

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Paperitekniiikan koulutusohjelma  
Leena Emilia Ilves

Opinnäytetyö

## **Superkalanterin polymeeritelojen vaikutus LWC- paperin laatuun**

Työn ohjaaja  
Työn tilaaja

lehtori, tekniikan lisensiaatti Päivi Viitaharju  
UPM-Kymmene Oyj Kaipola, ohjaajana tuotantopäällikkö,  
insinööri Kari Mäki

Tampere 4/2009

Työn tekijä	Leena Emilia Ilves
Työn nimi	Superkalanterin polymeeritelojen vaikutus LWC-paperin laatuun
Sivumäärä	34+12 liitettä
Valmistumisaika	4/2009
Työn ohjaaja	lehtori, tekniikan lisensiaatti Päivi Viitaharju
Työn tilaaja	UPM-Kymmene Oyj Kaipola, ohjaajana tuotantopäällikkö, insinööri Kari Mäki

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia superkalanterille jo hankittujen polymeeripinnoitteisten pehmeiden telojen vaikutusta LWC-paperin laatuominaisuuksiin.

Teoriaosassa tarkastellaan superkalanterointia prosessina, sen muuttujia ja hallintasuureita sekä kalanteroitumismekanismeja. Lisäksi perehdyttiin polymeeriteloihin ja niiden ominaisuuksiin.

Työn kokeellinen osa jakautui kahtia. Ensimmäisessä osassa seurattiin noin vuoden ajan paperin pintaominaisuuksia (kiilto, PPS ja Heliotesti) paperin laatutietojen seurantajärjestelmästä ja analysoitiin niitä t-testin avulla. Toisessa osassa verrattiin kahdella eri superkalanterilla ajettuja papereita toisiinsa niin, että toisessa superkalanterissa oli ylimpänä teloina kolme polymeeritelaa ja toisessa superkalanterissa kaikki telat olivat perinteisiä villa-puuvillateloja.

Yhden tai kahden tai vielä kolmenkaan polymeeritelan ei havaittu vaikuttavan laatuun niin merkittävästi, että se olisi huomattu t-testillä teollisuudessa yleisesti käytettävällä viiden prosentin riskitasolla. Polymeeritelojen käytöstä johtuva laadun huononeminen on pienempää kuin ilman polymeeriteloja tapahtuva normaali satunnainen laatuvihtelu. Paperin laatu pysyi kaikkien tutkittujen laatusuureiden kohdalla edelleen selvästi hylkäysrajojen yläpuolella.

Vaikka osa vertailusarjoista oli lyhyitä, voidaan muiden prosessiin tehtyjen muutosten todeta ylittäneen suurusluokaltaan polymeeritelojen vaikutuksen laatuun.

Näiden tulosten perusteella polymeeriteloja voidaan käyttää suunnitelluissa positioissa laadun merkittävästi heikkenemättä.

Writer	Leena Emilia Ilves
Thesis	The effect of supercalender polymer rolls on LWC-paper quality
Pages	34+12 appendixes
Graduation time	4/2009
Thesis supervisor	lecturer, Licentiate in Technology Päivi Viitaharju
Co-operating company	UPM-Kymmene Inc., supervisor production manager, engineer Kari Mäki

---

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to examine the effect of polymer covered soft supercalender rolls on LWC-paper quality. The rolls were already acquired and installed.

The theory part of the thesis covers supercalendering as a process, variables that affect the process, the control variables and also the mechanisms of calendering. In addition the properties of polymer rolls were studied in general.

The practical part of the thesis was divided in two parts. In the first part surface properties of the paper were monitored for about a year and the results were analyzed using t-test method. The properties monitored were gloss, PPS-roughness and Heliotest. Values were gathered from mill quality control system. In the second part a trial run was conducted. In the trial run the other supercalender had three polymer rolls installed in the first three positions and the other one had conventional filled rolls. The properties of the paper were then compared between the different supercalenders.

Having one, two or even three polymer rolls installed in the supercalender didn't affect the quality of the paper so much, that it could have been detected using the t-test method with 5 percent risk level commonly used in the industry. Decrease in quality coming from the use of polymer rolls is lower than normal random quality variation coming from the paper process itself. Paper quality still remained better than any rejection limits throughout the tests.

Although some of the trial series were quite small, it's safe to say that process variations exceed the effect of polymer rolls on paper quality.

According to these result it's safe to use supercalender polymer rolls in the planned positions without compromising paper quality.

## **Esipuhe**

Haluan kiittää työni ohjaajaa insinööri Kari Mäkeä ja ohjaajaa Päivi Viitaharjua tuesta ja neuvoista opinnäytetyötä tehdessäni.

Lisäksi haluan kiittää osastomestari Pekka Kivivasaraa työitäni koskevista tiedoista. Kehitysteknikko Kari Salosta haluan kiittää opastuksesta Tupla-järjestelmän kanssa sekä testiohjelmasta.

Kiitokset kuuluvat myös superkalantereiden ajomiehille, heidän kokemuksensa ja neuvonsa ovat olleet suureksi avuksi – erityisen lämpimästi haluan kiittää Seppo Turkkia, joka kärsivällisesti jaksoi mm. metsästää kanssani puuttuvia telanvaihtotietoja.

Ja tietysti isot kiitokset myös perheelleni: Pekalle kärsivällisyydestä ja rohkaisusta sekä äidille ja isukille korvaamattomasta lapsenvahtiavusta. Ilman heitä työni olisi tuskin valmistunut ajallaan.

Tampereella 2009

Leena Emilia Ilves

## SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto .....	6
------------------	---

### KIRJALLINEN OSA

2 Kalanterointitapahtuma .....	7
2.1 Kalanteroitumismekanismit .....	7
2.1.1 Puristuminen paksuussuunnassa .....	8
2.1.2 Päällysteen siirtyminen .....	8
2.1.3 Partikkelien suuntautuminen .....	9
2.1.4 Jäljentyminen .....	9
3 Superkalanterointi .....	9
3.1 Superkalanterin rakenne .....	9
3.2 Superkalanterin telat .....	10
3.2.1 Pehmeät telat .....	10
3.2.2 Kuitutelat .....	10
3.2.3 Polymeeritelat .....	12
3.2.4 Polymeeritelat verrattuna perinteisiin kuituteloihin .....	13
3.3 Superkalanteroinnin muuttujat ja hallintasuureet .....	14
3.3.1 Linjapaine ja nippien lukumäärä .....	15
3.3.2 Paperin plastisuus .....	15
3.3.3 Lämpötila ja kosteus .....	16
3.3.4 Käsittelyaika ja ajonopeus .....	17
3.3.5 Telojen vaikutus .....	17
3.4 Superkalanteroinnin vaikutukset paperin ominaisuuksiin .....	18
3.5 Superkalanterointi Kaipolan PK6:lla .....	22

### KOKEELLINEN OSA

4 Kokeellisen osan tausta ja tavoitteet .....	24
5 T-testi .....	25
6 Laadun tarkkailu Tupla-järjestelmästä .....	26
7 Kolmen polymeeritelan koeajo .....	28
8 Tulosten luotettavuuden arviointi .....	31
9 Päätelmiä .....	32
10 Jatkotutkimusehdotuksia .....	33
Lähteet .....	34
Liitteet .....	35
Liite 1: T-jakaumataulukko .....	35
Liite 2: Laatuarvojen kuvaajat, CR50US .....	36
Liite 3: Laatuarvojen kuvaajat, CR60UL .....	40
Liite 4: Laatuarvojen kuvaajat, CR48KA .....	44
Liite 5: T-testitaulukot .....	45

# 1 Johdanto

Superkalanterointi on LWC-paperin valmistuksessa se prosessin osa, jossa viimeistellään paperin pintaominaisuudet. Kiilto ja etenkin sileys ovat tärkeitä ominaisuuksia varsinkin käytettäessä painomenetelmänä syväpainoa.

Paperikoneen ajonopeuden kasvaessa on ilmennyt tarve saada lisättyä superkalantereiden läpäisyä. Superkalantereiden ajonopeutta on mahdotonta nostaa, joten lisätehokkuus on saavutettava muilla keinoin. Käytännössä ainoa keino on vähentää superkalantereiden seisonta-aikaa esimerkiksi telojen vaihtoja vähentämällä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää PK6:lla koeajossa olevien polymeeripinnoitteisten pehmeiden telojen vaikutusta LWC-paperin laatuominaisuuksiin. Telojen vaikutusta tutkittiin kahdella tavalla. Työn kirjallisessa osassa tarkasteltiin superkalanterointia prosessina, sen muuttujia ja hallintasuureita sekä kalanteroitumismekanismeja. Lisäksi perehdyttiin polymeeriteloihin ja niiden ominaisuuksiin.

Kokeellisessa osassa tarkasteltiin laatuarvoja reilun vuoden seuranta-ajalta ja ajettiin kolmen polymeeritelan koeajo. Tässä koeajossa vertailtiin kahdella eri superkalanterilla ajettua paperia, kun toisen kalanterin telapakassa oli kolme polymeeritelaa ja toisessa vain kuituteloja.

## KIRJALLINEN OSA

### 2 Kalanterointitapahtuma

Kalanteroinnilla tarkoitetaan tapahtumaa, jossa paperiraina johdetaan yhden tai useamman toisiaan vasten pyörivän telan välistä. Puristusalueella eli nipissä pyritään säätämään paperin paksuutta, tiheyttä, kiiltoa ja sileyttä halutun suuruisiksi.

Superkalanteroinnilla tarkoitetaan offline-kalanterointia, jossa paperi johdetaan vuoroitellen olevien kovien valurautatelojen ja pehmeiden kuitutelojen muodostaman telakan läpi. Superkalanterit ovat off-machine-laitteita, koska superkalanterin telat eivät kestä paperikoneen ajonopeuksia.

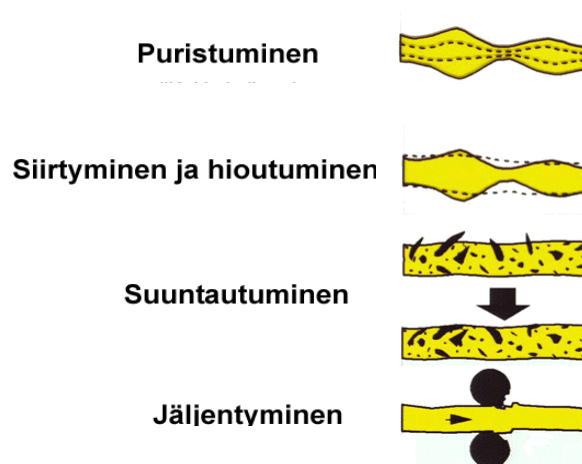
Superkalanteria käytetään pääasiassa painopapereiden kalanterointiin, jolloin pyritään saamaan paperille halutut painettavuusominaisuudet. Toinen superkalanteiden käyttöalue on irroke-, kondensaattori-, yms. erikoispapereiden kalanterointi, jolloin taas pyritään tiivistämään erityisesti paperirainan pinta esimerkiksi absorptio-ominaisuuksien takia. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007, Ehrola ym. 1999, 29–30)

#### 2.1 Kalanteroitumismekanismit

Sileyden ja kiillon syntymekanismit pyritään selittämään kuviossa 1 esiintyvillä neljällä tekijällä, jotka ovat

- koko rainan puristuminen
- aineen siirtyminen ja poistuminen
- partikkelien suuntautuminen ja
- kiillottavan pinnan jäljentyminen.

(VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)



Kuvio 1: Kalanteroitumismekanismit (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

Sileyden syntymisen kannalta oleellisia ovat puristuminen ja siirtyminen. Sen sijaan kiillon syntymiseen vaikuttavat enemmänkin partikkelien suuntautuminen ja kalanterin telan pinnan jäljentyminen. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

### **2.1.1 Puristuminen paksuussuunnassa**

Kalanterin telojen nipissä vaikuttavien rainaa vastaan kohtisuorien voimien vaikutuksesta raina puristuu kokoon paksuussuunnassa. Paperirainan plastisuudesta riippuu, kuinka pysyväksi tämä kokoonpuristuminen jää. Kokoonpuristumisen ansiosta rainan sileys paranee. Tämä johtuu toisaalta pintahuokosten keskimääräisestä pienentymisestä ja toisaalta huippujen puristumisesta laaksoja enemmän kasaan. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 205)

Laajempien huippukohtien tasaaminen edellyttää koko rainan tiivistämistä. Sen sijaan pintahuokosten pienentyminen saadaan aikaan pelkällä pinnan tiivistymisellä. Tarkasteltaessa asiaa yksittäisten partikkelien kannalta saadaan pintaominaisuudet paranemaan esimerkiksi sylinterimäisten ja pyöreiden partikkelien muuttuessa enemmän tasomaisiksi. Kokoonpuristuminen on hallitseva tapahtuma kalanteroinnissa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 205, VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

### **2.1.2 Päälysteen siirtyminen**

Paperin pinnan tasoittumista voi tapahtua myös niin, että ainetta siirtyy huippukohdista pintahuokosiin. Tämä siirtyminen voi olla joko plastista muodonmuutosta eli virtaamista tai partikkelien irtoamista. Irronnut päälystepartikkeli voi myös poistua pinnalta kokonaan, ja tällöin voidaan puhua päälysteen hioutumisesta. Pölyongelmien välttämiseksi pitäisi aineen siirtymisen kuitenkin tapahtua mieluummin virtaamisen avulla kuin irtoamalla. Pölyttömään partikkelien siirtymiseen voidaan vaikuttaa termoplastisen sideaineen ja kuumien metallitelojen avulla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 206, VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)



### 2.1.3 Partikkelien suuntautuminen

Paperin pinnan sileyden ja erityisesti kiillon kehittyminen riippuvat ratkaisevasti siitä, kuinka pinnan suuntaisia pinnassa olevat levymäiset ja pitkulaiset partikkelit ovat. Kiillotuksessa vaikuttavien kohtisuorien ja etenkin pinnan suuntaisten voimien vaikutuksesta saadaan tason suunnasta poikkeavat partikkelit kääntymään suunnilleen pinnan tason suuntaisiksi. Suuntautumista edistävät päällysteessä olevien sideaineiden pehmeneminen ja plastisoituminen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 205–206, VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

### 2.1.4 Jäljentyminen

On osoitettu kokeellisesti, että superkalanterin telojen pinnan epätasaisuudet jäljentyvät paperiin. Kokillitelan pinta on yleensä sileämpi ja tasaisempi kuin kuitu- tai polymeeritelan pinta. Tämän takia paperin pintaominaisuudet ovat paremmat kokillitelan kuin pehmeämmän telan puolella. Superkalanterin villa-puuvillateloilla on ainutlaatuinen ominaisuus muokkaantua kalanterissa pinnaltaan sileiksi ja kiiltäviksi. Jäljentymisefektiä tarvitaan erityisesti käytettäessä superkalanterilla polymeeriteloja, koska polymeeriteloilla muodostuu vähemmän pinnansuuntaisia voimia. Koska paperi toistaa telojen pintakuvion, riippuu saavutettava paperin sileys voimakkaasti telojen pintojen sileydestä. Jäljentymistä edistävä tekijä on paperin pinnan plastisuus. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 205, VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

## 3 Superkalanterointi

### 3.1 Superkalanterin rakenne

Superkalanteri on pystysuuntainen telapino, jossa on vuorotellen metalli- ja kuitupintaisia teloja. Koska metallipintaa vasten oleva paperin puoli kalanteroituu paremmin, on superkalanterissa ns. kääntönippi, jotta paperi kalanteroituisi tasaisesti molemmilta puolilta. Painopaperisuperkalanterissa on tavallisesti 10 tai 12 telaa, erikoispaperikalanterissa voi olla jopa 16 telaa. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

Superkalanterin pääosat ovat: runko, prosessitelat laakerointineen, kuormituslaitteet ja rullaimet. Lisäksi superkalanteriin kuuluu lukuisa määrä aputeloja ja muita apulaitteita.

Nykyaikaisten superkalantereiden runkorakenne on avoin eli I-runko, jossa telasto on runkopilareiden toisella sivulla. Superkalanterin runkojen rakenneaineena käytetään joko valurautaa tai terästä, jolloin runko on hitsattu levystä, täytetty kivillä ja paineenalaisella betonilla. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

## **3.2 Superkalanterin telat**

Superkalanterin telaston muodostavat joustavat pehmeät telat ja kovat ns. kokillitelat. Ylimpänä ja alimpana telastossa ovat taipumakompensoidut telat, jotka ovat myös kokillivalua. Superkalanterin välitelat on laakeroitu pallomaisiin rullalaakereihin laakeripeisiin, jotka liukuvat rungon pystyjohteen varassa. Laakereiden voitelu voidaan toteuttaa joko rasvalla tai öljyllä. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

Lisäksi superkalanteriin kuuluu joukko muita aputeloja: ohjausteloja (ulosvetoteloja), levitysteloja, kireysmittausteloja ja kiinnirullaimen painotela.

