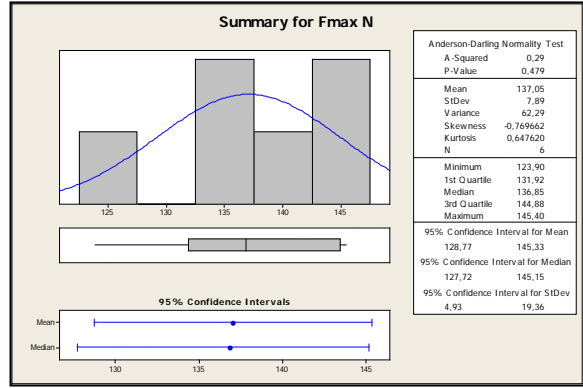
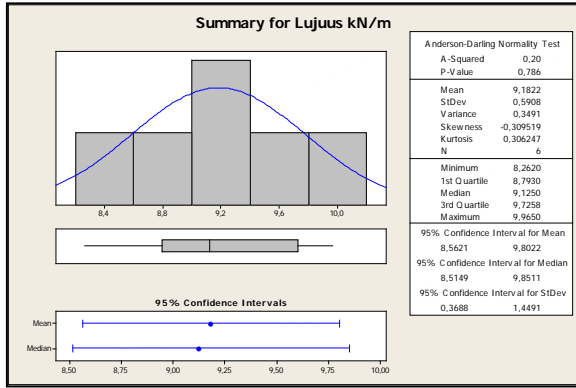
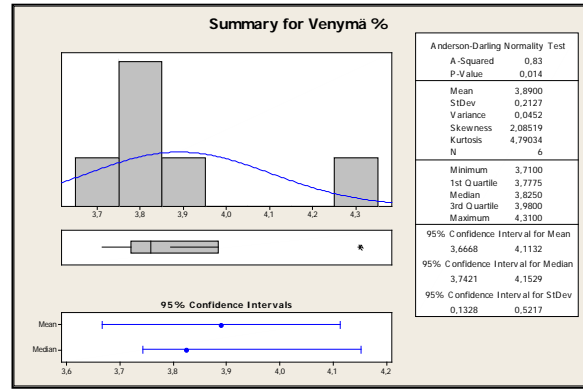
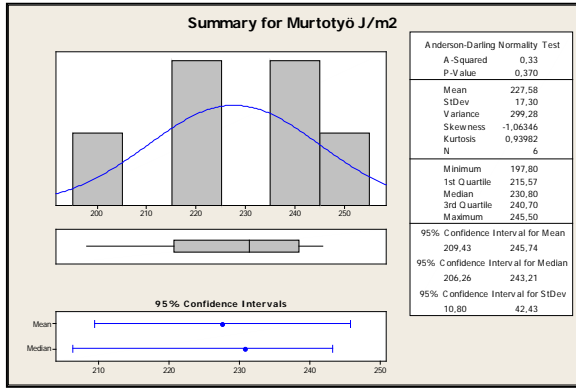
Kuva 11. Kokeen nro 2 lujuusmittaukset



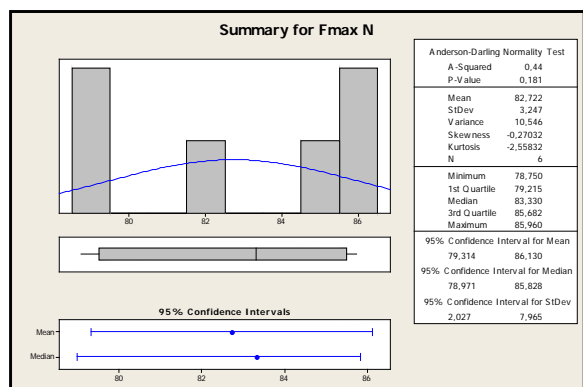
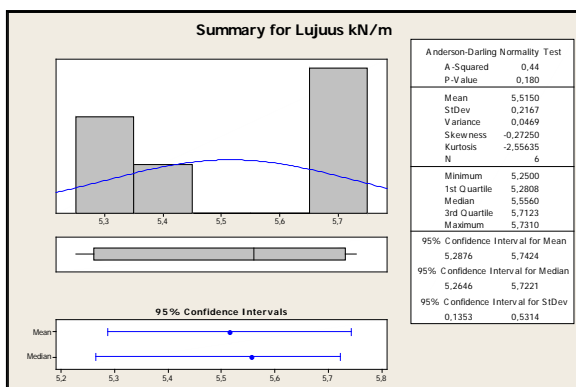
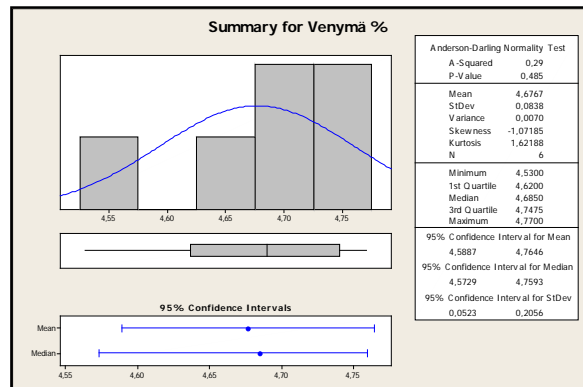
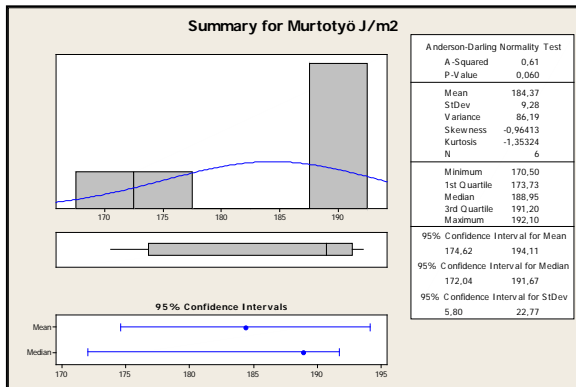
Kuva 13. Koe nro 3 lujuusmittaukset



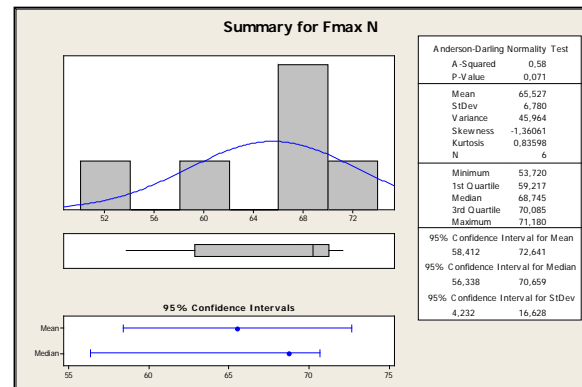
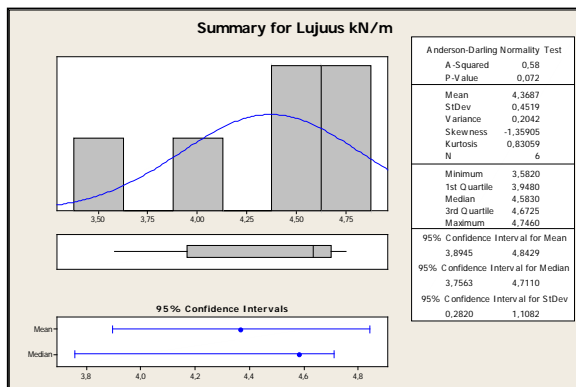
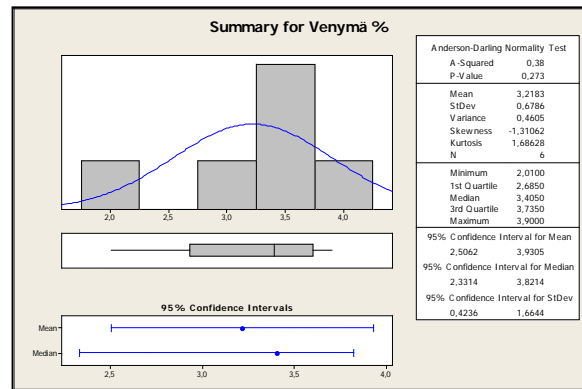
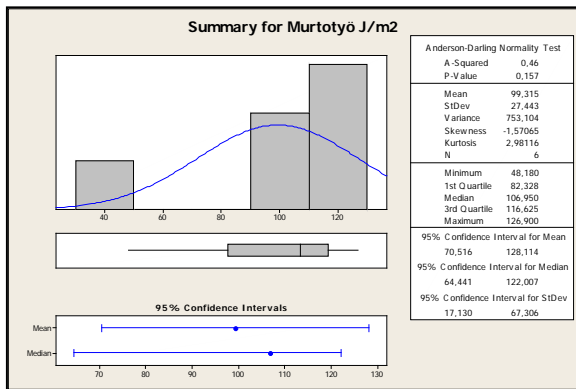
Kuva 14. Koe nro 4 lujuusmittaukset



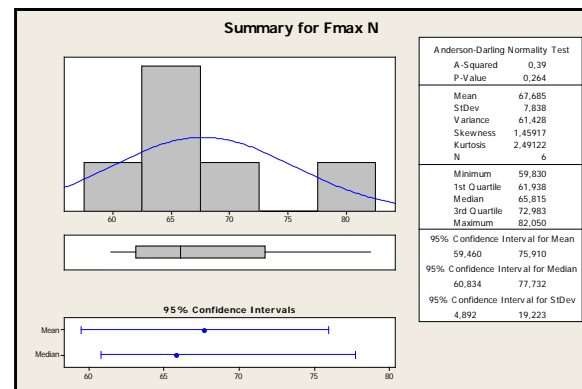
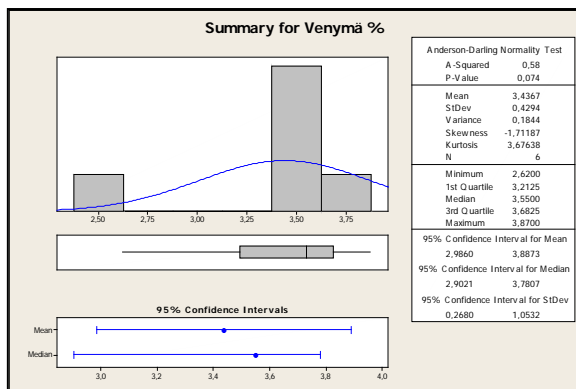
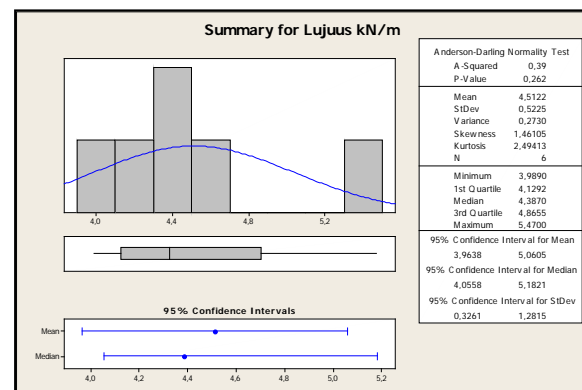
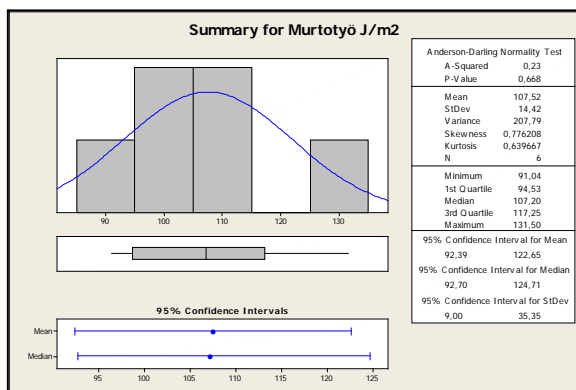
Kuva 15. kokeen nro 5 lujuusmittaukset



Kuva 16. Koe nro 6 lujuusmittaukset.



Kuva 17. Koe nro 7 lujuusmittaukset.



Kuva 18. Koe nro 8 lujuusmittaukset

Vaaleuksien ja opasiteetin kuvaajat

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJ0 NR0 1

Näyteste/rulla: _____

Puoli (YP/AP): _____

Toimintokoodi: _____

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	84,08	83,89	84,23	0,13
Arvo Y D65	88,70	88,37	88,94	0,20
Arvo Z D65	88,69	88,31	89,05	0,29
Arvo L* D65	95,45	95,32	95,56	0,08
Arvo a* D65	-0,04	-0,21	0,21	0,17
Arvo b* D65	4,47	4,36	4,58	0,08
Valkoisuus CIE + UV	68,44	67,92	69,13	0,53
Valkoisuus CIE - UV	68,07	67,51	68,72	0,52
R457 UV:n kanssa	83,18	82,76	83,54	0,29
R457 ilman UV:tä	82,84	82,37	83,19	0,31
hallitseva aallonpituus	575,4	574,9	576,1	0,5
Ärsykepuhtaus	4,31	4,12	4,47	0,13
Sirontakerroin	34,18	30,54	38,86	3,42
Absorptiokerroin	0,23	0,21	0,26	0,02
Opasiteetti	80,58	78,15	83,19	2,05

6 Aseta nippu

6 Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 19. Koe nro 1 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJ0 NR0 2

Näyteste/rulla: _____

Puoli (YP/AP): _____

Toimintokoodi: _____

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	86,90	86,16	87,54	0,44
Arvo Y D65	91,71	90,74	92,40	0,54
Arvo Z D65	93,42	92,35	93,94	0,56
Arvo L* D65	96,70	96,30	96,98	0,22
Arvo a* D65	-0,09	-0,28	0,23	0,17
Arvo b* D65	3,34	3,11	3,58	0,16
Valkoisuus CIE + UV	76,72	75,52	77,93	0,80
Valkoisuus CIE - UV	76,32	75,05	77,41	0,79
R457 UV:n kanssa	87,48	86,43	87,99	0,55
R457 ilman UV:tä	87,12	86,05	87,59	0,55
hallitseva aallonpituus	575,3	574,4	576,6	0,7
Ärsykepuhtaus	3,16	2,89	3,33	0,18
Sirontakerroin	81,59	77,02	90,37	4,96
Absorptiokerroin	0,29	0,27	0,32	0,02
Opasiteetti	92,53	91,86	93,63	0,66

6 Aseta nippu

6 Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 20. Koe nro 2 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJO NRO3