### **3.2.1 Pehmeät telat**

Pehmeät telat voidaan jakaa kahteen selvästi erilaiseen telatyyppiin: kuituteloihin ja polymeeriteloihin. Superkalanterin pehmeitä teloja ovat perinteisesti olleet puristetuista paperikiekoista tehdyt villa/puuvillapäällysteiset kuitutelat. Polymeeritelojen päällyste on synteettisesti valmistettu polymeeri. Nimitys "pehmeä tela" on hieman harhaanjohtava, sillä pehmeissä teloissa käytettävät kuitu- tai polymeeripinnoitteet ovat suhteellisen kovia. Pehmeä tela on saanut nimensä jyrkästä erosta, joka on sen kovuudessa verrattuna kokillivalettuihin termoteloihin. Superkalantereilla käytettävät kuitutelat vaihtelevat kovuudeltaan 80–90 Shore D ja polymeeritelojen kovuus on 85–94 Shore D. (Ehrola ym. 1999, 82–85)

### **3.2.2 Kuitutelat**

Kalanterointiolosuhteet, painoprosessin ominaisuudet ja paperin laatutavoitteet (kiilto, sileys, bulkki) vaikuttavat telan päällysteen ja kovuuden valintaan. Kova ja tiheä tela on paras valinta sileälle paperille, mutta toisaalta liian kova tela voi johtaa kalanterointi-

mustumaan. Kovat telat ovat vähemmän elastisia, ja siksi häiriöiden synnyttämät jäljet telan pintaan ovat pysyvämpiä ja jälkien reunat terävämpiä. Pehmeämpiin teloihin muodostuu vähemmän vakavia jälkiä, eivätkä pehmeät telat markkeeraa paperirataa niin helposti. Pehmeä tela antaa leveämmän nipin ja lämmönkehitys on korkeampi, joten pehmeä tela muokkaa paperirataa enemmän. Laadun saavuttaminen on pehmeämmillä telapinnoitteilla suhteellisen helppoa, mutta liian pehmeät telat palavat ja hajoavat helposti. (Ehrola ym. 1999, 84–85)

Superkalanterissa käytettävät kuitutelat koostuvat teräsakselista, päädyistä ja muttereista molemmissa päissä sekä päätyjen väliin puristetusta kuitumateriaalista. Päälystetyille painopapereille tarkoitettu kuitutela sisältää yleensä 15–30 % villaa ja loppu käytetty kuitu on puuvillaa. Villakuiduilla telan elastisuudesta saadaan korkeampi kuin käytettäessä pelkkää puuvillaa, ja telan markkeerauksen kestävyys paranee. Lisäksi villan käyttö parantaa telan kykyä toipua syntyneistä jäljistä. Kuitutelan rakenne on havainnollistettu kuviossa 2. (Ehrola ym. 1999, 85–86)



Kuvio 2: Kuitutelan rakenne (Ehrola ym. 1999, 86)

Kuituteloilla on kuitenkin puutteita, sillä varsinkin puuvillatelojen elastisuus on riittämätön. Siksi kovemmissa kuituteloilla ei ole niin hyvää markkeerauksen kestävyys kuin pehmeämmillä teloilla, ja teloilla tapahtuu pysyviä paikallisia muodonmuutoksia, kun paksuusvaihtelu kulkee nipin läpi kovassa kuormituksessa. (Ehrola ym. 1999, 83)

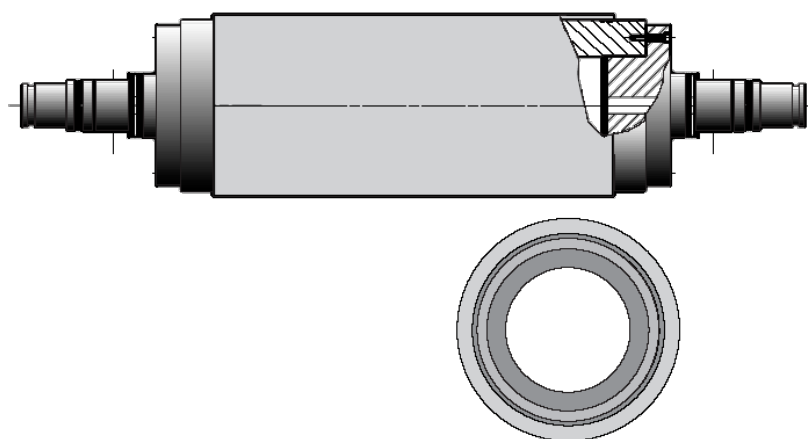
Superkalanterin läpi kulkevan paperiradan sellaiset viat kuin pastaviirut, rypyt ja rynkyt sekä ratakatkot aiheuttavat kuitutelojen markkeerautumista. Kun paperirata menee näiden markkeerattujen telojen välistä, jäljentyy telojen pinta myös paperirataan. Markkeeraus on haitallinen ominaisuus paperissa, ja siksi kuitutela on vaihdettava, kun telan aiheuttama markkeeraus on liian voimakasta tai kun telan pinnassa on liikaa vaurioita. Ehjienkin kuitutelojen pinnat täytyy hioa aina noin 120 tunnin välein, ja tämä johtaa

säännöllisiin tuotannon keskeytyksiin, jotka taas heikentävät merkittävästi superkalantereiden läpäisyä.

### 3.2.3 Polymeeritelat

Kuitutelojen suhteellisen heikon markkeerautumisen kestokyvyn vuoksi on kehitetty vaihtoehtoisia telamateriaaleja. Polymeeriteloilla on parempi markkeerautumisen kesto-kyky, ja ne kestävät korkeampia viivakuormia ja lämpötiloja kuin kuitutelat. Tämän vuoksi kalanteroinnissa käytetään polymeeriteloja yhä useammin lisäämään kapasiteettia.

Polymeeritela on rakenteeltaan erilainen kuin kuitutela. Telan pinnoite koostuu ainakin kahdesta kerroksesta, jotka ovat pinta- ja pohjakerros. Telan pinnoitteen paksuus on normaalisti 12–15 mm ja pinnoitteen alla on monesti 5–6 mm paksu pohjakerros, jolla pinnoite on kiinni teräsvaipassa. Päälimmäisenä olevan pinnoitekerroksen tarkoitus on kalanteroida paperi ja pinnoitteelta vaadittavat ominaisuudet ovat haastavat. Pinnoitteelta vaaditaan sileyttä, markkeerauksen kestoa, kovuutta, lämmön kestoa, alhaista lämpölaajenemista ja oikeaa jäykkyyttä. Teoriassa pintakerroksen jäykkyyden on oltava samaa luokkaa paperin z-suunnan jäykkyyden kanssa, jotta paperiin saavutetaan tasainen tiheys. Pintakerroksen jäykkyys vaihtelee 2–8 GPa, kun teräsvaipan jäykkyys on 150–200 GPa. Dynaamisessa kuormituksessa näin suuri jäykkyysero aiheuttaa taipuisamman pintakerroksen irtoamisen jäykemmästä vaipasta. Siksi polymeeriteloissa nykyään käytetäänkin jäykempää pohjakerrosta, jonka tarkoituksena on tasoittaa jäykkyyseroja ja kiinnittää pintakerros mahdollisimman hyvin teräsvaippaan. Polymeeritelan rakenne on esitetty kuviossa 3. (Ehrola ym. 1999, 90–91)



Kuvio 3: Polymeeritelan rakenne (Ehrola ym. 1999, 90)

Polymeeritelat ovat hyvin elastisia, niillä on hyvä markkeerautumisen vastustuskyky ja ne ovat kestäviä. Siksi polymeeriteloja käytettäessä tarvitaan vähemmän telanvaihtoja kuin kuituteloja käytettäessä. Polymeeritelojen hiontaväli on yli kymmenen kertaa pidempi verrattuna perinteisiin kuituteloihin, yli 1500 tuntia.

Polymeeritelat parantavat kalanterointiprosessin tehokkuutta, mutta toisaalta saavutettavat ominaisuudet ovat samoilla superkalanterin hallintasuureilla huonommat, koska polymeeritelojen lämmönkehitys on heikompaa. Polymeeriteloja käytettäessä onkin laadun heikkenemistä kompensoitava kalanterointisuureiden avulla, kuten lisäämällä viivapainetta, laskemalla ajonopeutta tai lisäämällä lämpötilaa. Toisaalta polymeeritelojen heikompi lämmönkehitys ja suurempi lämpötilan kesto mahdollistavat korkeampien kookillitelojen lämpötilojen käytön. Tällöin on mahdollista saavuttaa gradienttikalanteroinnin avulla tehokkaampi kalanterointitulokset. Polymeeriteloilla voidaan saavuttaa suuria ajonopeuksia. Merkkaantumattomuus ja kokoonpuristumattomuus mahdollistavat polymeeriteloilla voimakkaankin viivakuormaprofiloinnin. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007, Ehrola ym. 1999, 47, 95)

Vaikka polymeeripinnoitteen lämpötilankesto on korkea, se ei kestä suuria paikallisia lämpötilaeroja suuren lämpölaajenemisen vuoksi. Suurin osa polymeeripinnoitteiden vaurioitumisesta on johtunut liian suuresta paikallisesta lämpötilaerosta tai "hot spot" -ilmiöstä. "Hot spot" -ilmiössä kyseisen kohdan paikallinen kuormitus on liian suuri ja likapartikkeli tai pinnoitteessa oleva vaurioitunut kohta aiheuttaa telan lämpenemisen ja lopulta pinnoitteen hajoamisen. (Ehrola ym. 1999, 91)

Polymeeritelat ovat kalliita. Pinnoitteen uusimisen hinta on halvimmillaankin kolminkertainen kuitutelan uudelleenpäällystämiseen verrattuna. Polymeeritelan pinnoitteista ei voida samalla tavalla hioa tai sorvata useita millimetrejä pois kuten kuituteloista. Telavaurioiden sattuessa polymeeritelan pinta joudutaan yleensä pinnoittamaan kokonaan uudelleen, mikä on kallista.

### **3.2.4 Polymeeritelat verrattuna perinteisiin kuituteloihin**

Identtisissä olosuhteissa kuituteloilla saadaan aikaan parempi kiilto kuin polymeeripinnoitteisilla teloilla, koska polymeeritelat muodostavat vähemmän lämpöä kuin puuvillatelat. Jotta polymeeriteloilla saavutettaisiin samat paperin pintaominaisuudet kuin kuitu-

teloilla, on puuttuvaa lämpöenergiaa kompensoitava käyttämällä korkeampia kokilliteloiden lämpötiloja ja/tai korkeampaa viivakuormaa. Muutaman kuitutelan korvaaminen 12-telaisessa pakassa polymeeriteloilla ei vielä laske saavutettavaa kiiltoa. Useamman telan korvaaminen laskee kiiltoa muutaman yksikön. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007, Ehrola ym. 1999, 91–95)

Polymeeritelojen käyttö superkalanterilla taas parantaa kapasiteettia. Kaksi tärkeää tekijää ovat ajonopeus ja ajallinen hyötysuhde. Polymeeriteloilla saavutetaan selvästi pidemmät ajoajat kuin kuituteloilla, koska ne ovat sitkeämpiä ja kestävät korkeita lämpötiloja paremmin. Tämä johtaa pienentyneeseen telanvaihtotarpeeseen ja kasvaneeseen kalanterointikapasiteettiin. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007, Ehrola ym. 1999, 91–95)

Eräs kuitutelojen kiistaton etu on se, että ne eivät usein vahingoitu niin, ettei se olisi korjattavissa. Yleensä korjaus tarkoittaa telan hiomista useita senttimetrejä tavallisen 2–3 mm sijaan, jos markkeeraus on syvä ja esiintyy koko telapinnoitteen alueella. Jos vaurio taas on syvä, mutta paikallinen ja telalla olisi vielä merkittävästi ajoaikaa jäljellä, voidaan tela korjata hiomalla siihen vaurion kohdalle ”kuoppa”. Polymeeritelojen pinnoitteet ovat hyvin markkeerauksen kestäviä ja hyvin lujia, mutta saadessaan useita kovia iskuja samaan kohtaan pinnoite voi murtua ja rikkoutua palasiksi. Joitain pieniä vaurioita on toki hiottavissa pois myös polymeeriteloista, mutta se pienentää merkittävästi polymeeritelojen hiontavaraa. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007, Ehrola ym. 1999, 91–95)

### **3.3 Superkalanteroinnin muuttujat ja hallintasuureet**

Kalanteroitituloseseen vaikuttavat neljä päätekijää. Nämä ovat nippipaine, viipymäaika, paperin plastisuus ja telan pintamateriaali. Paperin plastisuuteen vaikuttavat paperin kosteus, lämpötila, massasuhteet, päällyste ja formaatio. Lisäksi kalanterin ajotavalla voidaan myös vaikuttaa paperin plastisuuteen; telojen lämpötila ja höyrytyksen määrä vaikuttavat. Kalanteroinnissa tapahtuvaan mekaaniseen työhön vaikuttavia tekijöitä ovat nippipaine, nippien lukumäärä, ajonopeus, telojen materiaali sekä karheus ja telojen halkaisija. (Ehrola ym. 1999, 43–44)

### 3.3.1 Linjapaine ja nippien lukumäärä

Nipin pintapaine on tärkeä muuttuja kalanteroinnissa. Paperiin ei ilman puristusvoimia saada aikaan pysyvää muodonmuutosta. Viivakuormitukseen vaikuttavat kalanterin viivakuormituksen lisäksi telojen halkaisijat. Samalla viivakuormituksella teloilla, joilla on pienempi halkaisija, saavutetaan suurempi pintapaine, koska nipin leveys on pienempi. Lisättäessä puristusta kovat telat painuvat pehmeisiin teloihin syvemmälle ja nipin leveys ja samalla puristusaika kasvavat. Puristusajan kasvu lisää pysyvän muodonmuutoksen suuruutta. Viivapainetta ei kuitenkaan voi kasvattaa rajattomasti, sillä telojen kestävyden lisäksi rajoittavaksi tekijäksi saattaa muodostua se, että maksimipaine ei enää kasva nipin pinta-alan kasvun vuoksi. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

Itse puristustapahtuma nipissä riippuu kahdesta tekijästä: maksimipuristusaineesta ja puristusajasta nipissä. Maksimipuristusaineeseen ja nipin pituuteen vaikuttavat käytettävä puristusvoima, telahalkaisijat ja joustavan telan kovuus. Nippien viivapaineet kasvavat alaspäin mentäessä ja viivapaine on suurimmillaan alimmassa nipissä. Puristusprofiilin tasaisuuteen poikkisuunnassa voidaan vaikuttaa vyöhykesäädettävillä teloilla ja mm. tappikuorman kevennyslaitteilla. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

Nippien lukumäärällä on myös tärkeä merkitys kalanterointitulokseen. Paperin paksuuden muutos riippuu merkittävästi viivapaineesta, kun taas sileyteen vaikuttaa nippien lukumäärä. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

### 3.3.2 Paperin plastisuus

Paperin plastisuus kuvaa sitä, kuinka helposti paperi muokkautuu eli kuinka paljon plastisia muodonmuutoksia aikaansaadaan. Päällystämättömällä paperilla kuituaineet eli ligniini, hemiselluloosa ja selluloosa luovat plastisen ympäristön. Päällystetty paperi taas sisältää puun omien amorfisten polymeerien lisäksi sideaineita, jotka ovat joko syntetisiä amorfisia polymeerejä, kuten styreeni-butadieeni-lateksi, tai luonnonpolymeerejä, kuten esimerkiksi tärkki. Tyypillisesti kaikki polymeerit ovat viskoelastisia ja pehmenyvät lämpötilan kasvaessa ja/tai kosteuden lisääntyessä. (Ehrola ym. 1999, 44, Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 208 )

### 3.3.3 Lämpötila ja kosteus

Korkeammalla lämpötilalla saavutetaan tietty sileyntaso pienemmällä mekaanisella työllä. Mitä korkeampi lämpötila, sitä helpommin paperi plastisoituu eli paperi kalanteroituu helpommin. Lämpötilan kohotessa ligniini ja hemiselluloosa pehmenevät. Lämpötila on tärkeä muuttuja käytettäessä polymeeritelöjä. Polymeeritelat eivät tuota kuitutelojen lailla hystereesilämpöä pyöriessään, vaan lämpö on tuotava prosessiin metallitelojen kautta. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007, Ehrola ym. 1999, 46–47)

Mitä korkeampi on paperin lähtökosteus, sitä helpommin se kalanteroituu. Tämä johtuu siitä, että kosteuden noustessa ligniinin ja hemiselluloosan pehmenemislämpötilat laskevat. Kosteuden vaikutuksesta paperin tiheys, sileys ja kiilto kasvavat, mutta samalla huokoisuus, opasiteetti ja vaaleus laskevat. Käytännössä paperin lähtökosteuden määrää haluttu loppukosteustaso. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

Kalanteroinnissa on tarkoitus muokata paperi paineen avulla haluttuun sileys-, paksuus- tai kiiltotasoon. Paine vaikuttaa z-suunnassa koko paperin läpi. Painopaperin käytön kannalta superkalanterin silitys- ja tiivistysvaikutus olisi rajoitettava paperin pintakerrokseen niin, että kuiturakenteen sisäosan ominaistilavuus jäisi mahdollisimman muuttumattomaksi. Tällä tavoin pystyttäisiin säästämään bulkkia eli käsittelemään ainoastaan pintaosia keskiosien säilyessä suuremmassa bulkissa. Tämä saavutetaan käyttämällä vähäisiä rasitusvoimia ja saattamalla kuituaines helposti muokkautuvaksi, esim. lämpötilaa ja/tai kosteutta nostamalla. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007, Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 209)

Lämpötilaa ja kosteutta nostettaessa voidaan puhua myös gradienttikalanteroinnista. Gradienttikalanteroinnin tavoitteena on saada ainoastaan paperin pinnat muokkautumaan minimaalisella tiheyden kasvulla. Tämä tarkoittaa siis sitä, että paperiin muodostuu tiheysgradientti eli paperin pinnat ovat kalanteroinnin jälkeen tiheimmät kuin paperin sisäosa. Kun kalanteroinnin muokkausvaikutus rajataan vain paperin pintakerrokseen, vaikutetaan suotuisasti niihin ominaisuuksiin (huokoisuus, öljynabsorptio, kokoonpuristuvuus, opasiteetti), jotka määräävät painettavuuden. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007, Ehrola ym. 1999, 47, Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 208–209)



### 3.3.4 Käsittelyaika ja ajonopeus

Käsittelyajan määräävät ajonopeus, nipin leveys ja nippien lukumäärä. Puristustekijöiden ja nippiluvun vaikutuksia nipin leveyteen on tarkasteltu jo edellä, joten seuraavassa ajonopeudesta.