Näyteste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	86,89	86,63	87,06	0,16
Arvo Y D65	91,62	91,18	91,86	0,26
Arvo Z D65	93,03	92,35	93,53	0,40
Arvo L* D65	96,66	96,48	96,76	0,11
Arvo a* D65	0,06	-0,11	0,35	0,17
Arvo b* D65	3,54	3,35	3,70	0,13
Valkoisuus CIE + UV	75,73	74,60	76,80	0,75
Valkoisuus CIE - UV	75,33	74,12	76,38	0,75
R457 UV:n kanssa	87,09	86,41	87,56	0,39
R457 ilman UV:tä	86,75	86,06	87,24	0,40
hallitseva aallonpituus	575,8	575,1	576,8	0,6
Ärsykepuhtaus	3,46	3,22	3,69	0,17
Sirontakerroin	51,83	49,75	54,94	2,12
Absorptiokerroin	0,19	0,18	0,20	0,01
Opasiteetti	86,33	85,66	87,26	0,66

6

6

Aseta rippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 21. Koe nro 3 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJO NRO 4

Näyteste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,67	85,06	85,98	0,33
Arvo Y D65	90,46	89,80	90,82	0,36
Arvo Z D65	90,23	89,66	90,67	0,33
Arvo L* D65	96,19	95,92	96,34	0,15
Arvo a* D65	-0,18	-0,24	-0,14	0,04
Arvo b* D65	4,65	4,58	4,71	0,05
Valkoisuus CIE + UV	69,52	69,11	70,11	0,33
Valkoisuus CIE - UV	68,77	67,12	69,50	0,83
R457 UV:n kanssa	84,70	84,17	85,11	0,31
R457 ilman UV:tä	84,04	82,10	84,70	0,96
hallitseva aallonpituus	575,1	574,9	575,2	0,2
Ärsykepuhtaus	4,36	4,33	4,50	0,09
Sirontakerroin	45,70	42,26	51,08	3,51
Absorptiokerroin	0,21	0,20	0,24	0,02
Opasiteetti	84,98	83,56	86,87	1,31

6

6

Aseta rippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 22. Koe nro 4 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJO NRO 5

Näyteste/rolla: 6

Puoli (YP/AP): 6

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,22	85,06	85,32	0,11
Arvo Y D65	89,87	89,71	89,98	0,12
Arvo Z D65	88,79	88,52	89,06	0,22
Arvo L* D65	95,94	95,88	95,99	0,05
Arvo a* D65	0,02	0,00	0,05	0,02
Arvo b* D65	5,24	5,05	5,47	0,15
Valkoisuus CIE + UV	66,25	65,27	66,95	0,66
Valkoisuus CIE - UV	65,84	64,87	66,51	0,62
R457 UV:n kanssa	83,36	83,11	83,59	0,20
R457 ilman UV:tä	83,02	82,79	83,20	0,18
hallitseva aallonpituus	575,7	575,6	575,7	0,1
Ärsykepuhtaus	5,11	4,90	5,34	0,16
Sirontakerroin	44,88	40,40	51,44	3,91
Absorptiokerroin	0,24	0,21	0,27	0,02
Opasiteetti	85,03	83,09	87,35	1,50

Buttons: Aseta rippu, Mustaontelo, seuraava näyte, R% kuvaaja, Tulosta, ASCII Output, Tallenna, Tietokannasta, Peruuta

Kuva 23. Koe nro 5 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJO NRO 6

Näyteste/rolla: 6

Puoli (YP/AP): 6

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	82,34	82,17	82,49	0,13
Arvo Y D65	86,47	86,29	86,63	0,14
Arvo Z D65	83,72	83,40	83,99	0,25
Arvo L* D65	94,51	94,43	94,58	0,06
Arvo a* D65	0,69	0,64	0,77	0,05
Arvo b* D65	6,43	6,25	6,58	0,12
Valkoisuus CIE + UV	57,19	56,37	58,04	0,62
Valkoisuus CIE - UV	56,76	56,00	57,55	0,58
R457 UV:n kanssa	78,61	78,34	78,84	0,22
R457 ilman UV:tä	78,27	78,00	78,49	0,21
hallitseva aallonpituus	577,2	577,0	577,4	0,1
Ärsykepuhtaus	6,41	6,31	6,53	0,08
Sirontakerroin	41,99	40,95	43,71	1,15
Absorptiokerroin	0,41	0,40	0,43	0,01
Opasiteetti	86,06	85,59	86,78	0,50

Buttons: Aseta rippu, Mustaontelo, seuraava näyte, R% kuvaaja, Tulosta, ASCII Output, Tallenna, Tietokannasta, Peruuta

Kuva 24. Koe nro 6 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJO NRO 7

Näyteste/rulla: 6

Puoli (YP/AP): 6

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	87,42	86,74	87,80	0,46
Arvo Y D65	92,31	91,56	92,75	0,50
Arvo Z D65	94,30	93,78	94,79	0,41
Arvo L* D65	96,95	96,64	97,13	0,21
Arvo a* D65	-0,20	-0,25	-0,13	0,06
Arvo b* D65	3,17	2,99	3,34	0,12
Valkoisuus CIE + UV	78,12	77,58	78,70	0,38
Valkoisuus CIE - UV	77,70	77,12	78,21	0,38
R457 UV:n kanssa	88,30	87,82	88,77	0,39
R457 ilman UV:tä	87,95	87,48	88,38	0,37
hallitseva aallonpituus	574,8	574,5	575,3	0,3
Ärsykepuhtaus	3,02	2,80	3,10	0,12
Sirontakerroin	80,46	78,32	84,34	2,62
Absorptiokerroin	0,24	0,24	0,25	0,01
Opasiteetti	91,99	91,68	92,52	0,37

Aseta rippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 25. Koe nro 7 vaaleus ja opasiteetti.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOEAJO NRO 8

Näyteste/rulla: 6

Puoli (YP/AP): 6

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	84,58	84,39	84,72	0,12
Arvo Y D65	89,39	89,10	89,54	0,15
Arvo Z D65	90,15	89,66	90,37	0,28
Arvo L* D65	95,74	95,62	95,81	0,06
Arvo a* D65	-0,31	-0,35	-0,18	0,07
Arvo b* D65	3,94	3,82	4,08	0,10
Valkoisuus CIE + UV	71,54	70,64	72,12	0,58
Valkoisuus CIE - UV	71,14	70,27	71,64	0,54
R457 UV:n kanssa	84,56	84,10	84,76	0,26
R457 ilman UV:tä	84,22	83,76	84,42	0,25
hallitseva aallonpituus	574,4	574,3	574,9	0,3
Ärsykepuhtaus	3,72	3,56	3,97	0,14
Sirontakerroin	27,86	26,04	30,82	1,57
Absorptiokerroin	0,17	0,16	0,18	0,01
Opasiteetti	75,63	74,04	77,92	1,26

Aseta rippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

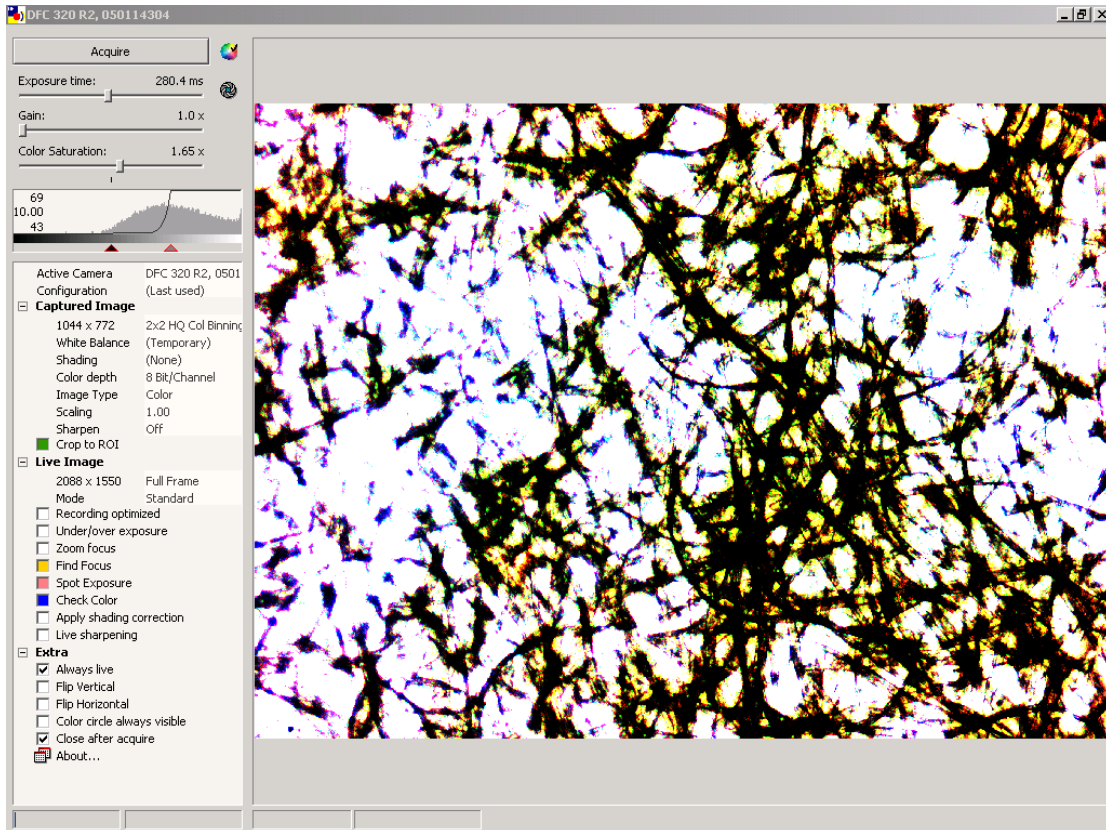
Tallenna

Tietokannasta

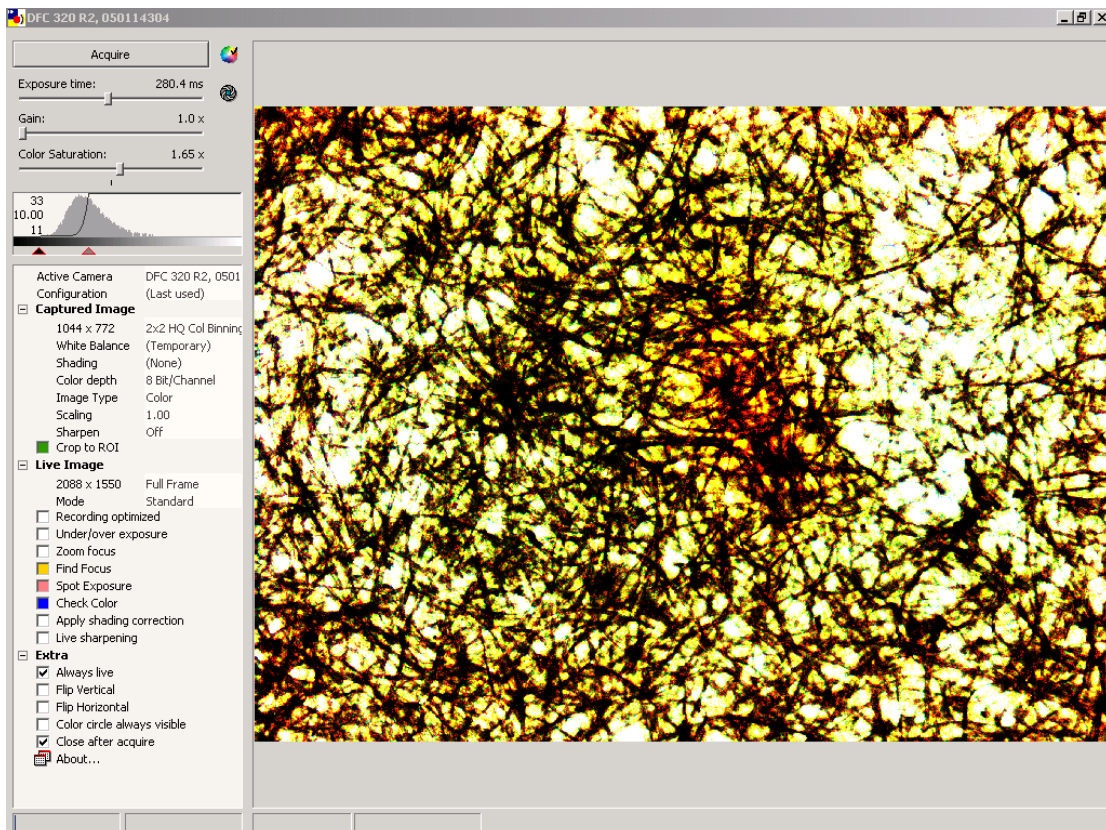
Peruuta

Kuva 26. Koe nro 8 vaaleus ja opasiteetti.