Ajonopeuden kasvaessa viipymäaika nipissä eli kalanterointiaika lyhenee ja kalanterointitulokseksi huononee. Mikäli siis samaan laatuun on päästävissä suuremmassa ajonopeudessa esimerkiksi paperikoneen nopeuden noustessa, se vaatii yleensä viivapaineen nostamista, kovempien telojen käyttämistä tai paperin itsensä muuttamista, esimerkiksi paperin kosteutta lisäämällä. Käytännössä nopeuden määrää se kapasiteetti, jolla tuotanto saadaan ajettua läpi käytettävissä olevilla superkalantereilla. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007, Ehrola ym. 1999, 50)

### 3.3.5 Telojen vaikutus

#### Telojen pinnankarheus

Telojen pinnankarheudella on merkittävä vaikutus paperin pinnan ominaisuuksiin. Telan karheuden vaikutus tulee esiin, koska telan pinta jäljentyy paperiin kalanterin nipissä. Etenkin lämmitettävän kokillitelan karheudella voidaan vaikuttaa paperin kiiltotasoon. Sileämpi tela antaa kiiltävämmän paperin kuin karheampi tela. Termotelan tyypillinen pinnankarheus on 0,2–0,4 Ra. Polymeeritelan pinnankarheuden tulee olla sillä tasolla, että paperiin ei jää jälkeä. Tyypillinen polymeeritelan pinnankarheus on 0,3–0,6 Ra. (Ehrola ym. 1999, 52)

#### Telahalkaisijat

Mitä pienempi telan halkaisija on, sitä korkeampi on nipissä vaikuttava maksimipaine käytettäessä samaa viivapainetta. Kalantereita suunniteltaessa olisi siis pyrittävä käyttämään niin pieniä teloja kuin mahdollista, sillä maksimipaineen merkitys kalanteroinnissa on suurempi kuin viipymäajan. Telat, joilla on pienempi halkaisija, tekevät parempaa laatua, mutta bulkin kustannuksella. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007)

### **Joustavan telan kovuus**

Joustavan telan kovuus, tarkemmin kimmokerroin, määrää sen, kuinka syvälle terästela nipissä uppoaa joustavaan telaan ja siten määrää nipin pinta-alan, jolle puristusvoima jakaantuu. Mitä suurempi on telan kimmokerroin eli mitä pehmeämpi tela on, sitä enemmän se puristuu ja sitä pienempi on maksimipaine nipissä. Kovemmillä teloilla voidaan helposti kompensoida suurempia ajonopeuksia, jolloin ei myöskään tarvitse nostaa viivapainetta. Telan kovuutta ei silti voi rajattomasti lisätä, sillä se tuo aina mukanaan bulkin menetyksen, ja tietyt pintaominaisuudet, kuten kiilto ja sileyys saavutetaan siis pehmeämmillä teloilla suuremmassa bulkissa. Laadun kannalta katsottuna tulisi siis käyttää mahdollisimman pehmeitä teloja, joilla kuitenkin vielä päästään haluttuun laatuun. Myös telojen kestävyys rajoittaa telojen käytettävyyttä. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2007, Ehrola ym. 1999, 93–95)

### **3.4 Superkalanteroinnin vaikutukset paperin ominaisuuksiin**

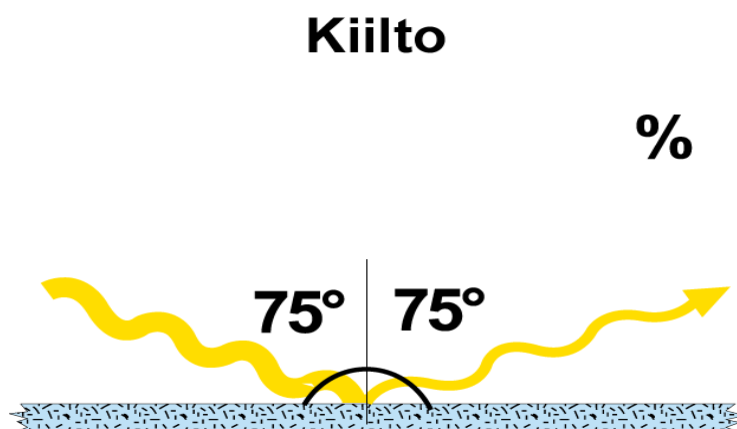
Kalanterointi on tyypillinen optimointiprosessi. Kalanteroinnilla saadaan useimmat painettavuutta ennustavat paperitekniset ominaisuudet paranemaan, mutta sillä on myös negatiivinen vaikutus moniin paperin ajettavuuteen ja käytettävyyteen liittyviin ominaisuuksiin. Koska liian raju kalanterointi voi heikentää tiettyjä paperin laatuominaisuuksia, on paperille löydettävä sopiva kalanterointiaste.

Painopaperin kalanteroinnin päätavoite on muokata paperin pintaominaisuudet, lähinnä sileytyä ja kiiltoa, sellaisiksi, että ne vastaavat painomenetelmän asettamia vaatimuksia. Toivotuista ominaisuuksista paperin kiilto kehittyy nopeasti korkeita lämpötiloja käyttämällä, mutta sileyden kehittämiseksi tarvitaan useampi nippi. Kalanteroinnin edistyesä myös ilmanläpäisevyys ja öljynabsorptio pienenevät sekä paperin toispuoleisuus vähenee. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 204)

Ei-toivotut muutokset lisääntyvät paperin tiheyden kasvaessa. Mitä ohuemmaksi vakioneliömassainen paperi kalanteroidaan, sen tiiviimpää ja tiheämpää siitä tulee ja se menettää paksuuttaan, kokoonpuristuvuuttaan, bulkiaan ja jäykkyyttään. Lisäksi myös opasiteetti ja vaaleus pienenevät. Superkalanterointi alentaa paperin lujuuksia, koska se lyhentää keskimääräistä kuidunpituutta katkomalla kuituja ja vahingoittamalla kuituseinämiä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 204)

## Kiilto

Kiilto on pinnan kyky heijastaa valoa peiliheijastuskulmassa. Kiillon periaatekuva on esitetty kuviossa 4. Fysikaalisesti ilmaistuna kiillolla tarkoitetaan heijastukseen tulevan ja heijastuvan valon intensiteettien suhdetta. Heijastuminen tapahtuu paperin pintakerroksessa, koska paperin sisällä valo heijastuu monta kertaa ja kadottaa lopulta suuntansa. Kiiltoa voidaan periaatteessa pitää paperin mikrosileytenä, ja se kuvaa pienimittakaavaisen täysin sileän pinnan pinta-alaosuutta paperissa. Karheus ja sitä vastaava sileys kuvaavat suuremman mittakaavan sileyttä. (Leskelä 1998, 119, 134)



Kuvio 4: Kiillon periaatekuva (VTT tuotteet ja tuotanto 2007)

Suuri painetun pinnan kiilto vaatii paperin pinnalta sileyttä tai sitä, että painoväri pystyy luomaan sileän pinnan täyttämällä paperipinnan karheusprofiilin. Jos paperipinnalle syntyneen painovärikerroksen paksuus on suurempi kuin karheusprofiilin kuoppien syvyys, on tämä täyttö mahdollista. (Oittinen & Saarelma 1998. 151, 193)

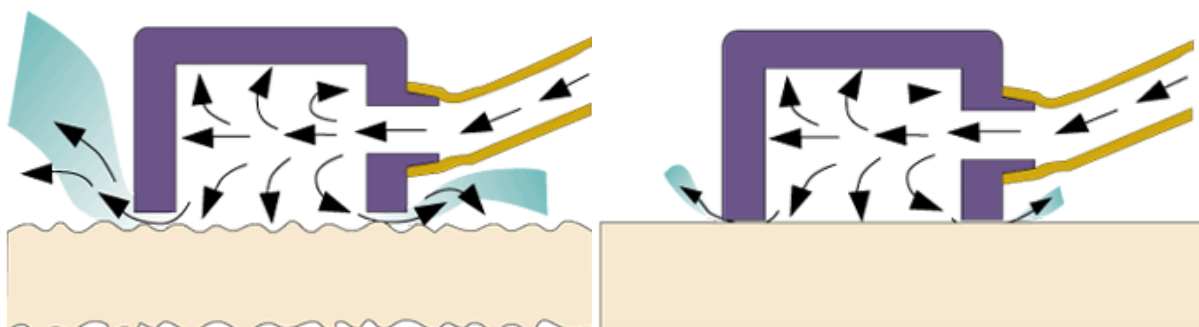
Paperin pinnan kiilto vaikuttaa painettaessa densiteettiin ja väriin. Korkean densiteetin saavuttaminen ja laaja väriskaala eivät ole mahdollisia kiiltämättömällä painopinnalla. Painojäljen kiilto syventää värivaikutelmaa. (Viitaharju 2008) Kiiltoa pidetään korkean laadun mittarina, vaikka korkea kiilto ei kaikissa tilanteissa olekaan tavoiteltavaa.

Kiiltoa mitataan kiiltomittarilla ja yleisesti painopapereilla sitä mitataan 75° kulmassa pinnan normaaliin nähden. Tällöin puhutaan Hunter-kiillosta. Kiillon tasaisuus on erityäin tärkeää painetulla pinnalla, koska ihmissilmä havaitsee herkästi kiiltoeroja. Kiillon tasaisuus on tärkeämpää kuin kiillon keskiarvo. (Leskelä 1998, 119)

## Sileys

Sileys kuvaa paperin pinnan tasaisuutta ja myös sen käänteisilmiötä karheutta. Yleisimmät pinnan sileyden mittausmenetelmät ovat Parker Print Surf- (PPS) ja Bendtsen-menetelmät. Nämä menetelmät perustuvat vuotoilman mittaamiseen, periaatekuvat on esitetty kuviossa 5. Mittauksissa pinnan sileys määritetään sen avulla, kuinka paljon pinnan karheuden epätasaisuudet ja paperin huokokset päästävät vuotoilmaa lävitseen. PPS-menetelmä on paras sileille papereille. (Kajanto, Laamanen & Kainulainen 1998. 102)

PPS-sileydmittaus ennustaa hyvin painettavan pinnan laadun, koska mittausmenetelmässä mitattava paperi puristetaan kokoon jo siinä vaiheessa, kun vuotoilman määrää mitataan. Sileys mitataan siis kokoonpuristetusta paperista, ja tämä kuvaa melko hyvin paperia syväpainossa painosylinterin nipissä rasterikupin alla. (Kajanto ym. 1998. 102)



Kuvio 5: Pinnan karheuden mittaaminen (VTT tuotteet ja tuotanto 2007)

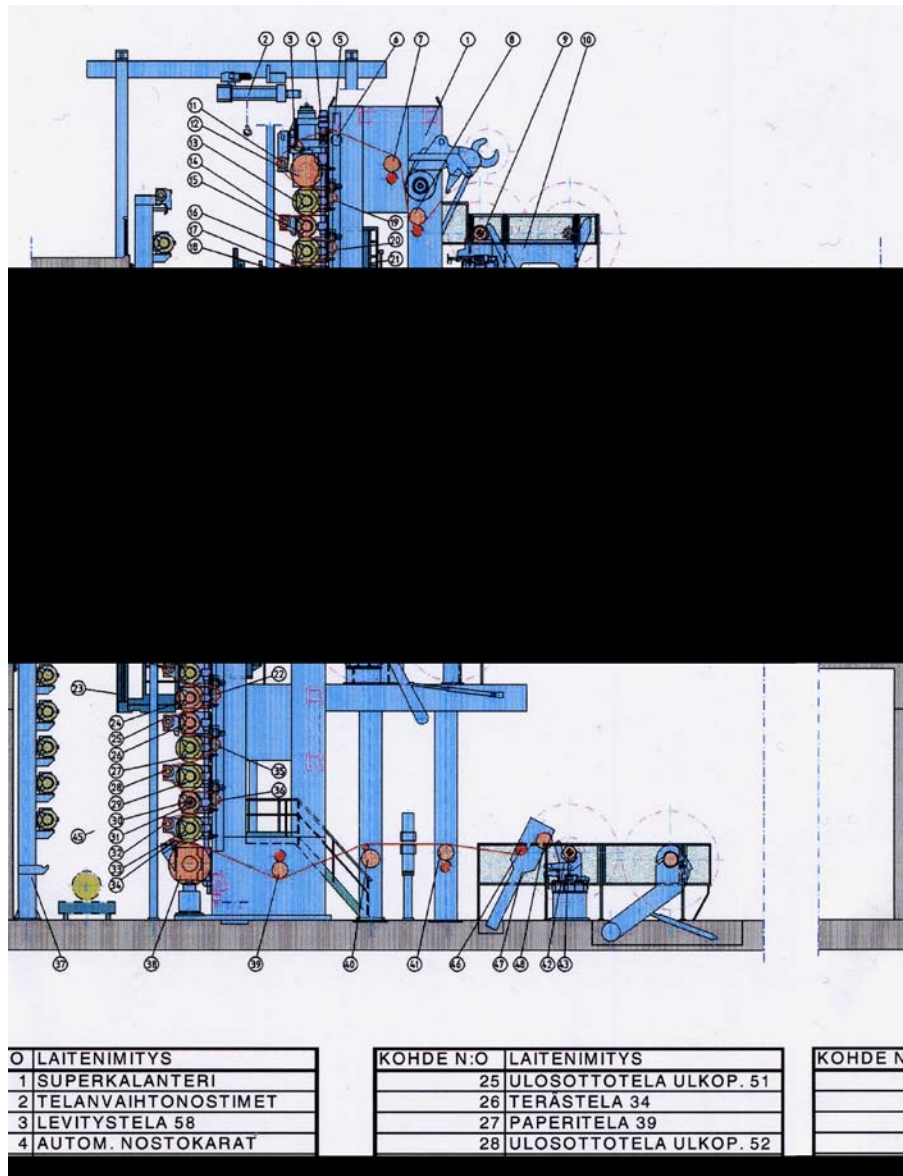
Pinnan karheus voidaan jakaa kolmeen eri kokoluokkaan: optiseen karheuteen ( $<1 \mu\text{m}$ ), mikrokäheuteen ( $1\text{--}100 \mu\text{m}$ ) ja makrokäheuteen ( $0,1\text{--}1\text{mm}$ ). Optiseen karheuteen vaikuttavat kuitujen ja yksittäisten pigmenttipartikkeleiden ominaisuudet ja muodot. Mikrokäheuteen vaikuttavat kuitujen ja hienoaineksen muoto sekä niiden jakautuma kuituverkostossa. Makrokäheuteen vaikuttaa formaatio. Mikro- ja makrokäheus vaikuttavat paperin kiiltoon ja tasaisuuteen, kun taas optinen karheus vaikuttaa paperin kiiltoon ja absorptio-ominaisuuksiin. (Kajanto ym. 1998. 100)

Sileys on tärkeimpiä tekijöitä painetun kiillon saavuttamiseksi. Riittävän suuri sileys mahdollistaa yhtenäisen ja tasaisen painopinnan muodostamisen. Sileys vaikuttaa paperin optisiin ominaisuuksiin, painoväriin absorptioon ja painojäljen densiteettiin. Pinnan karheuden kasvu lisää paperin diffuusia valonsirontaa, mikä aiheuttaa alemman densiteetin eli vaaleamman painojäljen. Karhea pinta voi johtaa myös puuttuviin rasteripisteisiin syväpainomenetelmässä, sillä syväpainomenetelmässä paperin täytyy poimia painomuste painosylinterin rasterikupeista suoralla kontaktilla. (Kajanto ym. 1998. 99, Viitaharju 2008)

Puuttuvia pisteitä mitataan Heliotest-menetelmällä, jossa etsitään painetusta säännöllisestä testikuvioista puuttuvia pisteitä. Laatumittarina on etäisyys painatuksen 20. puuttuvaan pisteeseen. Mitä pidempi etäisyys on, sitä paremmin painomuste on siirtynyt paperiin ja sitä vähemmän paperissa on puuttuvia pisteitä.

### 3.5 Superkalanterointi Kaipolan PK6:lla

Superkalanterointi tapahtuu LWC-osastolla kahdessa linjassa (SC61 ja SC62). Superkalanterit ovat I-runkoisia Valmetin kalantereita. Telapakassa on 12 telaa. Kalantereiden ylä- ja alateloina käytetään vyöhykesäädettäviä Nipco-teloja. Näiden lisäksi kalanterin telapakkaan kuuluu kuusi pehmeää telaa, kolme kokillitelaa ja vetotela. Kaipolan superkalanterien rakenne on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6: Superkalanterit SC61 ja SC62. (Martikainen 2000, 5)

Superkalanterin kokilliteloilla on oma kiertovesijärjestelmä, jossa kiertää halutun lämpöistä kiertovettä. Vesikierron on jaettu ylä- ja alakiertoon. Kiertovesien maksimilämpötila on 120 °C.

Kaipolan PK6-linjan kalanterien tämänhetkinen maksimijonopeus on 1000 m/min, ja linjapaineet ovat SC1:llä 310 kN/m ja SC2:lla 290 kN/m. Yläkierron lämpötila on 80 °C ja alakierron lämpötila 60 °C.

## KOKEELLINEN OSA

### 4 Kokeellisen osan tausta ja tavoitteet

Superkalanterit ovat ajonopeutensa vuoksi PK6-paperinvalmistusprosessin pullonkaula. Paperikoneen käyntinopeuden kasvaessa on ilmennyt selkeä tarve saada lisättyä superkalanterien läpäisyä. Superkalanterien ajonopeutta on mahdotonta nostaa, joten lisätehokkuus on saavutettava muilla keinoin. Käytännössä tämä tarkoittaa käyntiajan lisäämistä esimerkiksi telan vaihtoja vähentämällä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voidaanko PK6:lla koeajossa olevia polymeeriteloja yleensäkin käyttää, missä määrin ja missä superkalanterin positioissa laadun liikaa huonontumatta. Tarkkailtaviksi lajeiksi valittiin mahdollisimman erilaiset paljon päällystettyä sisältävä vaalea CR60UL ja huomattavasti kevyemmin päällystetty CR50US. Tarkkailtaviksi laatusuureiksi valittiin kiilto ja PPS-karheus sekä hyvin syväpainotuloksen kanssa korreloiva Heliotesti.