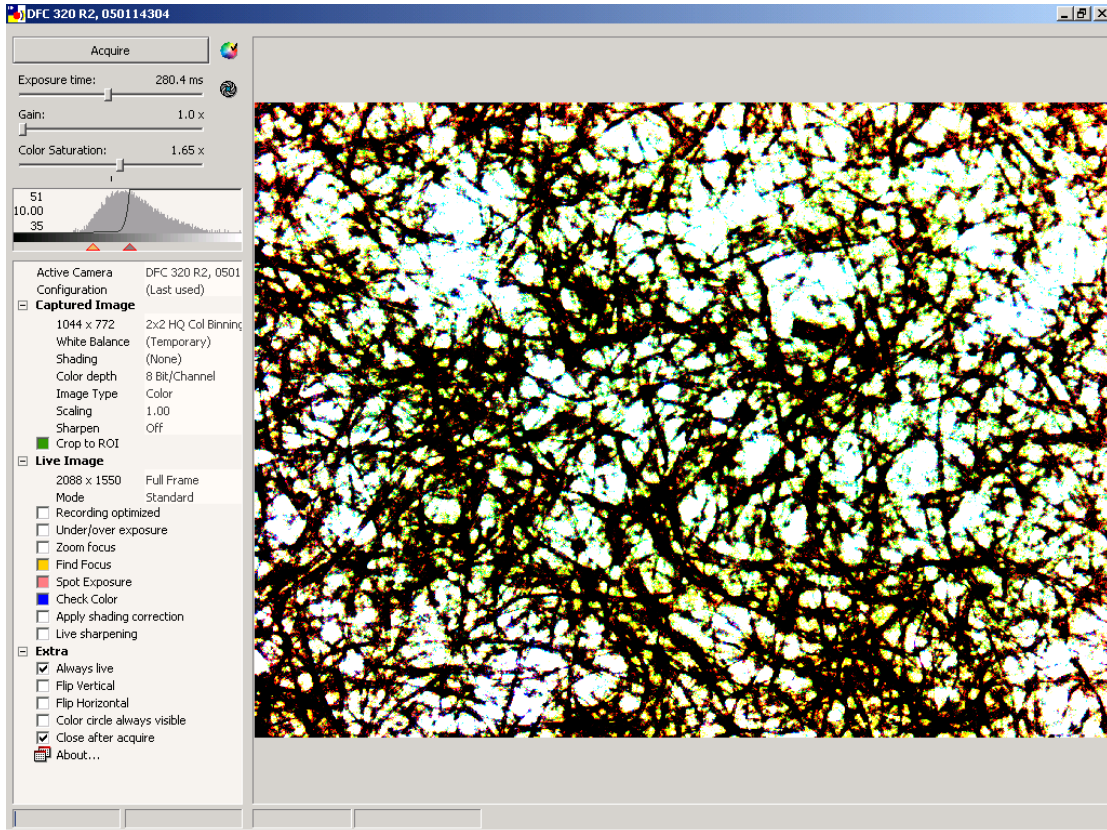
Kuituformaatioiden valokuvat



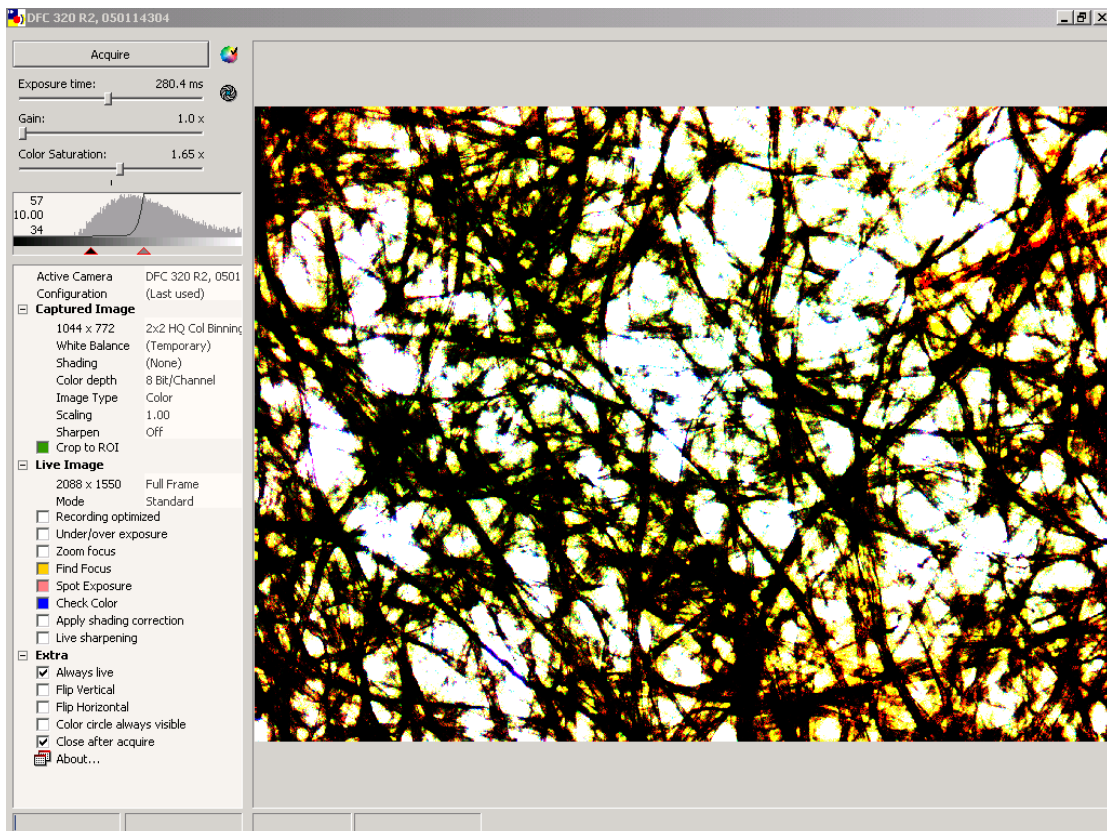
Kuva 27. Koe nro 1 kuituformaatio



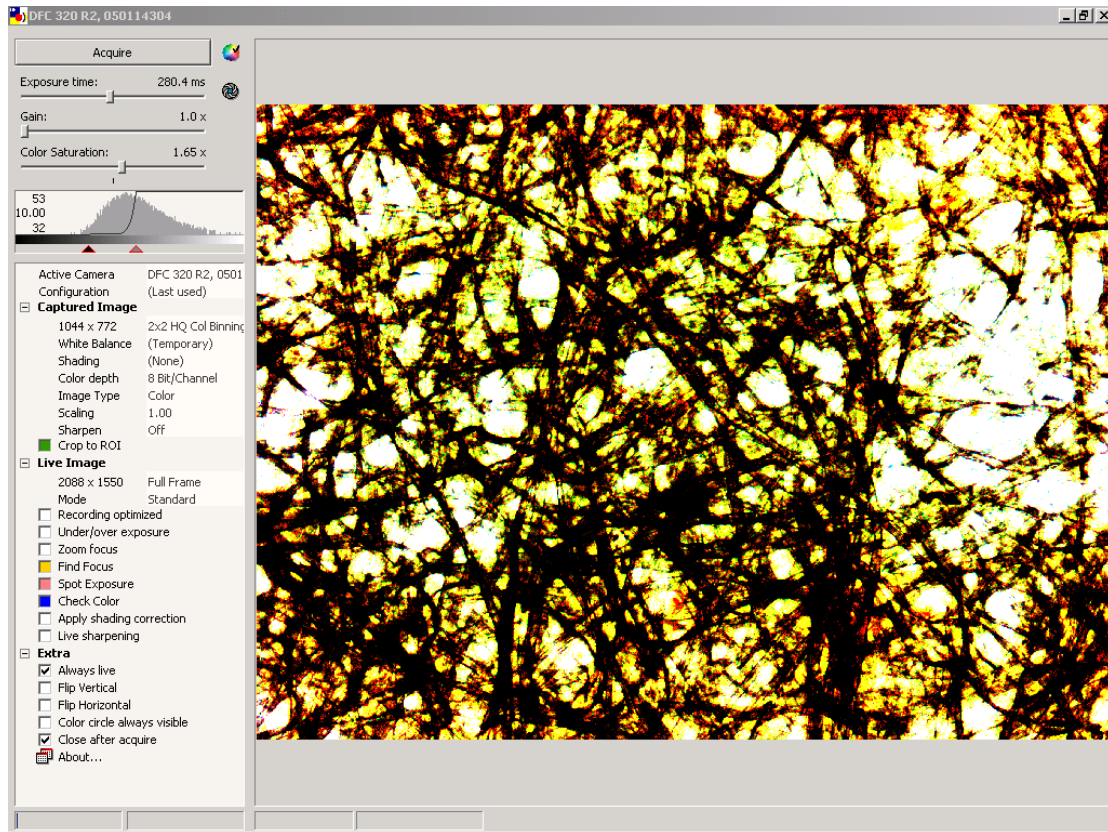
Kuva 28. Kokeen nro 2 kuituformaatio



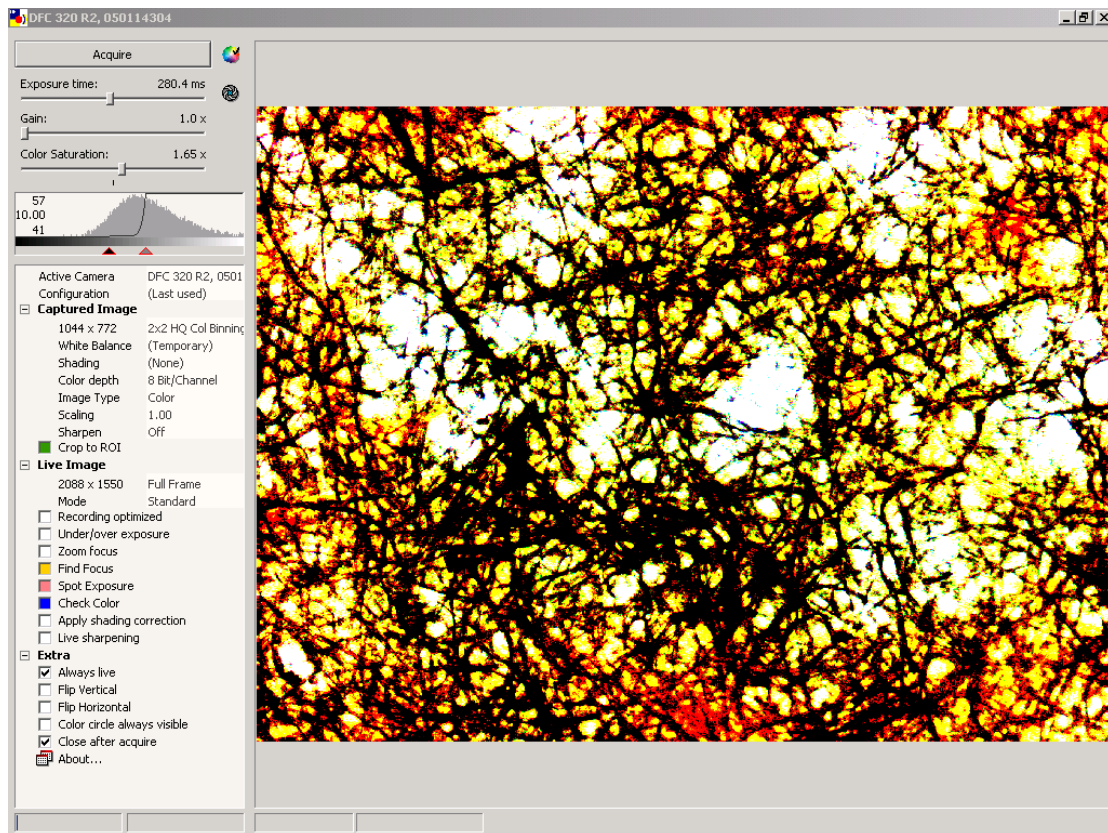
Kuva 29. Kokeen nro 3 kuituformaatio



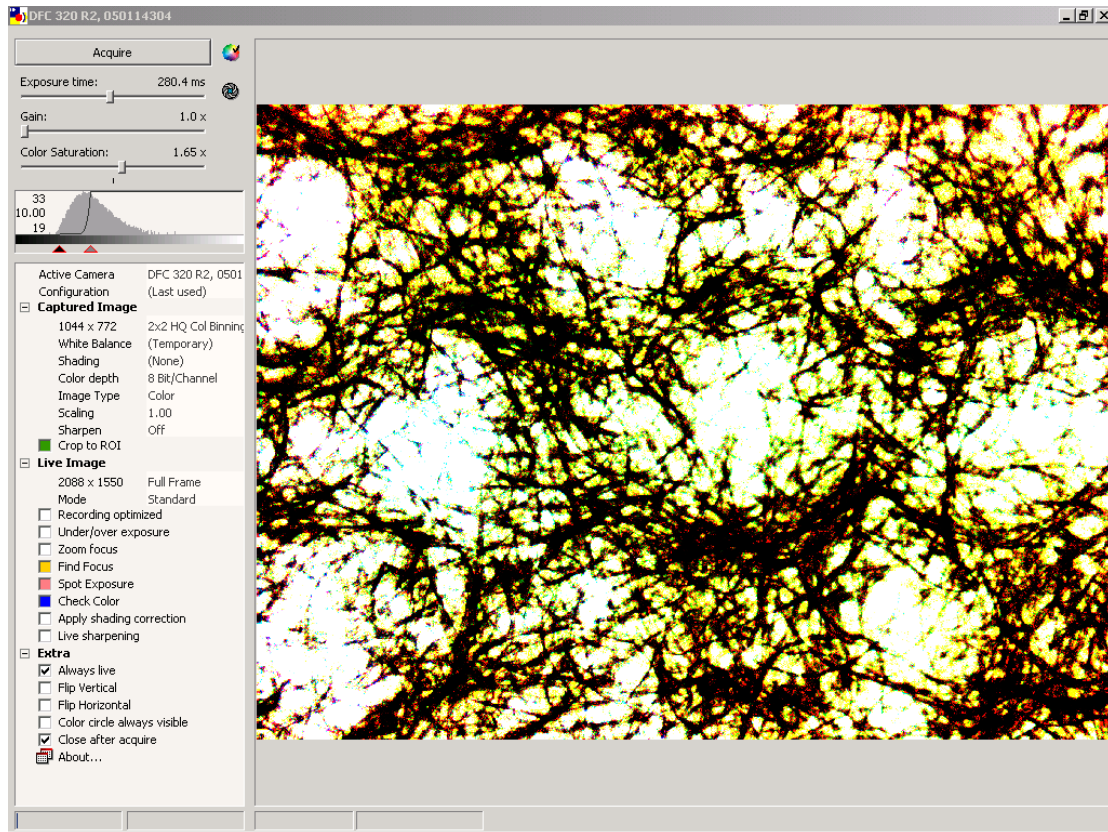
Kuva 30. Koe nro 4 kuituformaatio



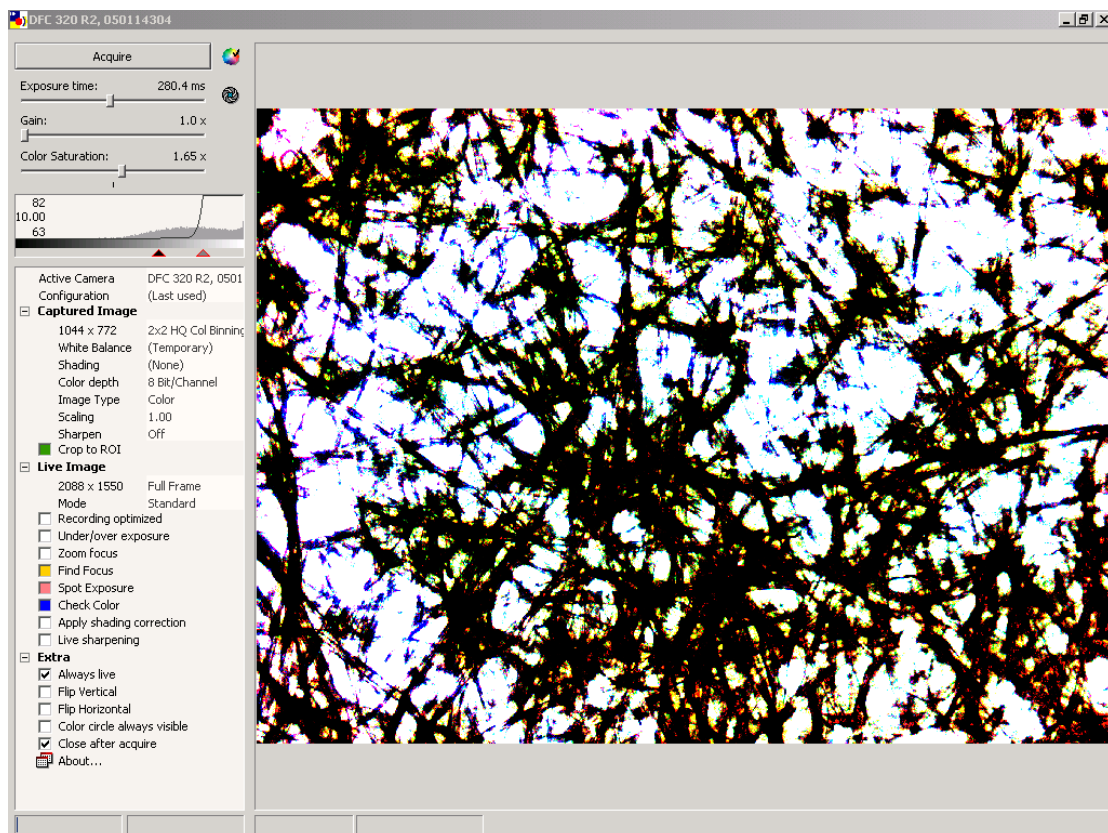
Kuva 31. Koe nro 5 kuituformaatio



Kuva 32. Koe nro 6 kuituformaatio

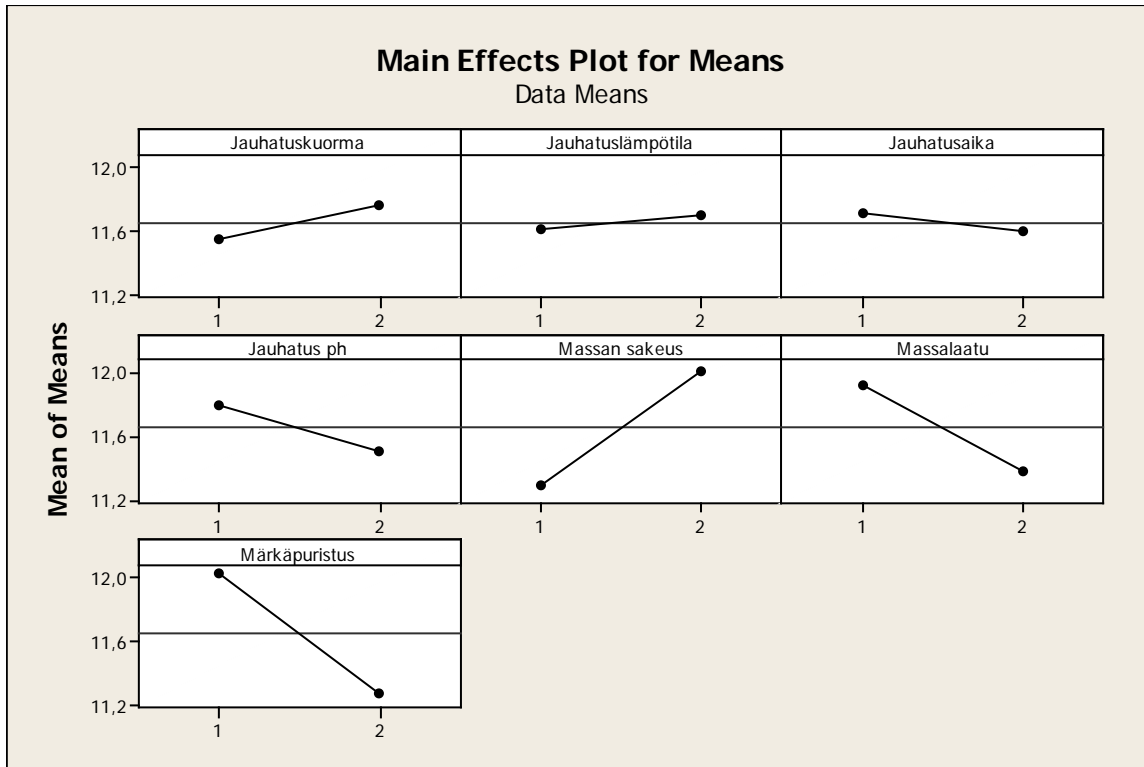


Kuva 33. Koe nro 7 kuituformaatio



Kuva 34. Koe nro 8 kuituformaatio

Vastekuvaaja ja vastetaulukko



Kuva 35. Vastekuvaaja ja vastetaulukko

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E	F	G
1	11,54	11,64	11,76	11,80	11,34	11,90	12,12
2	11,83	11,73	11,61	11,57	12,03	11,47	11,25
Delta	0,29	0,09	0,14	0,24	0,68	0,42	0,86