Kokeellinen osa koostui kahdesta osasta. Ensimmäisessä osassa laatua seurattiin useiden kuukausien ajan tarkkailemalla valittuja laatusuureita tehtaan laaduntarkkailujärjestelmästä Tuplasta ja vertaamalla niitä ilman polymeeriteloja ajettuihin laatuarvoihin. Toisessa osassa suoritettiin tehdasmittakaavainen kolmen polymeeritelan koeajo. Kaikkien tuloksien luotettavuus arvioitiin t-testillä.



## 5 T-testi

T-testillä voidaan tilastollisesti tutkia, poikkeavatko kahden havaintosarjan keskiarvot toisistaan, eli millä todennäköisyydellä niiden ero voidaan tulkita sattumanvaraiseksi. T-testimenetelmässä lasketaan havaintosarjojen keskiarvojen, keskihajontojen, havaintojen määrän ja taulukosta katsottavan tiettyä riskitasoa  $p$  vastaavan  $t$ -arvon ( $t_p$ ) perusteella varmuusväli. T-jakaumataulukko on esitetty liitteessä 1. (Aaltonen 1986, 90–92)

Jos luku 0 ei ole näiden varmuusrajojen sisällä, erotuksen sanotaan olevan merkitsevä riskitasolla  $p$ , toisin sanoen todennäköisyys, että havaintosarjojen erotus on sattuman aiheuttama, on pienempi kuin  $p$  %. Teollisuudessa yleisesti käytetty riskitaso on 5 %.

Varmuusväli lasketaan kaavalla

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 \pm t_p \cdot \sqrt{\frac{(n_1 + n_2) \left[ \sum (x_1 - \bar{x}_1)^2 + \sum (x_2 - \bar{x}_2)^2 \right]}{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}} \quad (1)$$

jossa

$\bar{x}_1$  = ensimmäisen havaintosarjan keskiarvo

$\bar{x}_2$  = toisen havaintosarjan keskiarvo

$t_p$  = taulukosta katsottava riskitasoa  $p$  vastaava  $t$ -arvo

$n_1$  = yksittäisten havaintojen määrä ensimmäisessä havaintosarjassa

$n_2$  = yksittäisten havaintojen määrä toisessa havaintosarjassa

$x_1$  = ensimmäisen havaintosarjan lukuarvot

$x_2$  = toisen havaintosarjan lukuarvot

(Aaltonen 1986, 90–92)

Tässä työssä käytettiin kaavaan 1 perustuvaa valmista Kari Salosen tekemää Excel-laskentapohjaa. Laskentapohjassa on käytetty keskiarvojen erotuksen sijaan keskiarvojen erotuksen itseisarvoa, mutta itseisarvon käyttäminen ei vaikuta itse t-testin tulokseen.

## 6 Laadun tarkkailu Tupla-järjestelmästä

Laadun tarkkailujaksoksi valittiin tammikuu 2008–tammikuu 2009 -välinen ajanjakso. Tuplasta koottiin kaikki mitatut kiilto-, PPS- ja heliotestiarvot. Näistä arvoista piirretyt kuvaajat on esitetty liitteissä 2 ja 3. Nämä arvot järjestettiin sen mukaan, kummalla superkalanterilla ne oli ajettu ja kuinka monta polymeeritelaa oli kulloinkin ollut käytössä. Tämän jälkeen laatuarvoille laskettiin keskiarvot ja -hajonnat, joita vertailtiin toisiinsa t-testillä. Tarkat taulukot kustakin vertailusta on esitetty liitteessä 5. CR50US- ja CR60UL -lajien t-testien tulokset on koottu taulukoihin 1 ja 2. Esimerkiksi taulukon merkintä ”0 vs. 1, SC62” tarkoittaa kalanterilla SC62 kalanteroitua pelkillä kuituteloilla ajettua paperia verrattuna samalla kalanterilla myöhemmin ajettuun yhdellä polymeeritelalla kalanteroituun paperiin, ja ”0 SC61 vs. 1 SC62” tarkoittaa SC61-kalanterilla ajettua pelkillä kuituteloilla kalanteroitua paperia verrattuna SC62-kalanterin yhdellä polymeeritelalla ajettuun paperiin.

Taulukko 1: Lajin CR60UL t-testien tulokset

CR60UL	Tilastollisesti eroa käytettäessä 5 %: riskitasoa					
	kiilto yp	kiilto ap	pps yp	pps ap	heliotesti yp	heliotesti ap
0 vs. 1, SC62	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
0 vs. 1, SC61	ei	kyllä	kyllä	ei	kyllä	kyllä
0 SC61 vs. 1 SC62	kyllä	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä
0 vs. 2, SC62	kyllä	kyllä	kyllä	ei	kyllä	kyllä
0 SC61 vs. 3 SC62	kyllä	ei	kyllä	kyllä	ei	ei

(Esimerkiksi merkintä ”0 SC61 vs. 1 SC62” tarkoittaa SC61-kalanterilla ajettua pelkillä kuituteloilla kalanteroitua paperia verrattuna SC62-kalanterin yhdellä polymeeritelalla ajettuun paperiin.)

Taulukko 2: Lajin CR50US t-testien tulokset

CR50US	Tilastollisesti eroa käytettäessä 5 %: riskitasoa					
	kiilto yp	kiilto ap	pps yp	pps ap	heliotesti yp	heliotesti ap
0 vs. 1, SC62	kyllä	kyllä	ei	kyllä	kyllä	ei
0 vs. 1, SC61	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	ei
0 SC61 vs. 1 SC62	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	ei	ei
0 vs. 2, SC62	kyllä	kyllä	ei	kyllä	ei	ei

(Esimerkiksi merkintä ”0 SC61 vs. 1 SC62” tarkoittaa SC61-kalanterilla ajettua pelkillä kuituteloilla kalanteroitua paperia verrattuna SC62-kalanterin yhdellä polymeeritelalla ajettuun paperiin.)

Ihanteellinen tilanne on, että sekä papereiden ylä- ja alapuolilla että eri superkalantereiden välillä ei voisi havaita tilastollisesti merkittävää vaihtelua eli ajettu paperi olisi koko ajan laadultaan samanlaista. Koska polymeeritelat sijoitettiin aina superkalanterin kääntönpin yläpuolelle, niiden mahdollinen vaikutus laatuun kohdistui näin ollen vain paperin yläpuoleen. Taulukoista 1 ja 2 huomataan, että verrattaessa paperin eri puolia toisiinsa laatuvaihtelussa ei havaita minkäänlaista säännönmukaisuutta. Lisäksi huomataan,

että verrattaessa esimerkiksi yhdellä polymeeritelalla ajettuja papereita sellaisiin papereihin, joka on ajettu eri aikaan eri määrällä polymeeriteloja, mutta samalla superkalanterilla (taulukoiden ensimmäiset ja toiset rivit), ei myöskään esiinny säännöllistä eroa laadussa.

Koska näiden testien tulos oli edellä mainittu, katsottiin tarpeelliseksi verrata vielä samassa ajossa ajettua, mutta eri superkalantereilla ajettuja papereita toisiinsa. Näin voitaisiin verrata suunnilleen samaan aikaan ajettua paperia ja eri polymeeritelamääriä toisiinsa. Tulokset olivat samanlaisia kuin ensimmäisissäkin t-testeissä eli laatuarvot poikkeavat toisistaan sattumanvaraisesti, mitään säännöllistä eroa paperin eri puolien välillä ei havaittu.

Tästä voidaan päätellä, että eri ajoina eri aikoihin ajatussa paperissa on jo normaalistikin niin paljon vaihtelua, että erot ovat tilastollisesti viiden prosentin riskitasoa käytettäessä normaalitilanteessa merkittäviä. Polymeeritelojen käyttö, edes kolmen telan käyttö ainoastaan paperin yläpuoleen vaikuttavissa positioissa, ei vaikuta paperiin niin paljoa, että sen aiheuttama vaihtelu olisi suurempaa kuin normaali paperin laatu vaihtelu.

Lisäksi tarkastellessa liitteessä 5 olevia taulukoita huomataan, että polymeeritelan käyttö yläpositiossa tai kahdessa ylimmässä positiossa ei ole vaikuttanut paperin kiiltoon ainoastaan huonontavasti, vaan useissa tarkastelluissa lajivertailuissa yläpuolen kiilto on ollut parempi käytettäessä polymeeritelaa. Näin tapahtui kaikissa CR50US-lajin vertailuissa. CR60UL-lajilla yläpuolen kiilto oli kuituteloja käytettäessä parempi ainoastaan vertailtaessa pelkillä kuituteloilla ajettuja papereita kolmella polymeeritelalla ajettuihin papereihin sekä vertailtaessa eri superkalantereilla ajettuja pelkillä kuituteloilla kalanteroituja papereita yhdellä polymeeritelalla ajettuihin papereihin. Näiden tulosten perusteella on mahdollista, että polymeeritelan käyttö yläpositiossa jopa parantaa kiiltoa. Tämän varmistamiseksi tulisi suorittaa lisätutkimuksia.

## 7 Kolmen polymeeritelan koeajo

Kolmen polymeeritelan koeajo suoritettiin tammikuussa 2009. Koeajon tarkoituksena oli selvittää, millainen vaikutus kolmannen polymeeritelan lisäämisellä oli saavutettavaan paperin laatuun, ja verrata tuloksia kahden superkalanterin välillä siten, että SC62:lla telapakassa oli kolme polymeeritelaa ja SC61:ssä kaikki telat olivat kuituteloja. SC62:n polymeeritelat oli sijoitettu positioihin 11, 9 ja 7, joten niiden mahdollinen vaikutus laatuun kohdistui vain paperin yläpuoleen.

Paperikoneen ajo-ohjelmaa ei katsottu tarpeelliseksi muuttaa kalanterointikoeajon vuoksi, joten ensimmäinen tarkkailtava kolmella telalla superkalanteroitava laji oli CR48KA. Ensimmäisten SC62:lta valmistuvien konerullien kiiltoarvoja seurattiin tarkasti, jotta mahdollinen laadun heikkeneminen huomattaisiin mahdollisimman pian. Ensimmäisistä konerullista saatujen kiiltotulosten perusteella koeajoa päätettiin jatkaa ainakin lajin CR48KA ajan. Kyseisen ajon kaikille Tuplaan tallennetuille seurattaville laatuarvoille laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat, ja SC61:n ja SC62:n papereita verrattiin keskenään t-testin avulla. T-testien tulokset on esitetty taulukossa 3.

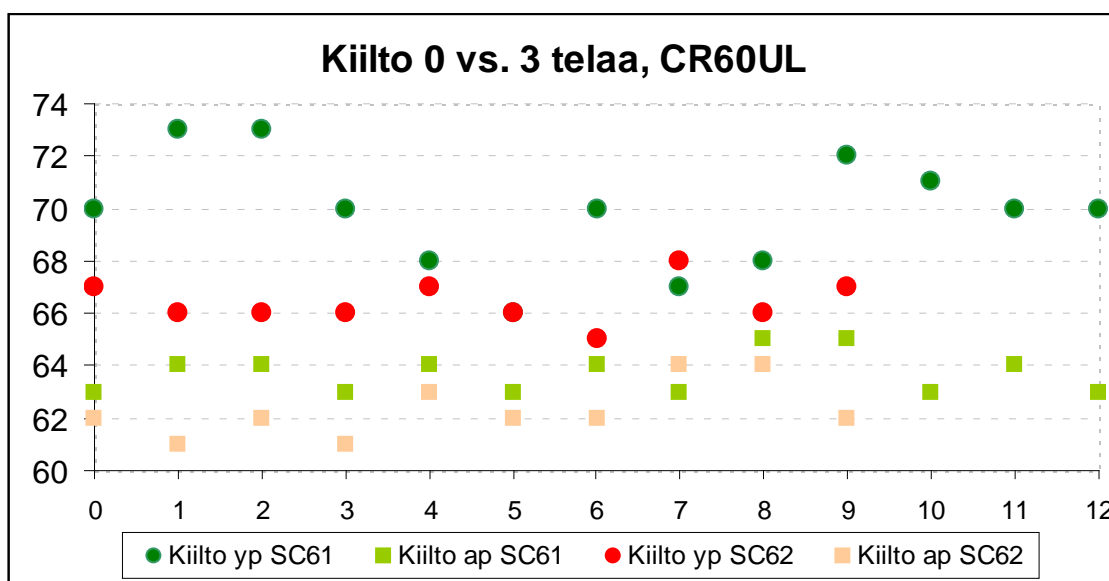
Taulukko 3: Lajin CR48KA t-testien tulokset 5 % riskitasolla

CR48KA, 0 polymeeritelaa SC61 vs. 3 polymeeritelaa SC62					5 % RISKITASO		
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alavarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	59,00	57,14	11	14	2,815	0,905	kyllä
Kiilto ap	54,55	54,14	11	14	1,233	-0,423	ei
PPS yp	0,875	0,894	11	14	0,036	0,001	kyllä
PPS ap	0,723	0,730	11	14	0,017	-0,002	ei
Heliotesti yp	104,9	101,5	9	13	6,841	0,015	kyllä
Heliotesti ap	107,0	105,8	9	13	5,029	-2,567	ei

Taulukosta 3 havaitaan, että verrattaessa eri superkalantereilla ajettujen papereiden ylä- ja alapuolien arvot poikkeavat jo tilastollisesti merkittävästi toisistaan. Edelleen ihan-teellinen tulos olisi, että papereiden ylä- ja alapuolilla ei olisi mitään eroa. Tämän koeajon tulos oli, että polymeeritelojen käyttö oli huonontanut paperin yläpuolen laatuominaisuuksia niin paljon, että se on havaittavissa käytettäessä viiden prosentin riskitasoa. Vaikka eroa paperien yläpuolella olikin selvästi havaittavissa, laatu ei kuitenkaan missään vaiheessa huonontunut kolmea polymeeritelaa käytettäessä niin paljon, että se olisi ollut edes hylkäysrajalla. On kuitenkin huomattava, että PPS-sileyksissä t-testin var-

muusrajat olivat hyvin lähellä nollarajaa, eli PPS-sileydessä 5 % riskitasolla on vain juuri ja juuri havaittavissa merkitsevä ero.

Ajo-ohjelmaan osui myös paksumpi seurattavana ollut paperilaji CR60UL. T-testien tulos verrattaessa kolmella telalla ajettua paperia pelkillä kuituteloilla kalanteroituun paperiin on esitetty taulukossa 1 rivillä viisi. Tällä paksummalla lajilla tulokset eivät vastoin olettamusta käyttäytyneet samalla lailla kuin ohuemmalla CR48KA:lla. On mahdollista, että kolmen polymeeritelan käyttö vain yläpuoleen vaikuttavissa positioissa vaikuttavaa kiiltoon ja PPS-sileyteen, kuten taulukosta 1 voidaan todeta. Kiiltovertailu on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7. Lajin CR60UL kiilto, 0 polymeeritelaa SC61 vs. 3 polymeeritelaa SC62

Kuviosta 7 voidaan havaita, että SC61:llä ajettulla paperilla (kuvion vihreät arvot) on korkeammat kiillon arvot verrattuna SC62:lla ajettuihin papereihin. Tämän koeajon tulokset viittaavat siihen, että kolmen telan käyttö yläpositioissa vaikuttaa laatua huonontavasti myös tällä paksummalla lajilla, mutta tämän toteaminen varmasti vaatisi pidempää koeajoa ja useampia mittauspisteitä.

Koska paksumpi laji antoi erilaisen tuloksen kuin odotettiin, tutkittiin lajin CR48KA keskiarvot virhearvioinnin välttämiseksi vielä pienemmällä yhden prosentin riskitasolla. Nämä tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4: Lajin CR48KA t-testien tulokset 1 % riskitasolla

CR48KA, 0 polymeeritelaa SC61 vs. 3 polymeeritelaa SC62					1 % RISKITASO		
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alavarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	59,00	57,14	11	14	3,156	0,564	kyllä
Kiilto ap	54,55	54,14	11	14	1,529	-0,719	ei
PPS yp	0,88	0,89	11	14	0,043	-0,005	ei
PPS ap	0,72	0,73	11	14	0,020	-0,005	ei
Heliotesti yp	104,9	101,5	9	13	8,065	-1,209	ei
Heliotesti ap	107,0	105,8	9	13	6,391	-3,929	ei

Yhden prosentin riskitasolla ylä- ja alapuolilla ei ole enää tilastollisesti merkittävää eroa. Tämä tarkoittaa joko sitä, että verrattaessa kolmea polymeeritelaa pelkkiin kuitute-loihin saadut ensimmäisetkin tulokset olivat vain sattumalta loogisia ja odotetun mukai-sia, tai että verratuissa lajeissa CR48KA:ssa ja CR60UL:ssa on jokin merkittävä raken-teellinen ero, josta toisistaan poikkeavat tulokset johtuivat. Tämän selvittäminen vaatisi lisätutkimuksia ja enemmän tietoa kyseisten papereiden rakenteesta ja pastaresepteistä kuin tämän opinnäytetyön tekijällä on.

Joka tapauksessa kolmen telan koeajon tulos oli, että vaikka papereiden eripuolet eroa-vatkin toisistaan käytettäessä kolmea polymeeritelaa, vaihtelu ei kuitenkaan ole suu-rempaa kuin paperissa tapahtuva normaali laatu vaihtelu. Tutkittaessa koeajojen laatu-arvoja huomataan, että kaikki tarkkaillut laatu arvot pysyivät vielä reilusti hylkäysrajan yläpuolella. Näiden tulosten valossa kolmea polymeeritelaa voidaan käyttää yläposi-tioissa 11, 9 ja 7.

## 8 Tulosten luotettavuuden arviointi

Tässä työssä käytetty laatuarvojen tarkkailujakso oli suhteellisen pitkä. Tuona aikana mm. ajettiin erilaisia päällystekoeajoja, käytettiin erilaista ja eri tavalla varastoitua puuta, muutettiin superkalantereiden kuormitusta rynkkyongelman vuoksi, vaihdettiin SC61:lle erilailla pinnoitettu vetotela ja tehdassalin ilmasto vaihteli kosteammasta ja kuumemmasta kesäilmasta viileämpään ja kuivempaan talvi-ilmaan. Nämä kaikki vaikuttavat omalta osaltaan ajettavan paperin laatuun.

PaperLab-robotit siirrettiin syyskuussa 2008 paperilaboratoriosta tehdassaliin. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että papereiden syötön robottiin ja ennen kaikkea robottien puhtaanapidon suorittivat siitä lähtien laboranttien sijasta paperimiehet. Laatuarvojen kuvaajista havaittava hajonnan lisääntyminen saattaa johtua laboratorion olosuhteita heikommasta puhtaanapidosta. Tämä taas voi näkyä heikompina laatuarvoina. Lisäksi paperinäytteiden määrän havaittiin hieman vähentyneen.

On käytännössä mahdotonta suorittaa tässä työssä tehdyn kaltainen telavertailu käyttämällä ainoastaan yhtä superkalanteria luotettavuuden lisäämiseksi. Superkalantereiden välillä on eroavaisuuksia, mitkä saattoivat osaltaan vaikuttaa saatuihin laatuarvoihin.

Työn tulosten luotettavuutta koetettiin parantaa ottamalla tutkimuksiin riittävä määrä koepisteitä ja eliminoimalla niistä selvästi virheelliset ja muista liikaa poikkeavat laatu-arvot. Osa suoritetuista mittaussarjoista oli olosuhteiden pakosta lyhyehköjä, mutta muiden prosessiin tehtyjen muutosten voidaan todeta ylittäneen suurusluokaltaan polymeeritelojen vaikutuksen laatuun.

## 9 Päätelmiä

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka koeajossa olevat polymeeripinnoitteiset pehmeät telat vaikuttavat syväpainettavan LWC-paperin laatuominaisuuksiin.

Teoriaosassa tarkasteltiin superkalanterointia prosessina, sen muuttujia ja hallintasuureita sekä kalanteroitumismekanismeja. Lisäksi perehdyttiin polymeeriteloihin ja niiden ominaisuuksiin.

Työn kokeellinen osa jakautui kahtia. Ensimmäisessä osassa seurattiin noin vuoden ajan paperin pintaominaisuuksia (kiilto, PPS ja heliotesti) paperin laatu tietojen seurantajärjestelmästä ja analysoitiin niitä t-testin avulla. Tarkkailtaviksi lajeiksi valittiin mahdollisimman erilaiset paljon päällystettyä sisältävä vaalea CR60UL ja huomattavasti kevyemmin päällystetty CR50US. Toisessa osassa verrattiin kahdella eri superkalanterilla ajettuja papereita toisiinsa niin, että toisessa superkalanterissa oli ylimpinä teloina kolme polymeeritelaa ja toisessa superkalanterissa kaikki telat olivat perinteisiä villapuvillateloja.

Yhden, kahden tai vielä kolmenkaan polymeeritelan käytön ei vielä havaittu vaikuttavan laatuun niin merkitsevästi, että se olisi huomattu t-testillä teollisuudessa yleisesti käytettävällä viiden prosentin riskitasolla. Polymeeritelojen käytöstä johtuva laadun huononeminen on pienempää kuin ilman polymeeritelojakin tapahtuva normaali satunnainen laatu vaihtelu. Paperin laatu pysyi kaikkien tutkittujen laatusuureiden kohdalla edelleen selvästi hylkäysrajojen yläpuolella.

Näiden tulosten perusteella polymeeriteloja voidaan käyttää suunnitelluissa positioissa laadun merkitsevästi heikkenemättä.

Käytettäessä kahta polymeeritelaa ne kannattaa sijoittaa positioihin 9 ja 7. Koska paperi on kalanteroinnissa muokkautuvimmillaan ensimmäisessä nipissä, kannattaa yläpositiossa 11 käyttää paremman kiillon antavaa perinteistä kuitutelaa. Lisäksi näin yläpositiossa voidaan käyttää pinnoitukseen lähdössä olevia teloja, joiden halkaisija on liian pieni alapositioihin sekä ajaa juuri pinnoituksesta tulleita teloja sisään.



## 10 Jatkotutkimusehdotuksia

Tässä työssä tutkittiin polymeeritelojen käytön vaikutusta ajettavan paperin laatuun. Kahden polymeeritelan käytön ei havaittu huonontavan olennaisesti laatua. Käytössä olevien kolmen polymeeritelan lisäksi voitaisiin hankkia ainakin yksi polymeeritela lisää, jotta kummallekin superkalanterille voitaisiin sijoittaa kaksi polymeeritelaa.

Myös kolmen tai jopa tarvittaessa neljän polymeeritelan käyttöä per superkalanteri kannattaa harkita, mutta se vaatisi lisätutkimuksia telapositioiden suhteen. Kolmea polymeeritelaa ei kannata käyttää ainoastaan kolmessa ylimmässä positiossa, jolloin niiden laatua huonontava vaikutus kohdistuu ainoastaan paperin yläpuoleen. Tässä työssä ei tutkittu ollenkaan telojen käyttäytymistä ja kestävyyttä eikä vaikutusta laatuun käytettäessä niitä alapositioissa, joten sellainen koeajo voitaisiin järjestää. Tässä tapauksessa tulisi myös tutkia tarkkaan telojen kestävyys alapositioissa.

## Lähteet

- Aaltonen, Pertti 1986. Kuituraaka-aineen ja paperin testausmenetelmiä 492. Espoo: Otakustantamo.
- Ehrola, Juha; Hernesniemi Ari; Kuosa, Harri; Kyytsönen, Markku; Linnonmaa, Pekka; Mäenpää, Tapio; Pietikäinen, Reijo; Stapels, Rob; Tani, Mikko & Vuorikari, Hannu 1999. Calendering. Teoksessa Jokio, Mikko (toim.) Papermaking Science and Technology, book 10, Papermaking Part 3, Finishing. Helsinki: Fapet Oy, 14 - 140.
- Hägglom-Ahnger, Ulla & Komulainen, Pekka 2003/2005. Paperin ja kartongin valmistus. 3-1. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Kajanto, Isko; Laamanen Jouko & Kainulainen Matti 1998. Paper bulk and surface. Teoksessa Niskanen, Kaarlo (toim.) Papermaking Science and Technology, book 16, Paper Physics. Helsinki: Fapet Oy, 88-115.
- Leskelä, Markku 1998. Optical properties. Teoksessa Niskanen, Kaarlo (toim.) Papermaking Science and Technology, book 16, Paper Physics. Helsinki: Fapet Oy, 116-138.
- Martikainen, Ilkka 2000. Superkalantereiden tuotantotehokkuuden parantaminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. Espoo.
- Oittinen, Pirkko & Saarelma, Hannu 1998. Papermaking Science and Technology, book 16, Printing. Helsinki: Fapet Oy.
- Tupla – laaduntarkkailujärjestelmä. UPM-Kymmene Oyj, Kaipola. Tarkkailtavien lajien CR50US, CR60UL ja CR48KA laatutiedot ajalla 1.1.2008-31.1.2009.
- Viitaharju, Päivi 2008. Graafisen tekniikan kurssin opetusmateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- VTT Tuotteet ja tuotanto 2007. KnowPap Versio 9.0. VTT tuotteet ja tuotanto.[online] [viitattu 30.11.2008]. Saatavissa: file:///knowpap/suomi/knowpap\_system/user\_interfaces/tuotantoprosessit/papvalm.htm

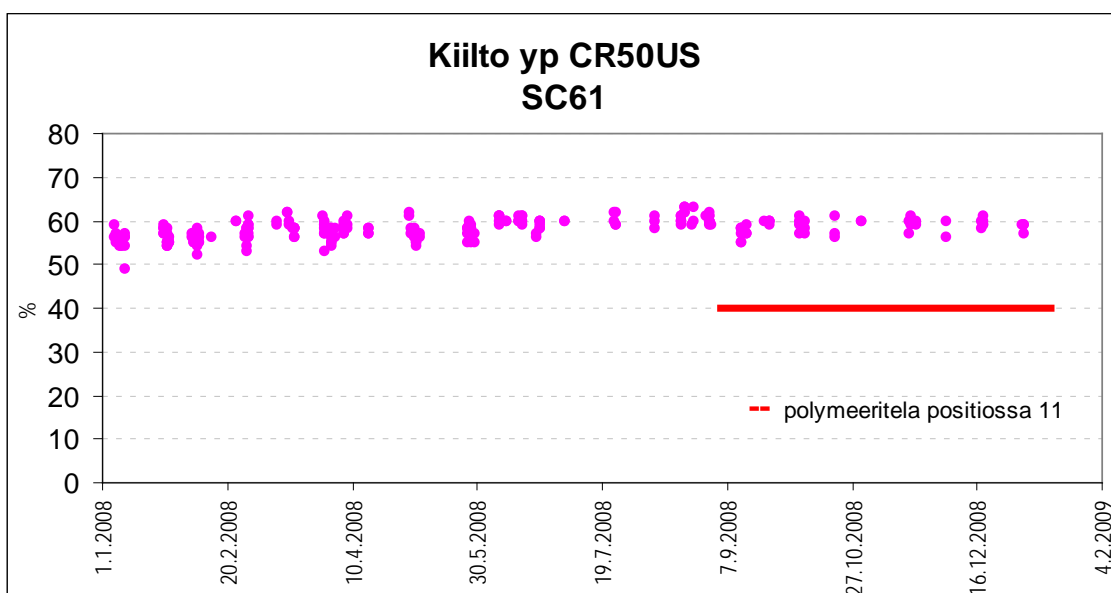
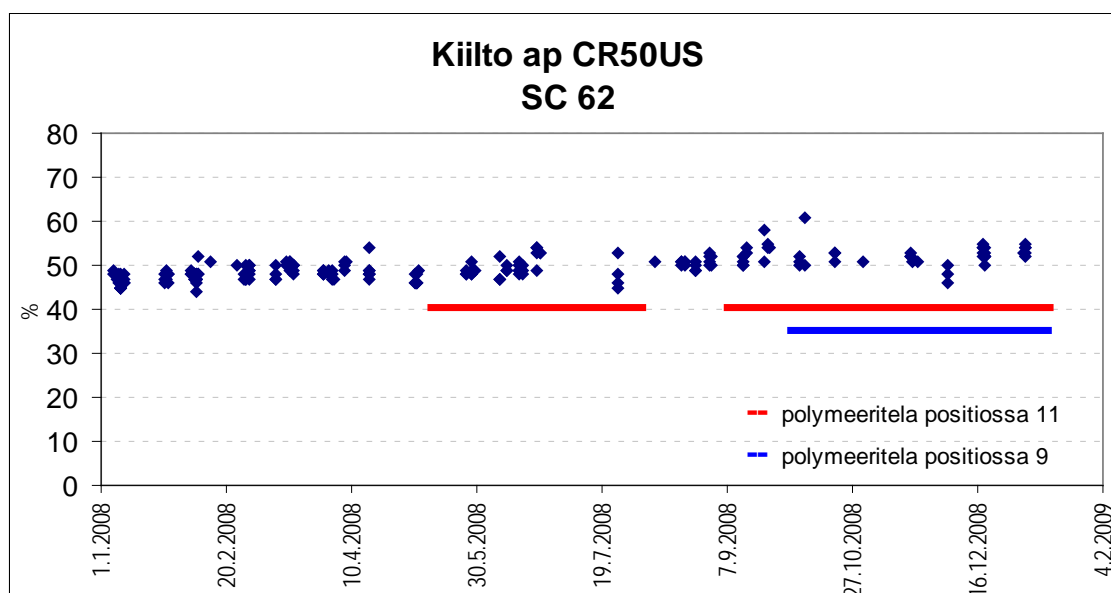
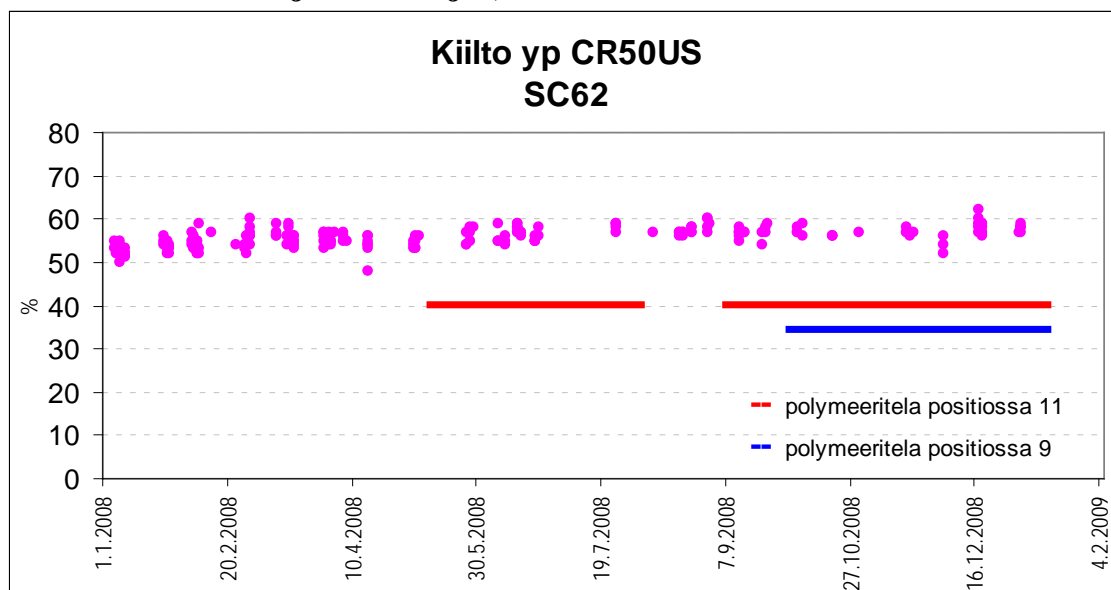
# Liitteet