Rank 4 7 6 5 2 3 1

$$\mu = T + (x_1 - T) + (x_2 - T) + (x_3 - T) + (x_4 - T) + (x_5 - T)$$

Jossa

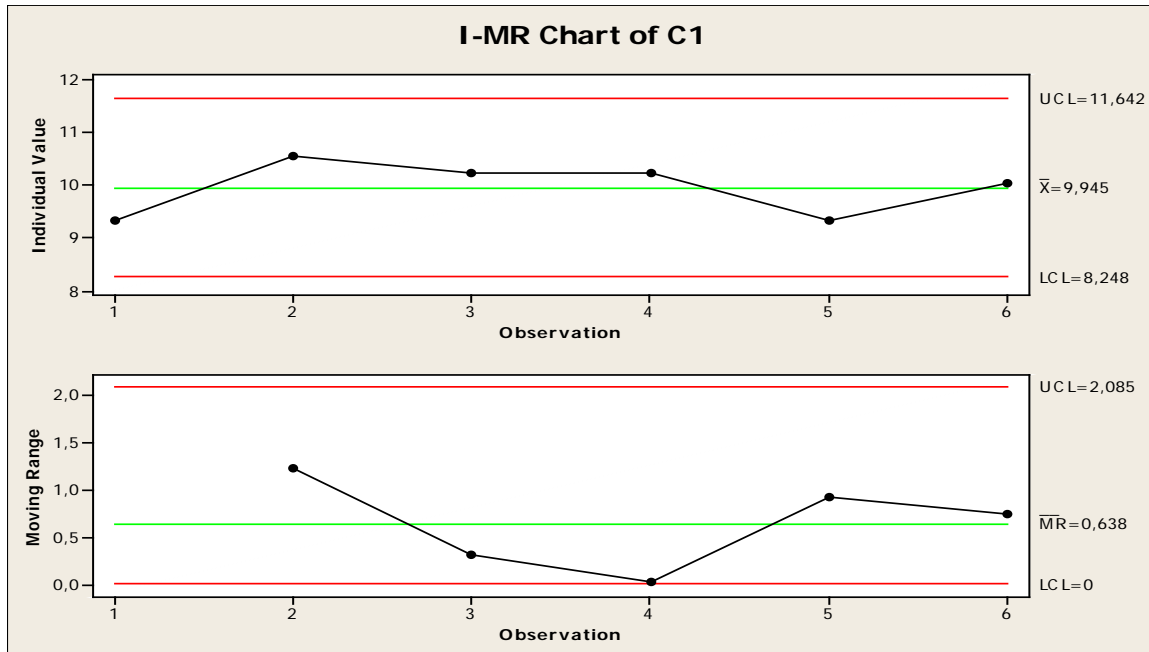
μ =ennuste

T=kokeiden keskiarvo

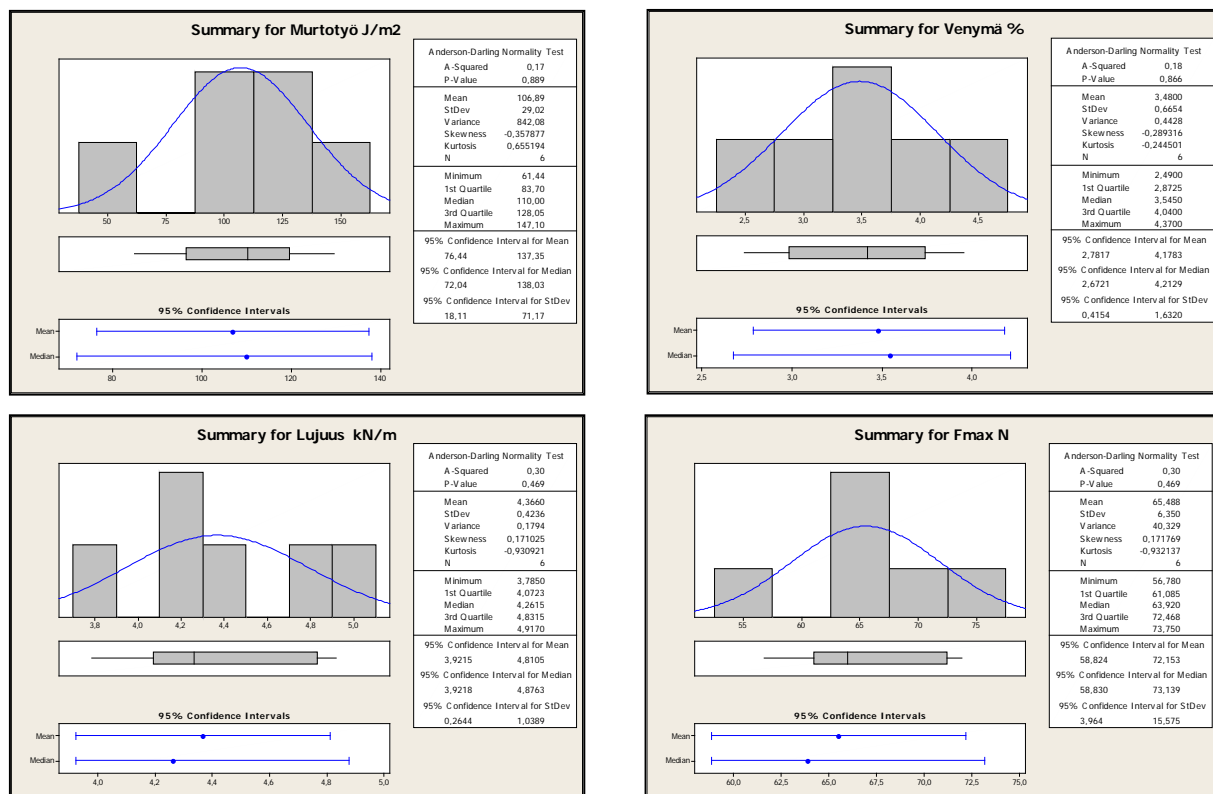
x=yksittäinen muuttuja

Ennusteyhtälö

Konfirmaatiokokeen mittaustulokset



Kuva 36. Konfirmaatiokokeen sileyden ohjauskortti.



Kuva 37. Konfirmaatiokokeen lujuusmittaukset.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KONFIRMAATIO KODE 6

Näytepiste/rulla: 6

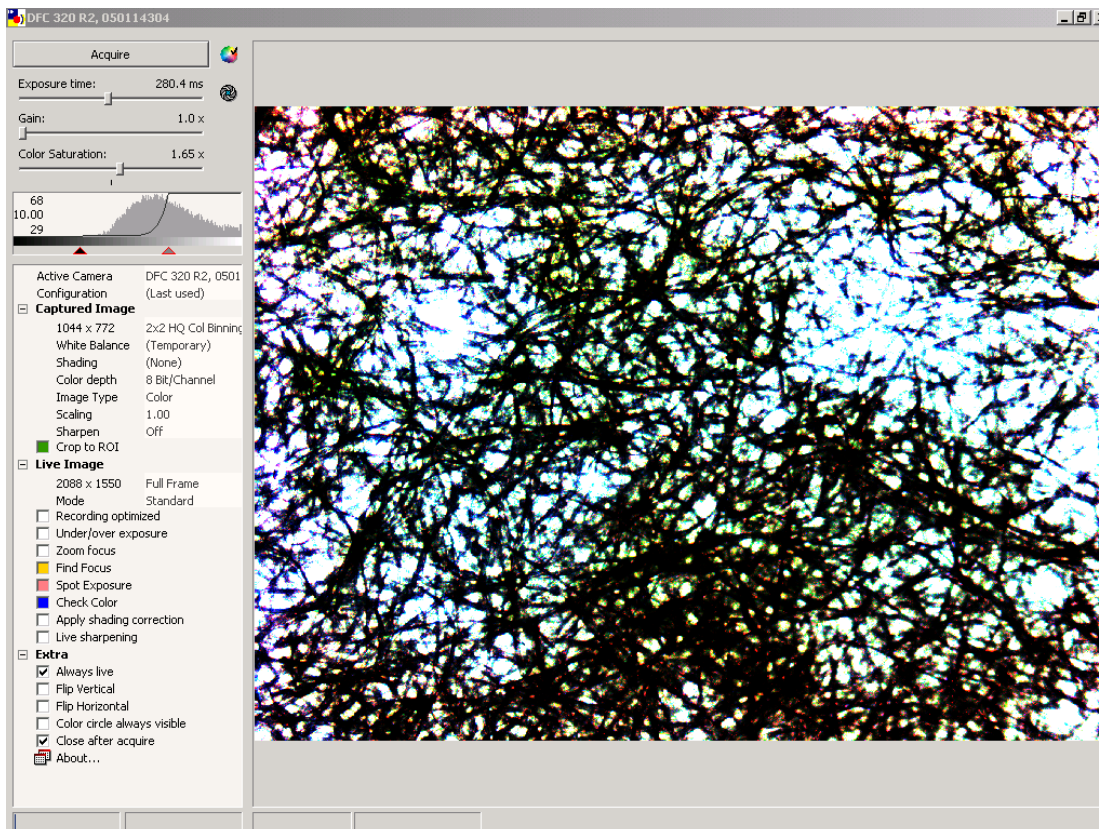
Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,30	84,76	85,84	0,46
Arvo Y D65	90,17	89,57	90,77	0,50
Arvo Z D65	92,33	91,75	92,92	0,48
Arvo L* D65	96,07	95,82	96,31	0,21
Arvo a* D65	-0,34	-0,40	-0,31	0,03
Arvo b* D65	2,99	2,96	3,06	0,04
Valkoisuus CIE + UV	76,67	76,16	77,19	0,40
Valkoisuus CIE - UV	76,18	75,66	76,64	0,35
R457 UV:n kanssa	86,49	85,95	87,05	0,44
R457 ilman UV:tä	86,11	85,57	86,64	0,43
hallitseva aallonpituus	574,0	573,7	574,3	0,2
Ärsykepuhtaus	2,73	2,71	2,90	0,09
Sirontakerroin	41,19	40,15	42,14	0,88
Absorptiokerroin	0,21	0,21	0,22	0,00
Opasiteetti	83,38	82,89	83,80	0,41

Buttons: Aseta rippu, Mustaontelo, seuraava näyte, R% kuvaaja, Tulosta, ASCII Output, Tallenna, Tietokannasta, Peruuta

Kuva 38. Konfirmaatiokoneen vaaleus ja opasiteetti.



Kuva 39. Konfirmaatiokokeen formaatio.