## Liite 1: T-jakaumataulukko

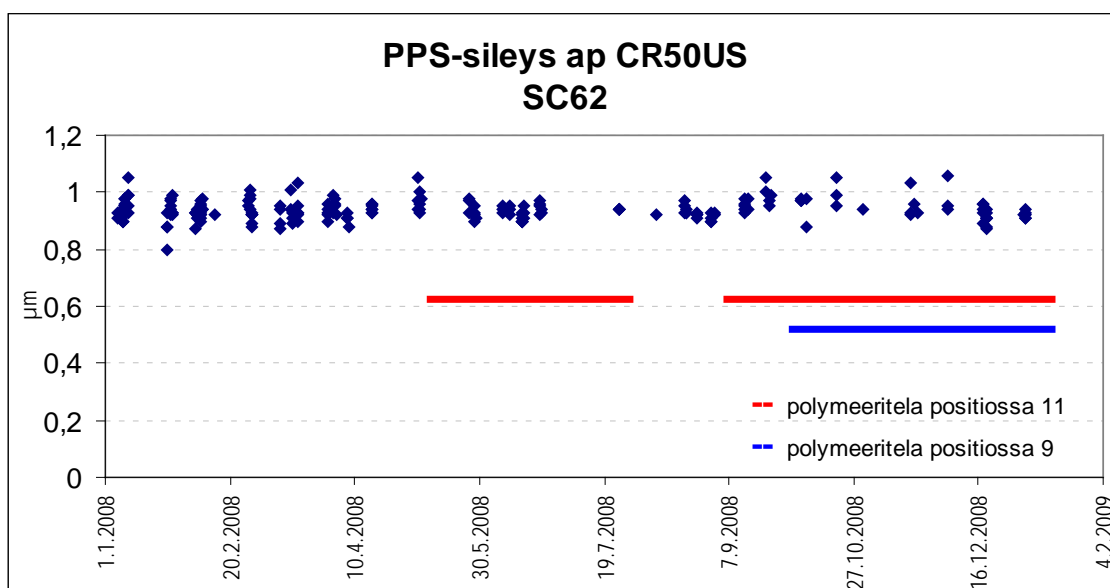
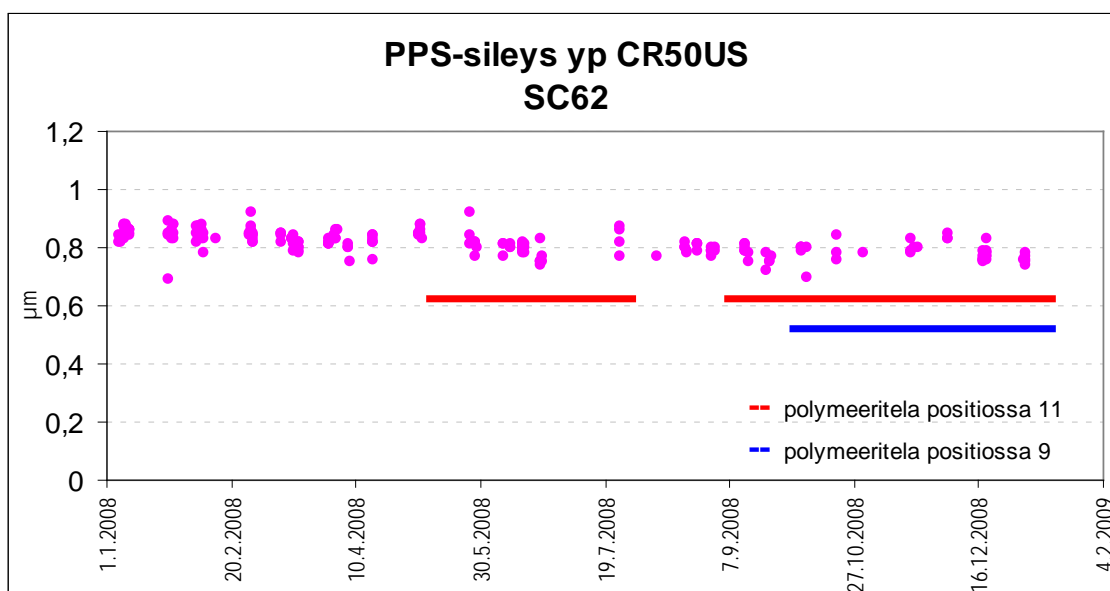
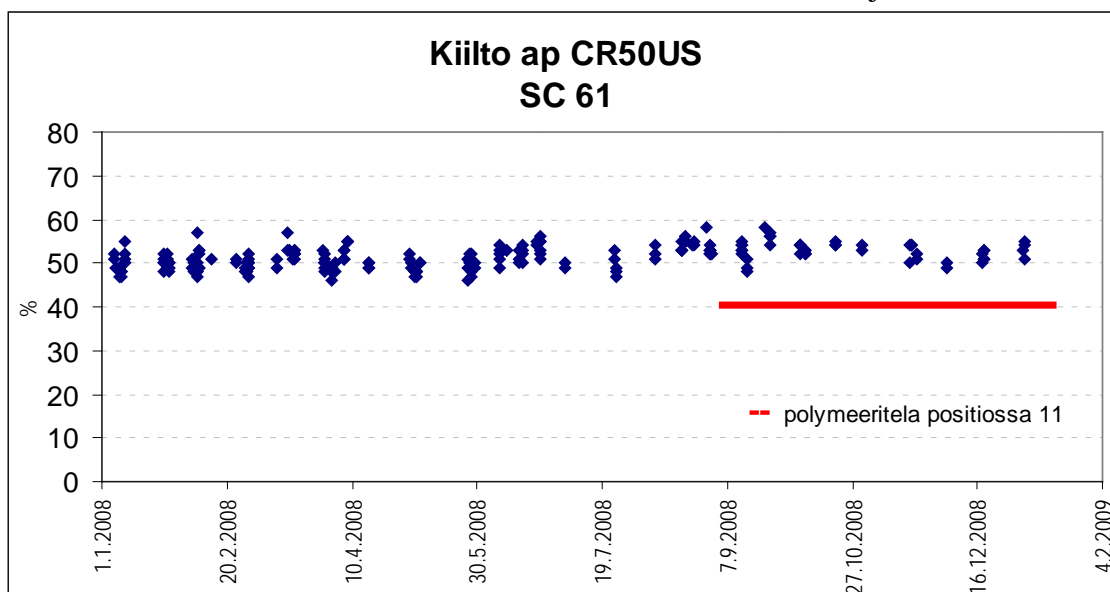
vapausasteet, $f$	$p = 5\%$	$p = 1\%$	$p = 0,1\%$
4	2,78	4,60	8,61
5	2,57	4,03	6,86
6	2,45	3,71	5,96
7	2,36	3,50	5,40
8	2,31	3,36	5,04
9	2,26	3,25	4,78
10	2,23	3,17	4,59
11	2,20	3,11	4,44
12	2,18	3,06	4,32
13	2,16	3,01	4,22
14	2,14	2,98	4,14
15	2,13	2,95	4,07
16	2,12	2,92	4,02
17	2,11	2,90	3,97
18	2,10	2,88	3,92
19	2,09	2,86	3,88
20	2,09	2,84	3,85
21	2,08	2,83	3,82
22	2,07	2,82	3,79
23	2,07	2,81	3,77
24	2,06	2,80	3,74
25	2,06	2,79	3,73
26	2,06	2,78	3,71
27	2,05	2,77	3,69
28	2,05	2,76	3,67
29	2,05	2,76	3,66
30	2,04	2,75	3,65
40	2,02	2,70	3,55
60	2,00	2,66	3,46
120	1,98	2,62	3,37
$\infty$	1,96	2,58	3,29

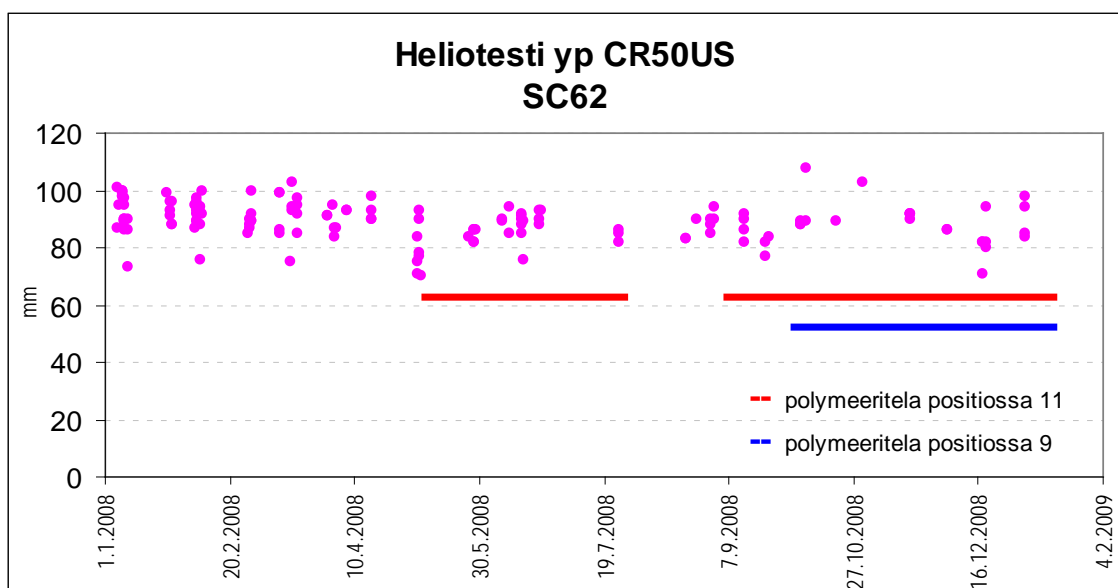
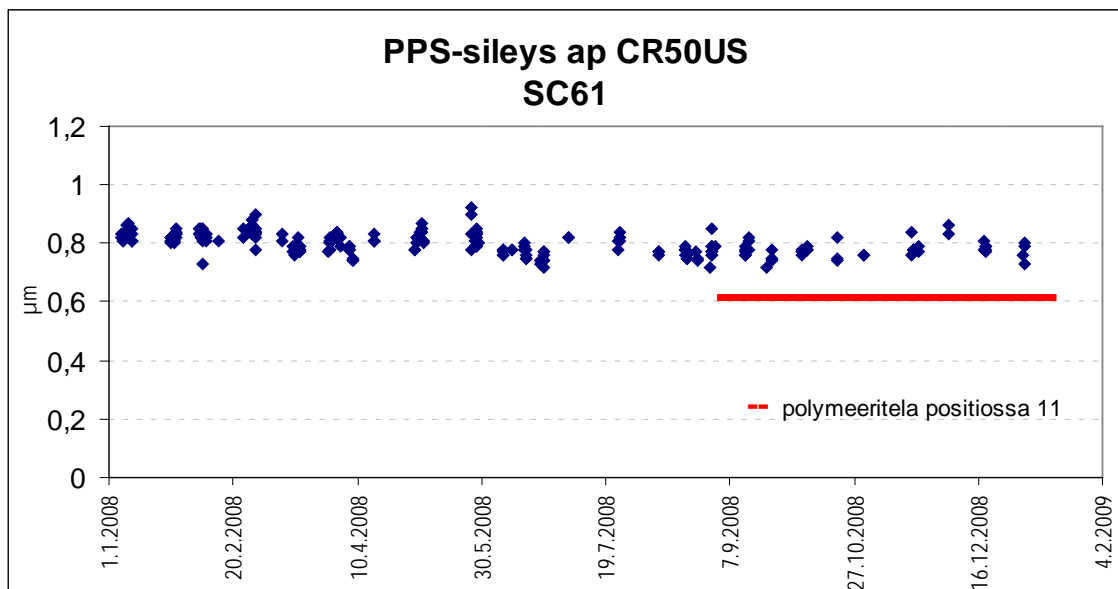
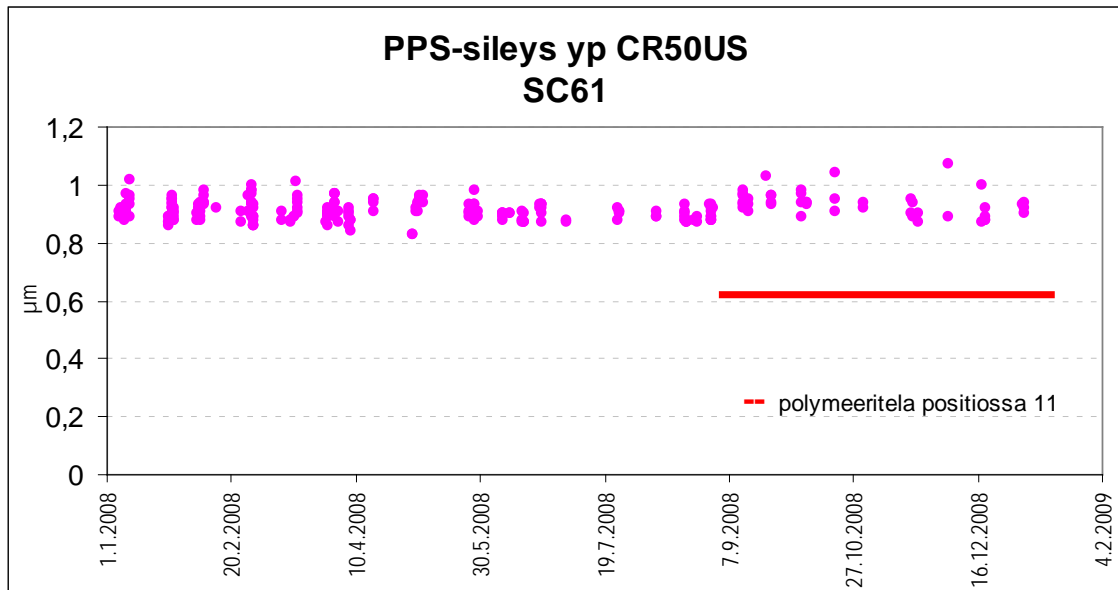
(Aaltonen 1986, 97)

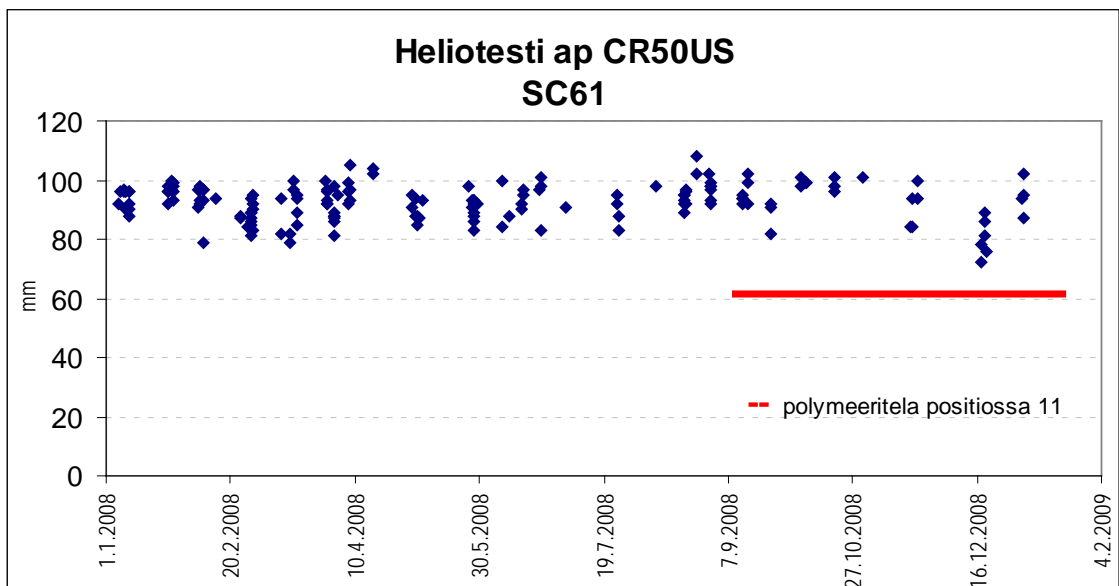
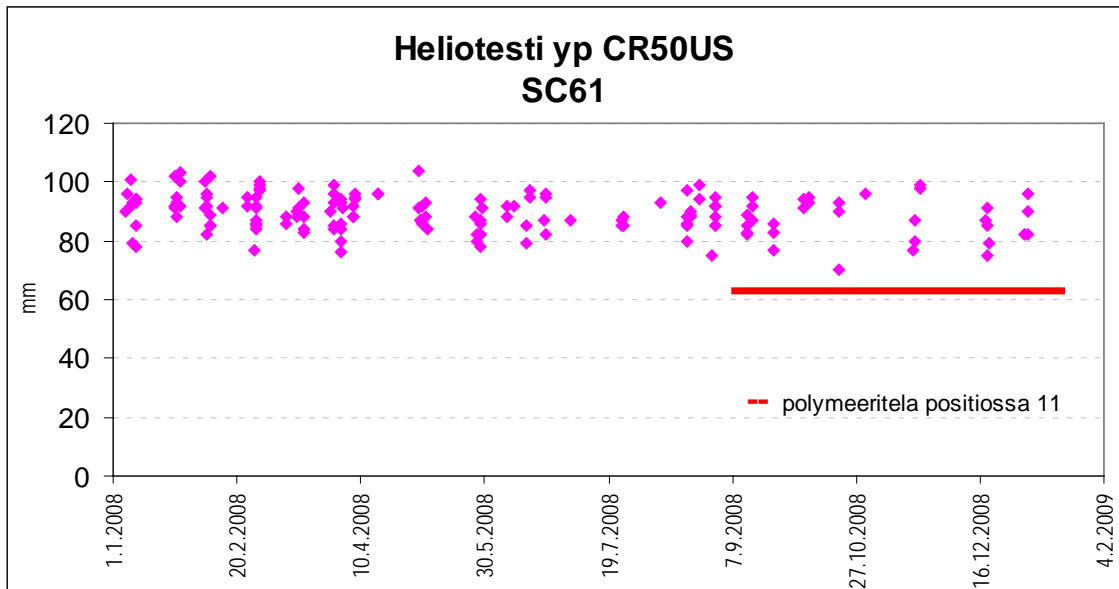
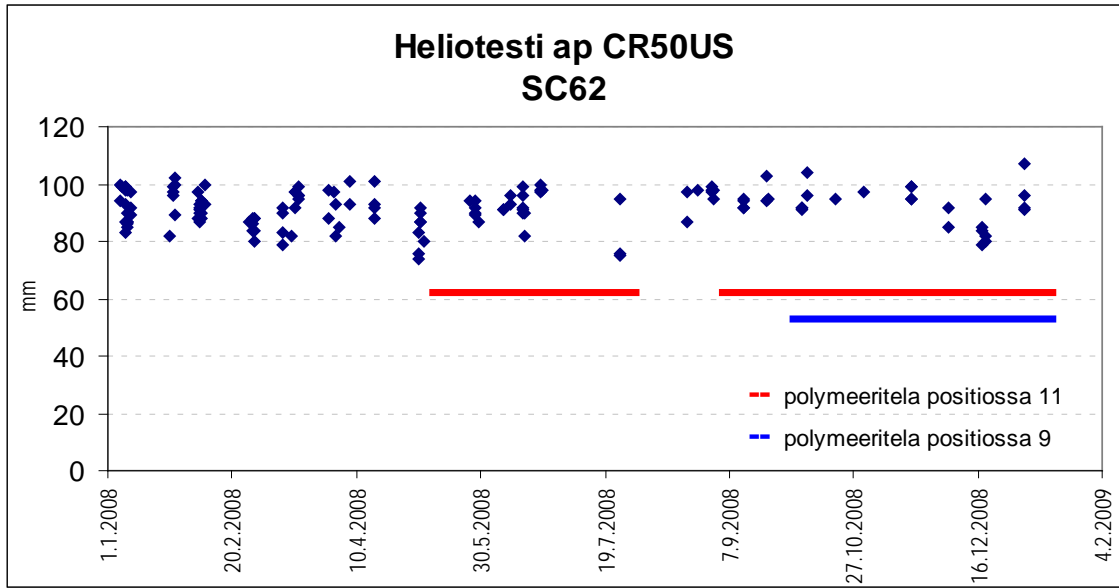
## Liite 2: Laatuarvojen kuvaajat, CR50US



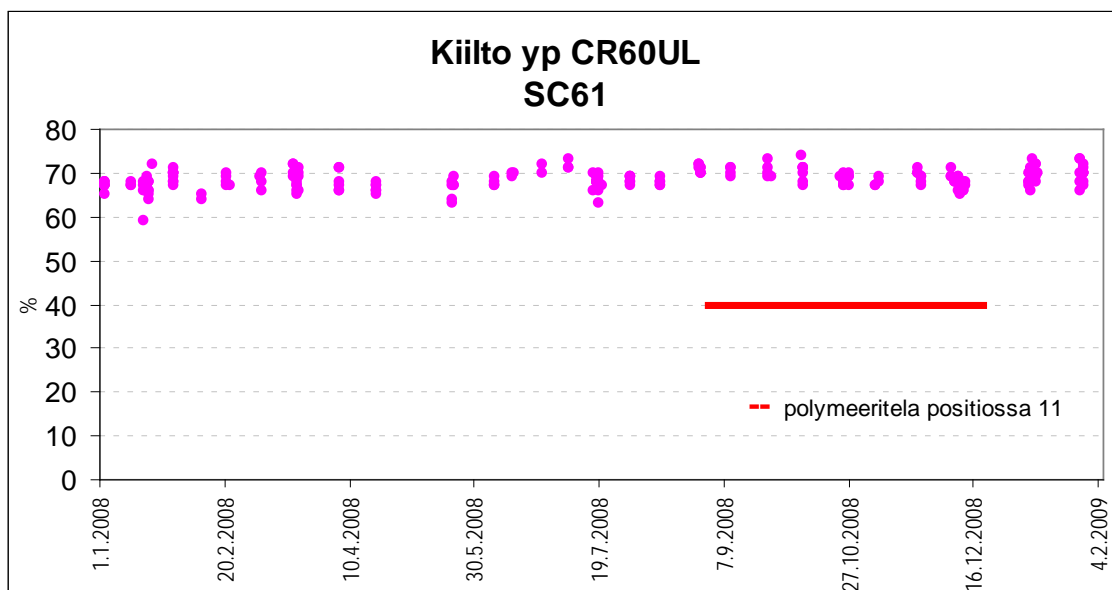
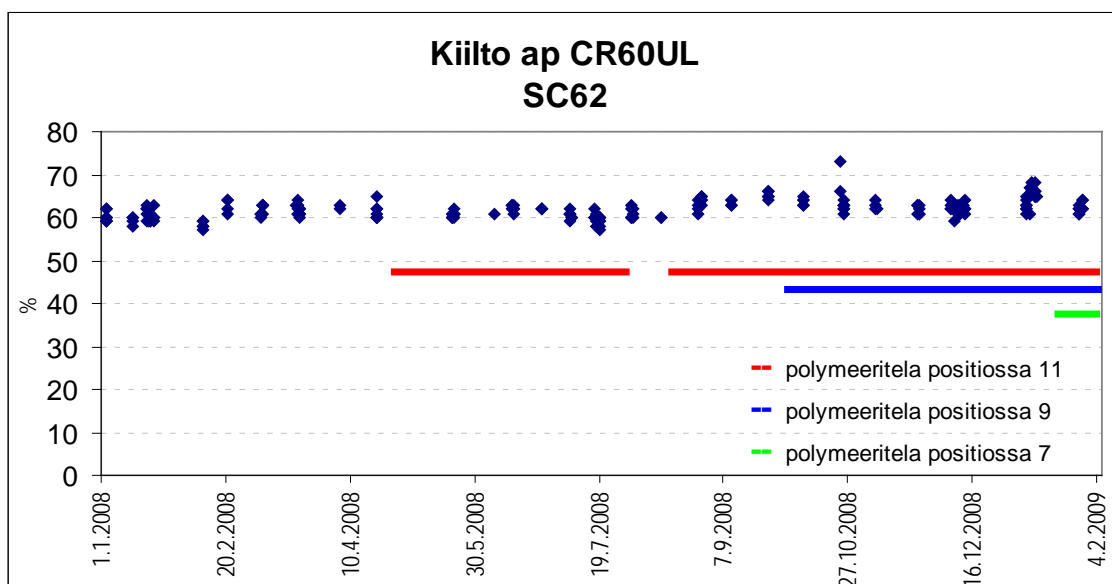
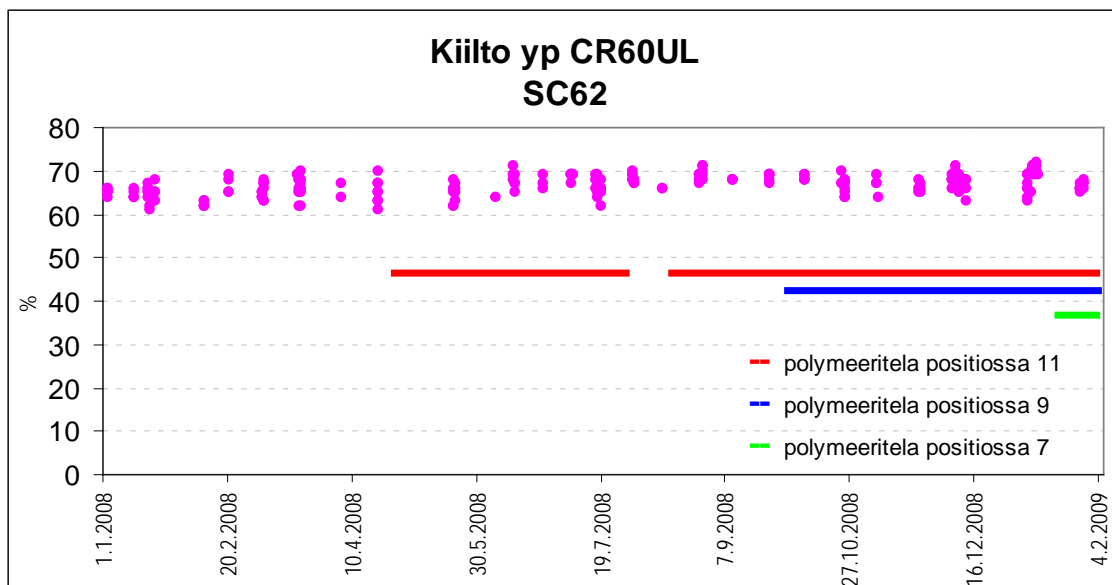
jatkuu





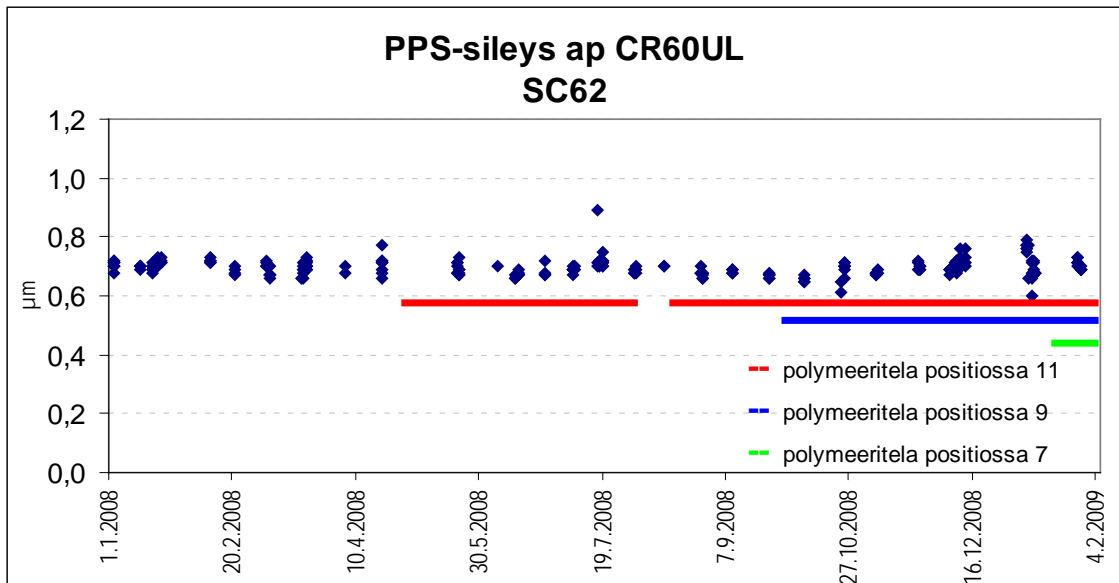
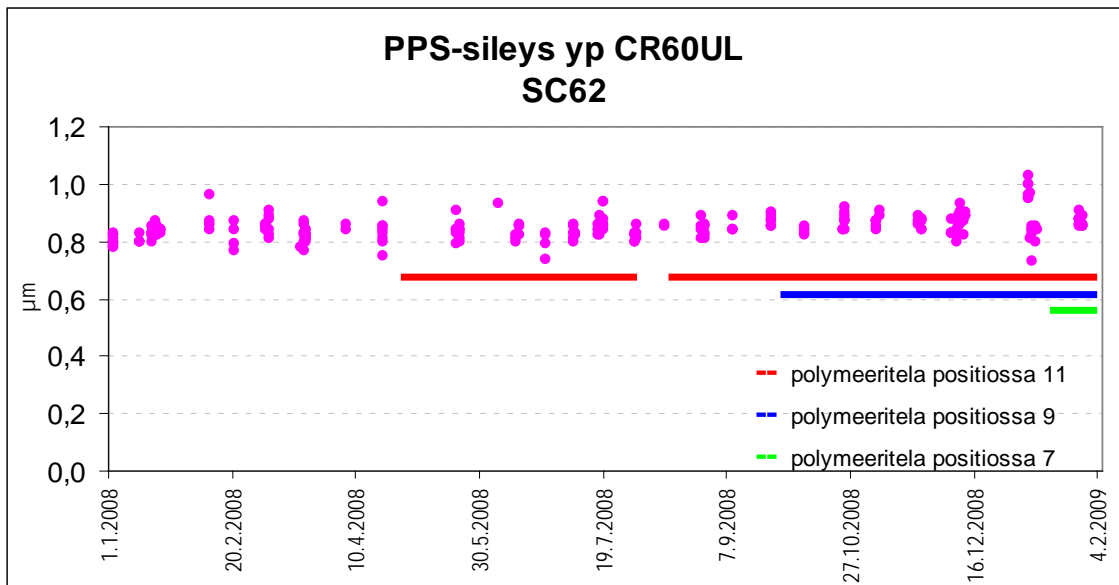
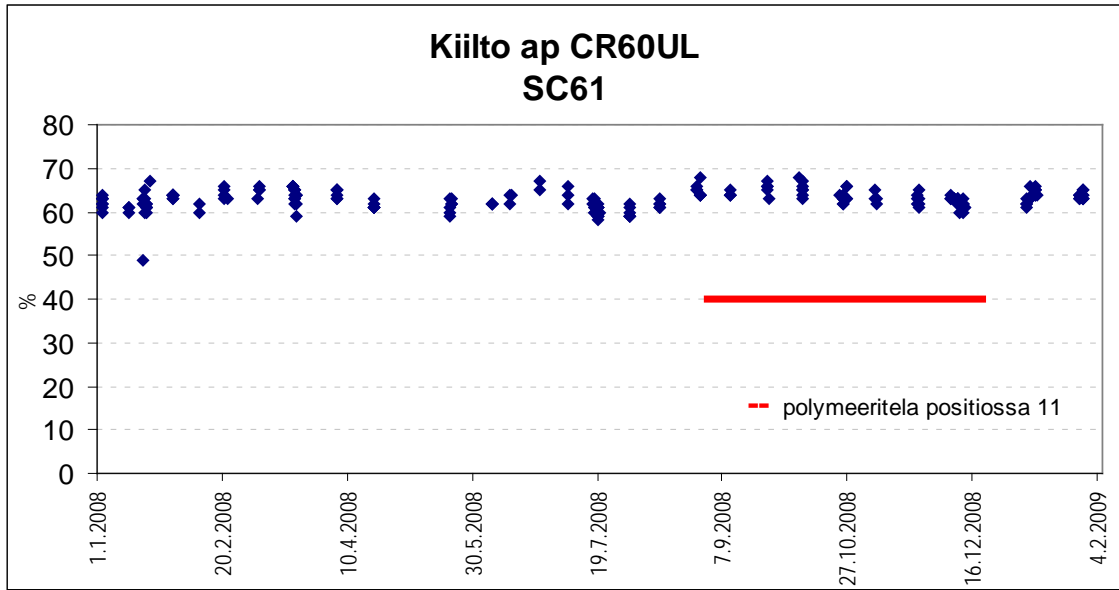


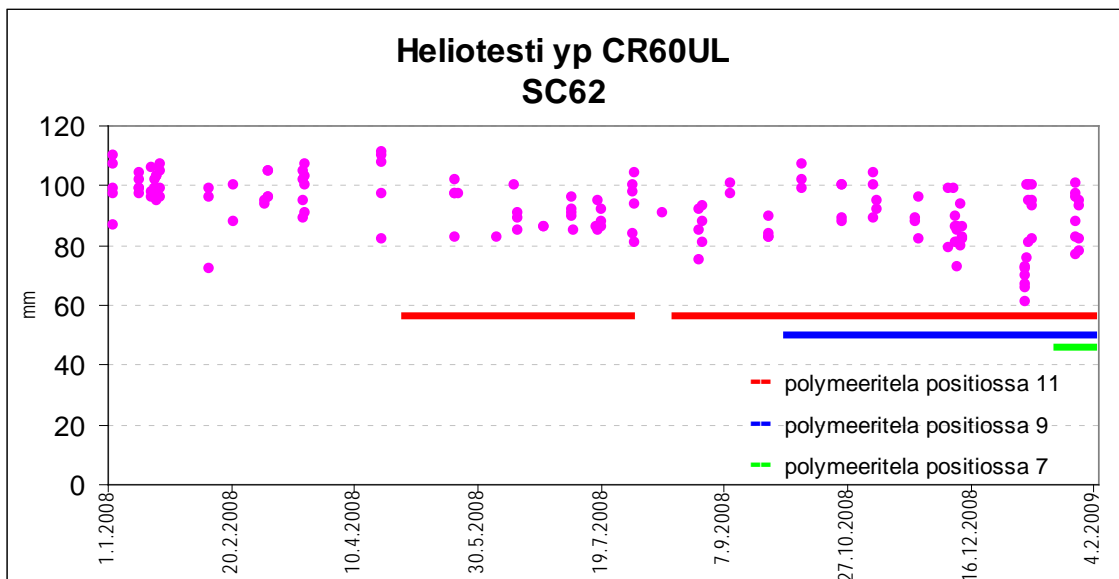
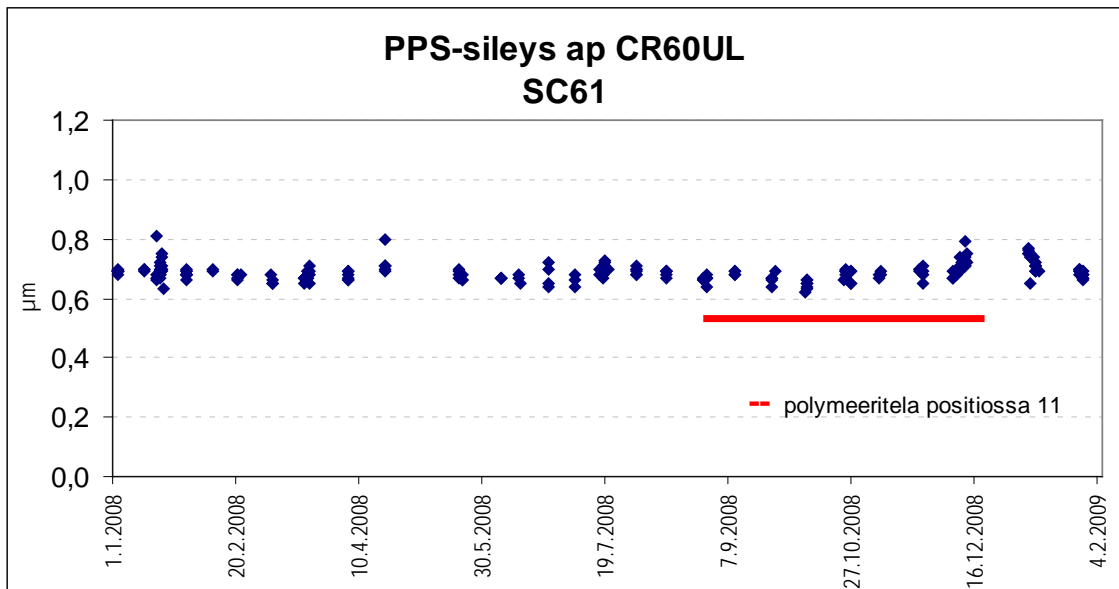
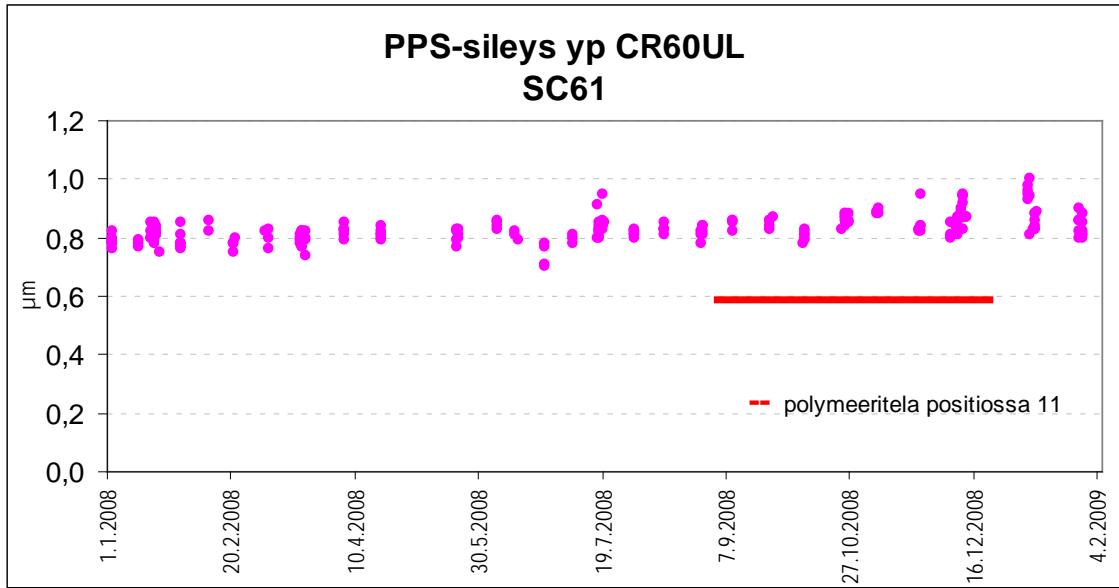
### Liite 3: Laatuarvojen kuvaajat, CR60UL



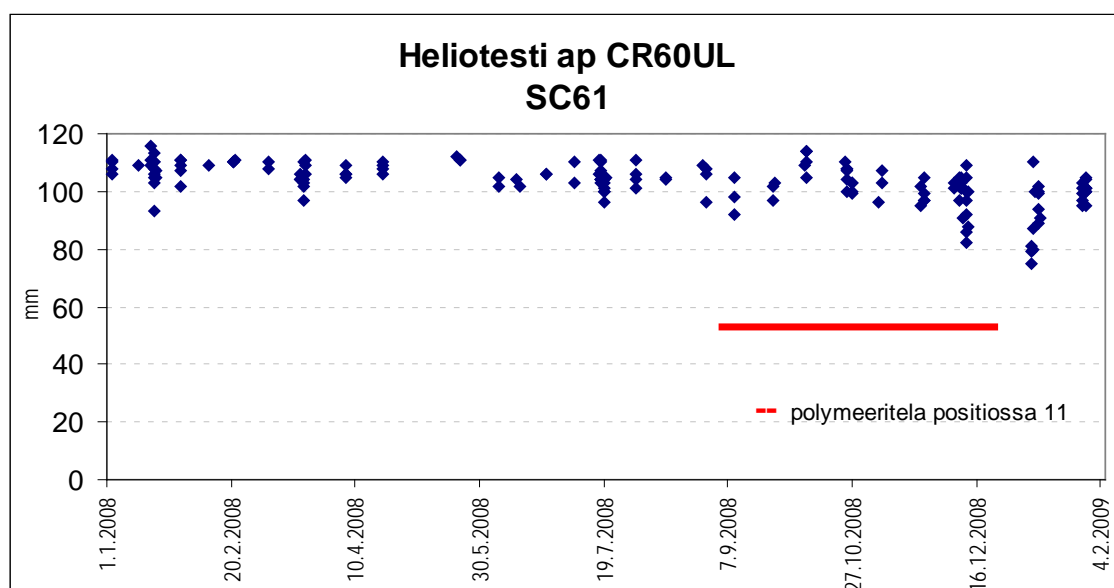
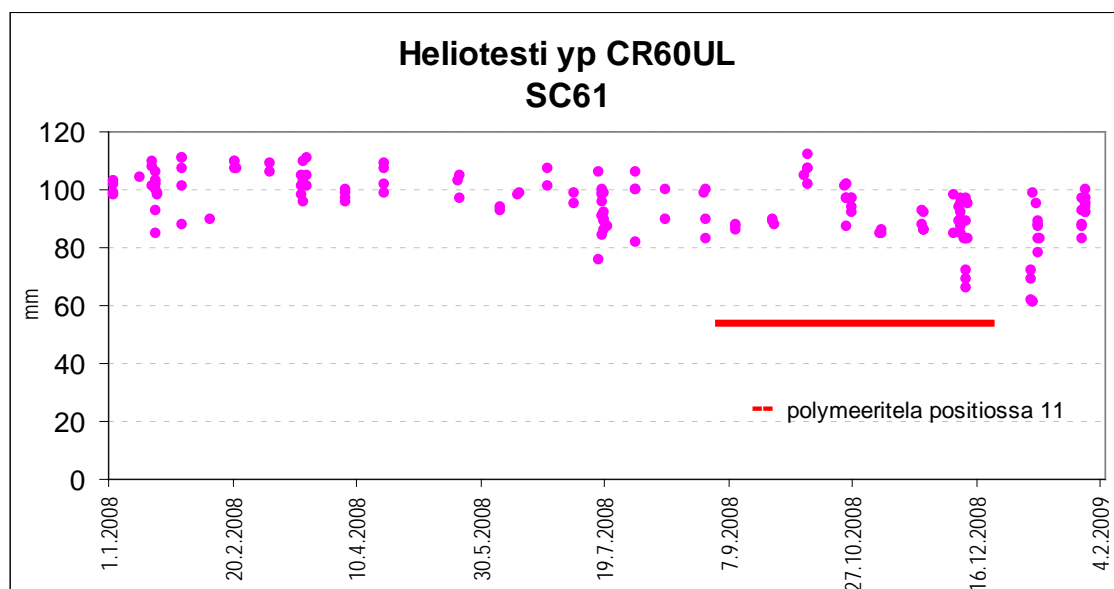
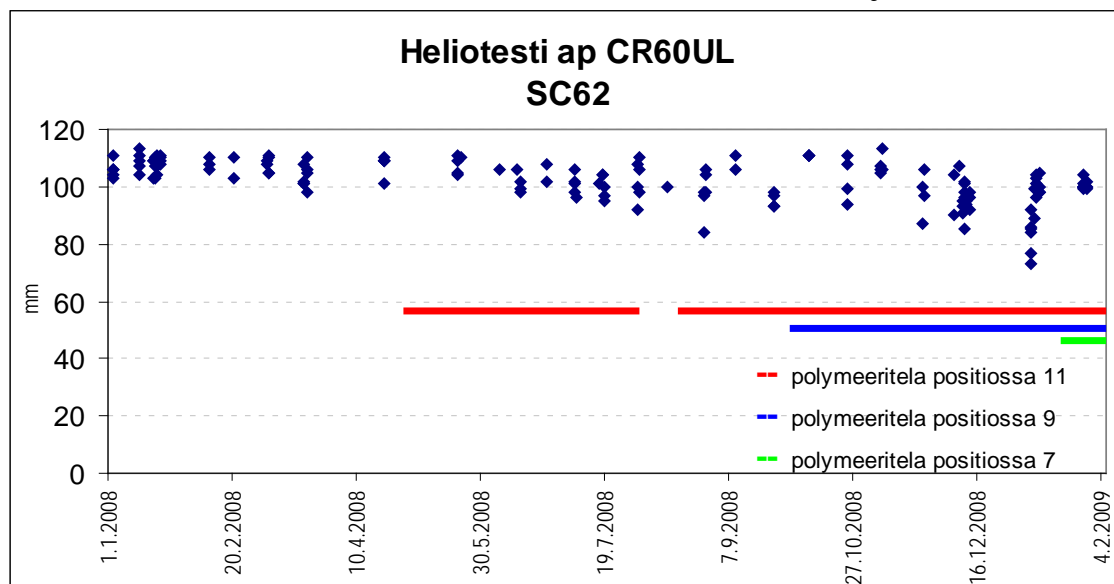
jatkuu



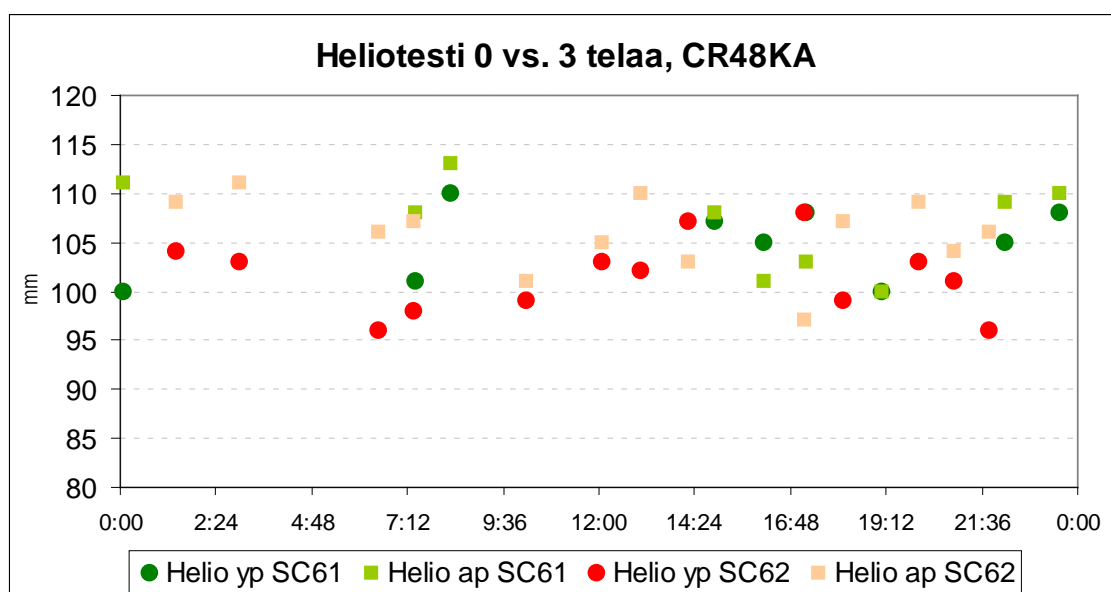
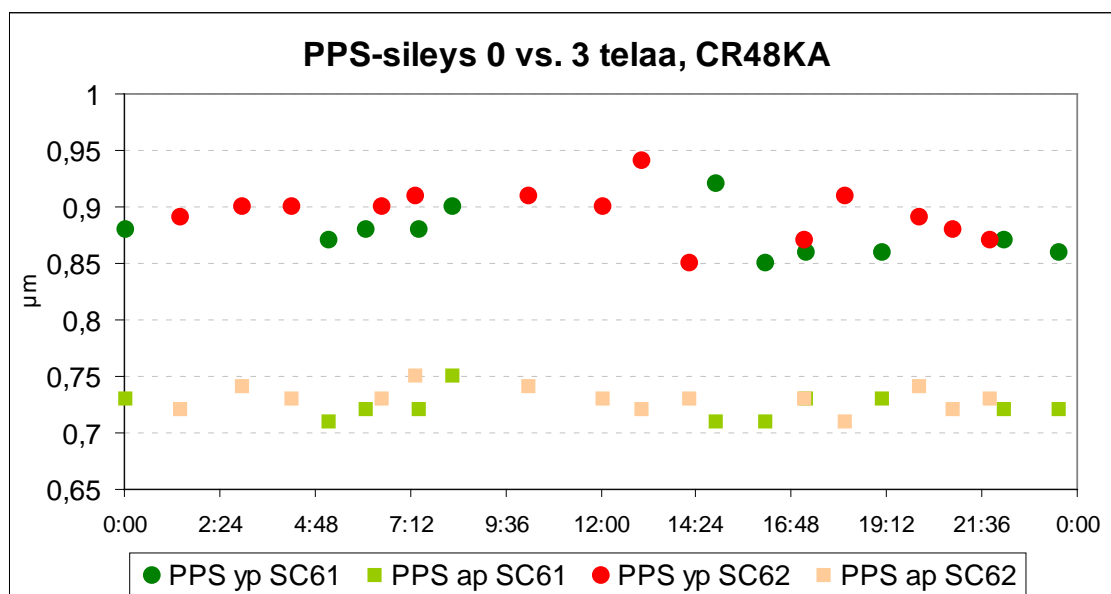
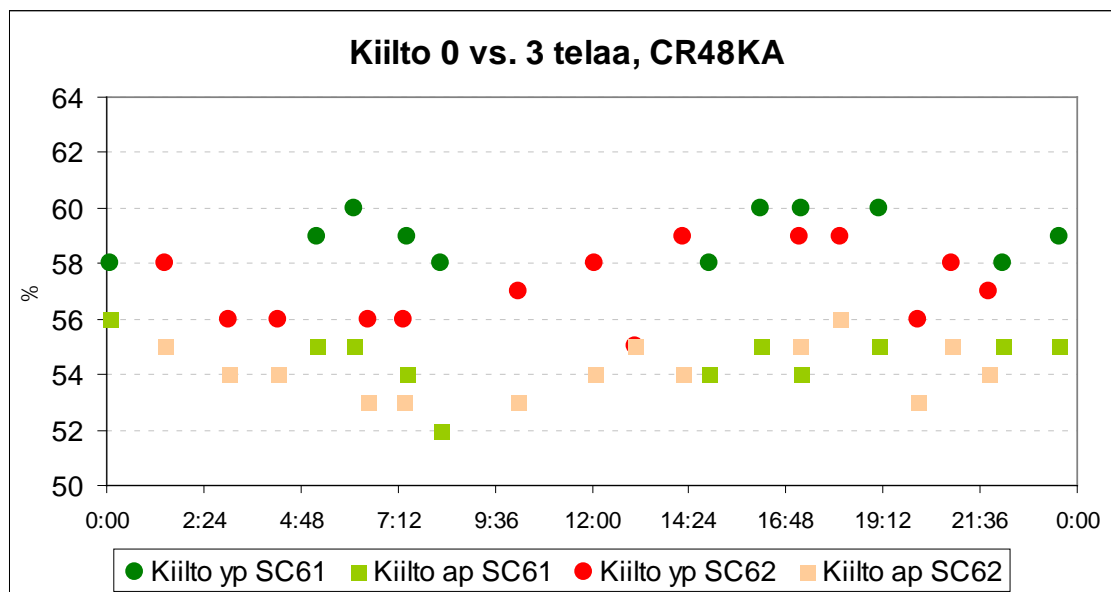




jatkoa liitteeseen 3



### Liite 4: Laatuarvojen kuvaajat, CR48KA



**Liite 5: T-testitaulukot**

<b>CR50US, 0 vs. 1 polymeeritela, SC62</b>							
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alävarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	54,643	56,804	126	56	2,838	1,484	kyllä
Kiilto ap	48,238	50,393	126	56	2,875	1,435	kyllä
PPS yp	0,939	0,941	126	56	0,014	-0,010	ei
PPS ap	0,836	0,797	126	56	0,049	0,029	kyllä
Heliotesti yp	90,518	87,000	85	39	5,730	1,306	kyllä
Heliotesti ap	90,894	92,949	85	39	4,360	-0,250	ei

<b>CR50US, 0 vs. 1 polymeeritela, SC61</b>							
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alävarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	57,721	58,689	204	45	1,624	0,312	kyllä
Kiilto ap	50,696	52,889	204	45	2,913	1,473	kyllä
PPS yp	0,910	0,935	204	45	0,037	0,013	kyllä
PPS ap	0,815	0,778	204	45	0,063	0,011	kyllä
Heliotesti yp	90,060	85,886	134	35	7,220	1,128	kyllä
Heliotesti ap	92,754	92,429	134	35	2,841	-2,189	ei

<b>CR50US, 0 vs. 1 polymeeritela, SC61 vs. SC62</b>							
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alävarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	61,222	56,667	9	6	5,752	3,358	kyllä
Kiilto ap	54,222	50,667	9	6	4,608	2,502	kyllä
PPS yp	0,889	0,942	9	6	0,074	0,032	kyllä
PPS ap	0,769	0,797	9	6	0,045	0,011	kyllä
Heliotesti yp	87,875	83,000	8	2	10,889	-1,139	ei
Heliotesti ap	93,625	92,000	8	2	11,023	-7,773	ei

<b>CR50US, 0 vs. 2 polymeeritelaa, SC62</b>							
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alävarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	54,643	57,625	126	32	3,761	2,203	kyllä
Kiilto ap	48,238	52,656	126	32	5,201	3,635	kyllä
PPS yp	0,939	0,939	126	32	0,016	-0,016	ei
PPS ap	0,836	0,779	126	32	0,068	0,046	kyllä
Heliotesti yp	90,518	89,053	85	19	5,392	-2,462	ei
Heliotesti ap	90,894	92,579	85	19	5,210	-1,840	ei

<b>CR60UL, 0 vs. 1 polymeeritela, SC62</b>							
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alavarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	65,156	67,537	77	82	3,024	1,738	kyllä
Kiilto ap	60,961	61,927	77	82	1,566	0,366	kyllä
PPS yp	0,831	0,842	77	83	0,022	0,000	kyllä
PPS ap	0,701	0,691	77	83	0,018	0,002	kyllä
Heliotesti yp	99,020	90,292	49	48	11,579	5,877	kyllä
Heliotesti ap	107,041	101,208	49	48	7,728	3,938	kyllä

<b>CR60UL, 0 vs. 1 polymeeritela, SC61</b>							
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alavarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	68,287	68,661	164	62	0,951	-0,203	ei
Kiilto ap	62,707	63,306	164	62	1,177	0,021	kyllä
PPS yp	0,820	0,855	166	62	0,047	0,023	kyllä
PPS ap	0,688	0,688	166	62	0,008	-0,008	ei
Heliotesti yp	96,179	90,920	112	50	8,498	2,020	kyllä
Heliotesti ap	103,955	101,220	112	50	5,026	0,444	kyllä

<b>CR60UL, 0 vs. 1 polymeeritela, SC61 vs. SC62</b>							
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alavarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	69,846	66,400	13	10	4,877	2,015	kyllä
Kiilto ap	63,692	62,300	13	10	2,823	-0,039	ei
PPS yp	0,839	0,871	13	10	0,056	0,008	kyllä
PPS ap	0,683	0,706	13	10	0,035	0,011	kyllä
Heliotesti yp	93,077	89,000	13	10	10,130	-1,976	ei
Heliotesti ap	100,154	100,500	13	10	2,467	-1,775	ei

<b>CR60UL, 0 vs. 2 polymeeritelaa, SC62</b>							
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alavarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	65,156	67,317	77	63	2,907	1,415	kyllä
Kiilto ap	60,961	63,206	77	63	2,947	1,543	kyllä
PPS yp	0,831	0,876	77	63	0,060	0,030	kyllä
PPS ap	0,701	0,702	77	63	0,011	-0,009	ei
Heliotesti yp	99,020	87,452	49	42	15,577	7,559	kyllä
Heliotesti ap	107,041	97,714	49	42	102,307	96,347	kyllä

<b>CR60UL, 0 vs. 3 polymeeritelaa, SC61 vs. SC62</b>							
	KA $x_1$	KA $x_2$	$n_1$	$n_2$	ylävarmuus- raja	alavarmuus- raja	tilastollisesti eroa
Kiilto yp	69,846	66,400	13	10	4,877	2,015	kyllä
Kiilto ap	63,692	62,300	13	10	2,823	-0,039	ei
PPS yp	0,839	0,871	13	10	0,056	0,008	kyllä
PPS ap	0,683	0,706	13	10	0,035	0,011	kyllä
Heliotesti yp	93,077	89,000	13	10	10,130	-1,976	ei
Heliotesti ap	100,154	100,500	13	10	2,467	-1,775	ei